

Redakcja: Maciej Trojan, Małgorzata Gut

NOWE TECHNOLOGIE I METODY W PSYCHOLOGII



Redakcja: Maciej Trojan, Małgorzata Gut

NOWE TECHNOLOGIE I METODY W PSYCHOLOGII

Redakcja: Maciej Trojan, Małgorzata Gut

NOWE TECHNOLOGIE I METODY W PSYCHOLOGII



Nowe technologie i metody w psychologii
Redakcja naukowa: Maciej Trojan i Małgorzata Gut

Recenzenci:

dr hab. Adam Tarnowski (Uniwersytet Warszawski)
dr Michał Jaśkiewicz (Uniwersytet Gdański)

Korekta językowa:
Małgorzata Najderska

Projekt okładki:
Dominika Karaś

Ilustracja na okładce:
shutterstock.com

Skład i łamanie:
Studio DTP Academicon | Patrycja Waleszczak
dtp@academicon.pl, dtp.academicon.pl



Publikacja jest udostępniona na licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 4.0
Treść licencji jest dostępna na stronie: <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Książkę sfinansowano ze środków Instytutu Psychologii UMK

Warszawa: Wydawnictwo Liberi Libri, 2020
www.LiberiLibri.pl

Wersja drukowana: ISBN 978-83-63487-43-0

SPIS TREŚCI

MACIEJ TROJAN, MAŁGORZATA GUT	
Słowo wstępu	17
CZĘŚĆ I. NOWE TECHNOLOGIE	19
MARIA LEWICKA, MATEUSZ STRZAŁKOWSKI, ALEX LUBIŃSKI	
Nowe technologie w badaniach psychologii środowiskowej.....	21
MAGDALENA SZMYTKE, BIBIANA BAŁAJ	
Zastosowanie okulografii w badaniach procesów poznawczych	53
JAKUB SŁUPCZEWSKI, MAŁGORZATA GUT	
Wykorzystanie gier komputerowych w rozwijaniu zdolności poznawczych – zastosowanie w edukacji i terapii	79
KAMILA ŁASZEWSKA	
Odpowiednie światło w odpowiednim miejscu o odpowiedniej porze. Wyzwania związane z prozdrowotnym oświetleniem	99
EWA SZEREMETA, MACIEJ TROJAN	
Metody badania długości, przebiegu i jakości snu używane w psychologii sportu	117
NATALIA SOBOLEWSKA, MAŁGORZATA GUT	
Nowoczesne metody wykorzystujące ruch w terapii ruchowej, poznawczej oraz w edukacji.....	137

 JUDYTA GULATOWSKA

Zastosowanie sensorów stanu organizmu (<i>wearable sensors</i>) do monitorowania zachowania ludzi i zwierząt	159
--	-----

JULIA SIKORSKA

Zastosowanie fotopułapek w badaniach behawioralnych	179
---	-----

BARTOSZ FIEDLER, MACIEJ TROJAN

Zastosowanie dronów jako narzędzi badawczych w naukach behawioralnych	201
---	-----

MACIEJ TROJAN, FILIP KRASNOMOWIEC

Użycie termografii w badaniach behawioralnych	217
---	-----

CZĘŚĆ II. NOWE METODY

MONIKA LEWANDOWSKA, RAFAŁ MILNER, NATALIA PAWLACZYK, EWA RATAJCZAK

Zastosowanie analizy ilościowej sygnału EEG (qEEG) we współczesnej psychologii i psychiatrii	235
---	-----

INGRIDA ANTONOVA, ALICJA DOBRZYKOWSKA, JOANNA DRESZER

Zastosowanie analizy mikrostanów elektrofizjologicznej aktywności mózgu w badaniu neuronalnych korelatów różnic indywidualnych	261
--	-----

SŁAWOMIR CZACHOWSKI, KRYSZTIAN DEREZIŃSKI, MONIKA LEWANDOWSKA, RAFAŁ MILNER, EWA RATAJCZAK,

MATEUSZ STAWICKI, WŁODZISŁAW DUCH

EEG-Neurofeedback w terapii bólu przewlekłego: aktualny stan wiedzy i dalsze kierunki badań	281
--	-----

EWA RATAJCZAK, MARCIN HAJNOWSKI, SŁAWOMIR CZACHOWSKI

HRV Biofeedback – terapia przez samokontrolę rytmu serca	299
--	-----

MARTA SZYMAŃSKA, MAŁGORZATA GUT

Edukacja matematyczna i terapia dyskalkulii oparte na percepcji czasu. Czy istnieje wspólny mianownik procesów przetwarzania liczb, czasu i muzyki?	329
--	-----

KATARZYNA ŚLIWIŃSKA, MAŁGORZATA ROSIAK

Skuteczność terapii poznawczo-behawioralnej w leczeniu uogólnionego zaburzenia lękowego z uwzględnieniem zastosowania nowoczesnych technologii	347
--	-----

JOANNA ULATOWSKA, JUSTYNA OLSZEWSKA

Asocjacyjne zniekształcenia pamięci. Metody ich badania i redukcji.	375
--	-----

JOANNA ULATOWSKA

Metoda pośredniej oceny szczerości – szansa na wyższą skuteczność wykrywania kłamstwa czy technika bez możliwości praktycznego zastosowania?	395
---	-----

ŁUKASZ ROLAND MICIUK, MONIKA MARIA DUBAS-MICIUK

Analiza powierzchni odpowiedzi (<i>response surface analysis</i>) w badaniach psychologicznych	411
---	-----

ŁUKASZ ROLAND MICIUK

QOS: Q-sort do pomiaru zgodności między samoopisem i szacowaniem (<i>self-other agreement</i>) oraz innych wskaźników obiektywności samowiedzy	431
---	-----

TYTUS SOSNOWSKI, LILIANNA JARMAKOWSKA-KOSTRZANOWSKA

Do czego potrzebna jest moc statystyczna testu?	449
---	-----

LILIANNA JARMAKOWSKA-KOSTRZANOWSKA, TOMASZ JARMAKOWSKI-KOSTRZANOWSKI

Bootstrap: inne spojrzenie na przedział ufności	471
---	-----

Indeks rzeczowy	491
-----------------------	-----

Indeks osobowy	505
----------------------	-----

SZCZEGÓŁOWY SPIS TREŚCI

MACIEJ TROJAN, MAŁGORZATA GUT	
Słowo wstępu	17
CZĘŚĆ I. NOWE TECHNOLOGIE	19
MARIA LEWICKA, MATEUSZ STRZAŁKOWSKI, ALEX LUBIŃSKI	
Nowe technologie w badaniach psychologii środowiskowej	21
Nowe technologie jako metody symulacji środowiska fizycznego	24
Nowe technologie jako rejestrator zachowań i procesów	31
Nowe technologie jako instrument prezentacji wyników	39
Nowe technologie jako naturalne środowisko człowieka	41
Zakończenie	43
Literatura cytowana	45
MAGDALENA SZMYTKE, BIBIANA BAŁAJ	
Zastosowanie okulografii w badaniach procesów poznawczych	53
Okulografia	54
Badania w warunkach laboratoryjnych	58
Rejestracja ruchów oczu w naturalnych warunkach	61
Okulografia w grach i sporcie	64
Okulografia w warunkach zbliżonych do naturalnych	66
Podsumowanie	69
Literatura cytowana	70
JAKUB SŁUPCZEWSKI, MAŁGORZATA GUT	
Wykorzystanie gier komputerowych w rozwijaniu zdolności poznawczych – zastosowanie w edukacji i terapii	79

Efektywność gier komputerowych w trenowaniu umiejętności związanych z językiem	81
Gry a funkcje wykonawcze i uwaga	84
Komputerowe gry matematyczne i ich skuteczność	87
Uwagi końcowe, podsumowanie i ograniczenia metodologiczne	92
Podziękowania	94
Literatura cytowana	94

KAMILA ŁASZEWSKA

Odpowiednie światło w odpowiednim miejscu o odpowiedniej porze.	
Wyzwania związane z prozdrowotnym oświetleniem	99
Zanieczyszczenie światłem	100
Koncepcja <i>Human Centric Lighting</i>	104
Przyszłość badań nad światłem	110
Literatura cytowana	111

EWA SZEREMETA, MACIEJ TROJAN

Metody badania długości, przebiegu i jakości snu używane w psychologii sportu	117
Wpływ zaburzeń snu na funkcjonowanie sportowców	119
Klasyczne metody badania snu używane w psychologii sportu	122
Metody alternatywne pomiaru snu	123
Kwestionariuszowe metody badań jakości snu	130
Podsumowanie	131
Literatura cytowana	134

NATALIA SOBOLEWSKA, MAŁGORZATA GUT

Nowoczesne metody wykorzystujące ruch w terapii ruchowej, poznawczej oraz w edukacji	137
Znaczenie ruchu w rehabilitacji i proponowane metody prowadzenia treningów	138
Wpływ stymulacji słuchowo-ruchowej	146
Wspomaganie edukacji i rozwoju dziecka poprzez zastosowanie technik poznawczo-ruchowych	147
Podsumowanie	153
Podziękowania	153
Literatura cytowana	154

JUDYTA GULATOWSKA

Zastosowanie sensorów stanu organizmu (<i>wearable sensors</i>) do monitorowania zachowania ludzi i zwierząt	159
Sensory stanu organizmu – co to takiego?	160
Urządzenia komercyjne: opaski fitness, zegarki SmartWatch	160
Urządzenia profesjonalne	162
Główne obszary praktycznego wykorzystania sensorów	165
Podsumowanie	173
Literatura cytowana	173

JULIA SIKORSKA

Zastosowanie fotonułek w badaniach behawioralnych	179
Charakterystyka urządzenia	180
Mechanizm działania	184
Przykłady zastosowań fotonułek w badaniach dzikiej przyrody	190
Ograniczenia	194
Literatura cytowana	194

BARTOSZ FIEDLER, MACIEJ TROJAN

Zastosowanie dronów jako narzędzi badawczych w naukach behawioralnych	201
Co to jest UAV (<i>Unmanned Aerial Vehicle</i>)?	202
Przykłady zastosowania płatowców w badaniach	207
Przykłady zastosowania wielowirnikowców w badaniach	209
Problemy związane z użyciem dronów	212
Przyszłość badań z wykorzystaniem UAV (podsumowanie)	213
Literatura cytowana	214

MACIEJ TROJAN, FILIP KRASNOMOWIEC

Użycie termografii w badaniach behawioralnych	217
Zastosowanie termografii w badaniach psychologicznych	220
Zastosowanie termografii w badaniach behawioralnych innych gatunków zwierząt	225
Zalety i wady termografii	229
Literatura cytowana	230

CZĘŚĆ II. NOWE METODY 233

MONIKA LEWANDOWSKA, RAFAŁ MILNER, NATALIA PAWLACZYK, EWA RATAJCZAK

Zastosowanie analizy ilościowej sygnału EEG (qEEG) we współczesnej psychologii i psychiatrii	235
Metoda ilościowej analizy EEG a stan mentalny	236
Metoda ilościowej analizy EEG a funkcjonowanie poznawcze	237
Metoda ilościowej analizy EEG w zaburzeniach neurorozwojowych	238
Metoda ilościowej analizy EEG w chorobach psychicznych	243
Metoda ilościowej analizy EEG w chorobach neurodegeneracyjnych	246
Zastosowanie metody qEEG do planowania terapii zaburzeń OUN i oceny ich skuteczności	248
Podsumowanie	250
Literatura cytowana	251

INGRIDA ANTONOVA, ALICJA DOBRZYKOWSKA, JOANNA DRESZER

Zastosowanie analizy mikrostanów elektrofizjologicznej aktywności mózgu w badaniu neuronalnych korelatów różnic indywidualnych	261
Analiza mikrostanów w badaniach różnic indywidualnych	268
Podsumowanie i kilka słów krytycznych	273
Literatura cytowana	274

SŁAWOMIR CZACHOWSKI, KRYSZTIAN DEREZIŃSKI, MONIKA LEWANDOWSKA, RAFAŁ MILNER, EWA RATAJCZAK,

MATEUSZ STAWICKI, WŁODZISŁAW DUCH

EEG-Neurofeedback w terapii bólu przewlekłego: aktualny stan wiedzy i dalsze kierunki badań ...	281
Klasyfikacja bólu przewlekłego	283
EEG-Neurofeedback	284
Spoczynkowy zapis EEG w bólu przewlekłym	286
Protokoły treningu EEG-Neurofeedback stosowane w terapii bólu przewlekłego	287
Perspektywy badawcze	291
Literatura cytowana	293

EWA RATAJCZAK, MARCIN HAJNOWSKI, SŁAWOMIR CZACHOWSKI

HRV Biofeedback – terapia przez samokontrolę rytmu serca	299
Biofeedback sercowo-naczyniowy	302
Zastosowania HRV-BFB	304
Biofeedback multimodalny	311

Zalety i wady HRV-BFB.....	312
Literatura cytowana.....	315

MARTA SZYMAŃSKA, MAŁGORZATA GUT

Edukacja matematyczna i terapia dyskalkulii oparte na percepcji czasu.	
Czy istnieje wspólny mianownik procesów przetwarzania liczb, czasu i muzyki?.....	329
Współczesne metody badania percepcji czasu i ich teoretyczne podstawy.....	331
Neuralne podłoże przetwarzania informacji czasowej (w tym – muzycznej).....	334
Czas i liczby.....	335
Czas, liczby i przestrzeń w deficytach umiejętności matematycznych.	
Możliwe perspektywy treningów w edukacji matematycznej.....	339
Podziękowania.....	342
Literatura cytowana.....	342

KATARZYNA ŚLIWIŃSKA, MAŁGORZATA ROSIAK

Skuteczność terapii poznawczo-behawioralnej w leczeniu uogólnionego zaburzenia lękowego z uwzględnieniem zastosowania nowoczesnych technologii.....	347
Podejście poznawczo-behawioralne (CBT) w leczeniu GAD.....	348
Skuteczność terapii poznawczo-behawioralnej w leczeniu uogólnionego zaburzenia lękowego (GAD).....	350
Wnioski.....	368
Literatura cytowana.....	369

JOANNA ULATOWSKA, JUSTYNA OLSZEWSKA

Asocjacyjne zniekształcenia pamięci. Metody ich badania i redukcji.....	375
Asocjacyjne zniekształcenia pamięci.....	376
Jak powstają asocjacyjne zniekształcenia pamięci?.....	377
Czynniki modyfikujące poziom asocjacyjnych zniekształceń pamięci.....	378
Paradygmat DRM w pamięci roboczej.....	384
Procedura DRM w modelu hybrydowym.....	385
Kierunki dalszych badań i zastosowania praktyczne.....	386
Literatura cytowana.....	387

JOANNA ULATOWSKA

Metoda pośredniej oceny szczerości – szansa na wyższą skuteczność wykrywania kłamstwa czy technika bez możliwości praktycznego zastosowania?.....	395
---	-----

Metody oceny szczerości	396
Metoda pośredniego wykrywania kłamstwa	398
Typy pytań pośrednich	399
Mechanizm pośredniej oceny szczerości	400
Ograniczenia skuteczności metody pośredniej	401
Dopasowanie pytania pośredniego do tematu kłamstwa	402
Używanie wielu pytań pośrednich jednocześnie	404
Świadomość stosowania metody pośredniej	405
Podsumowanie	405
Literatura cytowana	407

ŁUKASZ ROLAND MICIUK, MONIKA MARIA DUBAS-MICIUK

Analiza powierzchni odpowiedzi (<i>response surface analysis</i>) w badaniach psychologicznych	411
Wprowadzenie	412
Pierwszy poglądowy problem badawczy.	
Konsekwencje zamiłowania do porządku we wspólnym mieszkaniu	412
Drugi poglądowy problem badawczy.	
Częstotliwość zabierania głosu na zebraniach	413
Trzeci poglądowy problem badawczy. Towarzyskość małżonków a imprezowanie	414
Przeznaczenie analizy powierzchni odpowiedzi (RSA)	415
Specyfika danych, na jakich wolno przeprowadzać RSA	416
Etapy RSA	417
Wizualizacja powierzchni odpowiedzi w oparciu o współczynniki liniowe	418
Demonstracja i interpretacja przykładowych wyników RSA w nawiązaniu do poglądowych problemów badawczych	420
Tematyka badań psychologicznych wykorzystujących RSA	424
Podsumowanie	426
Literatura cytowana	427

ŁUKASZ ROLAND MICIUK

QOS: Q-sort do pomiaru zgodności między samoopisem i szacowaniem (<i>self-other agreement</i>) oraz innych wskaźników obiektywności samowiedzy	431
Wymogi formalne i treściowe stawiane metodom do pomiaru obiektywności samowiedzy	432
Etapy tworzenia narzędzia QOS	434

Opis narzędzia QOS i zasady przeprowadzania badania	437
Obliczanie wskaźnika zgodności między samoopisem i szacowaniem	439
Wstępna ocena wartości psychometrycznej narzędzia QOS	440
Podsumowanie i alternatywne zastosowania narzędzia QOS	442
Literatura cytowana	442
Załącznik A	445
Załącznik B	446

TYTUS SOSNOWSKI, LILIANA JARMAKOWSKA-KOSTRZANOWSKA

Do czego potrzebna jest moc statystyczna testu?	449
Czym jest moc statystyczna testu?	450
Skąd wzięła się koncepcja mocy statystycznej testu?	453
Od czego zależy moc statystyczna testu?	454
Dwa podejścia do analizy mocy testu	454
Wielkość efektu	456
Szacowanie wielkości efektu	458
Obliczanie mocy testu	460
Podsumowanie	468
Literatura cytowana	468

LILIANA JARMAKOWSKA-KOSTRZANOWSKA, TOMASZ JARMAKOWSKI-KOSTRZANOWSKI

Bootstrap: inne spojrzenie na przedział ufności	471
Początek metod symulacyjnych	473
Mechanizm działania bootstrapu	474
Jaki jest cel tworzenia bootstrapowego rozkładu?	476
Co zyskuje badacz dzięki zastosowaniu bootstrapu?	477
Bootstrapowy przedział ufności	477
Percentylowy czy BCa: którego z typów przedziału ufności użyć?	480
Czy bootstrap pomaga w przypadku małych prób?	480
Kiedy bootstrapping zawodzi?	481
Jakie statystyki można poddawać bootstrapowi?	482
Obecność obserwacji odstających (<i>outlierów</i>)	482
Bootstrap: parametryczny czy nieparametryczny?	483
Liczba prób bootstrapowych	484
Bootstrapowe przedziały ufności dla średniej – przykłady z badań	484
Przykład 1: bootstrapowy przedział ufności dla średniej	484

Przykład 2: bootstrapowy przedział ufności dla różnicy między średnimi	485
Bootstrapować, czy nie bootstrapować.....	486
Literatura cytowana.....	486
Indeks rzeczowy	491
Indeks osobowy	505

Słowo wstępu

Nie jest niczym zaskakującym, że postęp technologiczny (w XXI wieku nabierający ogromnego przyspieszenia) idzie w parze z dynamicznym rozwojem badań naukowych i zastosowaniem coraz bardziej zaawansowanych metod pomiaru czy analizy danych. O ile jednak wykorzystanie najnowszych technologii, czy – szerzej – metod, w naukach ścisłych, przyrodniczych i w medycynie jest bardzo widoczne w wielu obszarach badań, o tyle w naukach społecznych i humanistycznych nie zawsze jest dla wszystkich oczywiste.

Wkraczanie nowych technologii i wynalazków do badań naukowych, również w psychologii, nie jest w gruncie rzeczy zjawiskiem ostatnich dekad. Psychologia bowiem jako nauka empiryczna od dawna stawia sobie ambitny cel, aby podobnie jak nauki ścisłe, techniczne czy przyrodnicze – dostarczać w badaniach obiektywnych, „twardych” danych, stawiać na rozwój rzetelnych metod i czerpać z osiągnięć innych dziedzin. Rezultatem tego jest zresztą powszechny już interdyscyplinarny charakter badań naukowych.

Początki mariażu psychologii z technologią sięgają czasów, gdy prawie 150 lat temu powstawały pierwsze laboratoria psychologiczne, następnie – gdy dokonywano pierwszych pomiarów aktywności mózgu za pomocą EEG czy podejmowano pierwsze próby rejestracji ruchów oczu. Jednak szczególnie teraz, gdy rozwój nowoczesnych technologii przybiera tak niewyobrażalne tempo, pomiary całego spektrum zmiennych w badaniach psychologicznych za pomocą najnowszych metod dają możliwości, które prawdopodobnie nie śniły się nie tylko założycielom pierwszych laboratoriów, ale i innym badaczom wiele lat później.

Nie chodzi jednak o to, jak chcą twierdzić sceptycy, aby nowoczesne metody stanowiły jedynie rodzaj „gadżetów”, „zabawek” podnoszących atrakcyjność badań, robiących wrażenie w doniesieniach medialnych czy w staraniach o finansowanie projektów. Rzecz w tym, aby nowe technologie spożytkować, tak by móc uzyskać bardziej precyzyjne odpowiedzi na dawno zadawane

w psychologii pytania lub w ogóle móc odkryć to, co kiedyś było nieznane z powodu braku odpowiednich metod badawczych. Mogą one też inspirować do stawiania kolejnych pytań i poszukiwania odpowiedzi na nie, poprzez ciągły rozwój technologii.

Psychologia na Uniwersytecie Mikołaja Kopernika w Toruniu istnieje zaledwie od października 2016 r., ale od samego początku grupie założycieli przyświecała idea, że jeśli mają tworzyć nowoczesny ośrodek naukowo-dydaktyczny, to musi on powstawać na fundamencie prac eksperymentalnych, odważnych badań, ambitnych celów naukowych. Mając na uwadze jak najlepsze wzorce i czerpiąc ze współczesnej interdyscyplinarnej wiedzy, psychologia toruńska działa w oparciu o najnowsze technologie i metody. Od połowy 2019 r. buduje się nowa siedziba Instytutu Psychologii UMK, w której blisko 30% powierzchni będzie zajmować 18 pieczołowicie zaprojektowanych oraz nowocześnie wyposażonych laboratoriów z aparaturą badawczą różnego typu.

Niniejsza książka, której większość autorów pracuje obecnie na UMK w Toruniu, przedstawia technologie i metody, które ich inspirują i fascynują. Przedstawiają urządzenia oraz metody, których używają, oraz które chcą w przyszłości rozwijać, znajdując dla nich coraz szerszy wachlarz aplikacji. Jest to niezwykle szerokie spektrum zarówno metod, jak i dziedzin psychologii, w których znajdują one zastosowanie – od wyrafinowanych technik analizy sygnału EEG, przez zastosowanie zaawansowanego eye-trackingu, pomiarów za pomocą dronów, fotopułapek, urządzeń ubieralnych czy wykorzystanie gier komputerowych, światła i termografii, aż po zaawansowane metody analizy statystycznej danych czy wykorzystanie nowych technologii w psychoterapii.

Postęp techniczny osiąga niewyobrażalne tempo i często trudno jest nadążyć za nowymi rozwiązaniami technologicznymi. Tym bardziej Czytelnik znajdzie tu nie tylko przegląd zainteresowań i fascynacji Autorów, związanych z użyciem nowych metod, ale też być może lektura niniejszej książki pozwoli mu na zastosowanie ich we własnej pracy badawczej.

Maciej Trojan
Małgorzata Gut

Sposób cytowania: Trojan, M., Gut, M. (2020). Słowo wstępu. W: M. Trojan, M. Gut (red.), *Nowe technologie i metody w psychologii* (s. 17–18). Warszawa: Liberi Libri. <https://doi.org/10.47943/lib.9788363487430.rozdzial00>

CZĘŚĆ I. NOWE TECHNOLOGIE

MARIA LEWICKA, MATEUSZ STRZAŁKOWSKI,
ALEX LUBIŃSKI

Instytut Psychologii, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

Nowe technologie w badaniach psychologii środowiskowej

Sposób cytowania: Lewicka, M., Strzałkowski, M., Lubiński, A. (2020). Nowe technologie w badaniach psychologii środowiskowej. W: M. Trojan, M. Gut (red.), *Nowe technologie i metody w psychologii* (s. 21–51). Warszawa: Liberi Libri. <https://doi.org/10.47943/lib.9788363487430.rozdzial01>

Psychologia środowiskowa, dziedzina młoda, bo zaledwie 50-letnia, bada związki ludzi z naturalnym i zbudowanym przez człowieka środowiskiem fizycznym (Gifford, 2013; Steg, van der Berg, de Groot, 2013). Ze względu na akcent położony na rolę środowiska fizycznego dziedzina ta odróżnia się od tych dziedzin psychologii, w których głównym obszarem badań jest człowiek umieszczony w środowisku społecznym – jako członek grupy narodowej, organizacji, rodziny. Należy podkreślić, że związek między człowiekiem i fizycznym środowiskiem jest dwukierunkowy. Z jednej strony, środowisko fizyczne oddziałuje na nasze zachowania, emocje i zdrowie, zaś z drugiej – to ludzie ze swoimi zachowaniami oddziałują na środowisko, zmieniając je, chroniąc lub niszcząc. Ta dwutorowość zainteresowań psychologii środowiskowej znajduje odzwierciedlenie zarówno w teorii, jak i w metodologii badań. Pierwszy nurt czerpie przede wszystkim z teorii wypracowanych w takich naukach jak geografia, architektura i urbanistyka, co pozwala na analizę cech środowiska fizycznego i ich związku z zachowaniami ludzi. Z kolei drugi nurt jest mocniej osadzony w teorii psychologicznej, przede wszystkim w psychologii społecznej – w badaniach postaw, przekonań społeczno-politycznych, wartości i tożsamości, a więc tych czynnikach psychologicznych, które mogą mieć wpływ na zachowania ludzi w środowisku. Różnice proveniencji teoretycznej obu nurtów sprawiają, że znacznie większą różnorodność stosowanych metod, w tym większy potencjał do zastosowania nowoczesnych technologii, znajdziemy w pierwszym nurcie badań. W drugim przeważają „tradycyjne” psychologiczne metody pomiaru, takie jak kwestionariuszowe badania postaw i deklarowanych zachowań, choć i tu znajdziemy oryginalne wykorzystanie nowoczesnych technologii, stosowanych przede wszystkim do rejestracji realnych (a nie jedynie deklarowanych) zachowań ludzi. Należy podkreślić, że wraz z rosnącą troską o klimat, uzasadnioną gwałtownie rosnącym ociepleniem, rośnie lawinowo liczba prac z drugiego nurtu badań. Można więc oczekiwać, że również w tej dziedzinie wzrośnie inwencja badaczy w zakresie zastosowań nowoczesnych technologii.

Psychologowie środowiskowi od dość dawna szcycą się tym, że stosują specyficzne dla swojej dziedziny metody badań, nieobecne w innych obszarach psychologii. Należą do nich rozmaite techniki obserwacji zachowań w przestrzeni publicznej i analizy pozostawionych śladów (świadekstwo – często niezgodnego z zamierzeniami projektantów – sposobu użytkowania przestrzeni). Są wśród nich również gry i techniki negocjowania (*trade-off*), służące dochodzeniu do porozumienia przy planowaniu inwestycji czy spacerów fotograficznych z osobami

badanymi, a także cały zestaw narzędzi do oceny inwestycji już po jej zasiedleniu (Bechtel, Marans, Michelson, 1987; Gifford, 2016; Zeisel, 2006). Jest jednak rzeczą interesującą, że bardzo rzadko w podręcznikach metod badań środowiskowych spotykamy odniesienia do najnowszych technologii. Na przykład popularna praca wybitnego duńskiego urbanisty Jana Gehla i jego współpracowniczki Birgitte Svarre (2013) *How to study public life (Jak badać życie miasta)*, to w większości opis detalicznych obserwacji dokonywanych w przestrzeni publicznej miasta okiem badacza w niej umiejscowionego i zaopatrzonego w odpowiedni dokument (mapę terenu, arkusz obserwacyjny). Wydaje się jednak, że praktyka badawcza wyprzedza podręczniki, co będziemy starali się pokazać Czytelnikowi, prezentując metody inne niż papierowe oraz przytaczając przykładowe badania prowadzone za ich pomocą.

Określenie *nowoczesne technologie* jest nieprecyzyjne. Czy komputer, który towarzyszy nam jako podstawowe narzędzie pracy, jest nowoczesną technologią? Czy nowoczesną technologią jest fotografia? A znane od początku ubiegłego wieku EEG? Gdzie przebiega granica między metodą *klasyczną* i *nowoczesną*? W obecnym rozdziale posłużymy się nieco intuicyjnym rozumieniem sformułowania *nowe technologie*, uwzględniając również nowe zastosowania klasycznych metod w interesującej nas dziedzinie. Tak więc samo EEG nie jest technologią nową, ale już wykorzystanie mobilnego EEG do badania reakcji na bodźce odbierane w czasie spaceru po mieście – tak. Szeroko potraktujemy też pojęcie *psychologia środowiskowa*, powołując się na badania prowadzone w bardzo różnych obszarach nauki, których kłamrą scalającą jest badanie zachowań ludzi w środowisku fizycznym (przede wszystkim miejskim).

Metody te podzieliliśmy ze względu na funkcję, jaką pełnią w procesie badawczym. Zależnie od etapu badawczego, wyróżniliśmy trzy podstawowe sposoby zastosowania nowoczesnych technologii. Są to: symulacja naturalnego środowiska człowieka (etap I), narzędzie do rejestracji zachowań i procesów psychicznych ludzi w środowisku (etap II), oraz instrument niestandardowej, przede wszystkim przestrzennej, prezentacji danych (etap III). Krótko wspomnieliśmy też o czwartej drodze, dzięki której nowe technologie wkraczają do psychologii środowiskowej – jako nowe środowisko człowieka. Przy każdej metodzie, poza krótkim jej opisem, wskazaliśmy przykładowe zastosowania badawcze tej metody. Rozdział zakończyliśmy ogólnymi refleksjami na temat zastosowań nowoczesnych technologii w badaniach (nie tylko środowiskowych).

Nowe technologie jako metody symulacji środowiska fizycznego

Technologia wkracza do procesu badawczego psychologa środowiskowego na różnych etapach tego procesu. W etapie pierwszym technologia umożliwia kreowanie warunków badania, a czyni to poprzez symulację naturalnego środowiska fizycznego. W naturalnym kontekście środowiskowym, na przykład miejskim, na zachowanie ludzi wpływa mnóstwo różnych czynników, które ze zmiennymi uwzględnianymi w teorii mogą mieć niewiele wspólnego, jak choćby nagła zmiana pogody czy nieprzewidziany remont ulicy. Jeżeli badacza interesują wybrane bodźce środowiskowe i chce, żeby wszyscy badani poddani byli działaniu tych właśnie i tylko tych bodźców, to konieczne jest ich wyizolowanie z zakłócającego kontekstu. Na taką kontrolę pozwalają metody symulacji.

Metody symulujące środowisko fizyczne nie są oczywiście specyficzne dla psychologii środowiskowej. Symulatory od dawna odgrywają ważną rolę praktyczną na przykład w procesie szkolenia kierowców czy pilotów. W psychologii środowiskowej metody te pozwalają na wystandaryzowanie warunków badania oraz na kontrolę podstawowych zmiennych. Można w ten sposób analizować zachowania i oceny tak, jak gdyby były wywoływane naturalnymi bodźcami środowiskowymi bez obecności bodźców zakłócających. Co więcej, otrzymujemy gwarancję, że wszyscy badani w danym warunku eksperymentalnym poddawani będą oddziaływaniom takich samych bodźców. Oczywiście, aby symulowana rzeczywistość przyniosła wyniki pozwalające na wyciągnięcie wniosków o zachowaniach ludzi w „prawdziwym” środowisku, konieczne jest określenie ekologicznej trafności tych narzędzi, a więc porównanie zachowań ludzi w środowisku symulowanym i rzeczywistym (Amedeo, Golledge, Stimson, 2009; Bosselman, Craik, 1987). Wyniki takich porównań jak dotąd są optymistyczne i dotyczy to różnych metod symulacji. Na przykład Stamps (2016) porównał oceny estetyczne środowiska rzeczywistego z ocenami statycznych symulacji tego środowiska (czarno-białych i barwnych zdjęć oraz slajdów), jak również symulacji dynamicznych. Wyniki meta-analiz dostępnych (i nadających się do meta-analizi) badań pokazały, że barwne fotografie są dobrą formą symulacji rzeczywistego środowiska, lepszą niż fotografia czarno-biała i nie gorszą aniżeli symulacje dynamiczne. Istnieją też liczne dane wskazujące na zgodność zachowania w realnym i wirtualnym świecie (Bishop, Rohrman, 2003; Fox, Arena, Bailenson, 2009), choć są też dane pokazujące różnice między tymi kontekstami. Na przykład De Kort, Ijsselstein, Kooijman i Schuurmans

(2003) wykazali, że środowisko wirtualne (w tym badaniu nowy uniwersytecki budynek) jest mniej pobudzające niż rzeczywiste. Z ciekawszych przykładów potwierdzających trafność ekologiczną środowisk wirtualnych przytoczmy badanie Nee i in. (2015), którzy porównywali zachowanie rzeczywistych złodziei oraz osób niemających doświadczenia w okradaniu mieszkań w realnym i symulowanym środowisku (w domu, który można obrabować) wykazując dużą zbieżność zachowań zarówno jednych, jak i drugich badanych w obu środowiskach przy wyraźnej różnicy między grupami (jak można było się spodziewać, złodzieje wykazywali się większą efektywnością w przeszukiwaniu domu).

Metody symulacyjne obejmują zarówno tradycyjne technologie, takie jak fotografia lub filmy, rysunki i plany, statyczne lub tworzone na bieżąco makiety architektoniczne lub urbanistyczne, jak i zaawansowane metody symulacyjne oparte na wirtualnej (VR – *virtual reality*) i rozszerzonej (AR – *augmented reality*) rzeczywistości. W niniejszym rozdziale zajmiemy się dwoma ostatnimi technikami jako najbardziej dynamicznie rozwijającymi się i – jak się wydaje – stwarzającymi najciekawsze możliwości badawcze.

Wirtualna rzeczywistość (*virtual reality, VR*). Środowisko wirtualne (VE – *virtual environment*) to przestrzeń cyfrowa, w której śledzone są ruchy człowieka, a jego otoczenie odpowiednio cyfrowo przetwarzane (renderowane) i ekspozowane zmysłom w odpowiedzi na te ruchy (Fox i in., 2009). W ten sposób rzeczywistość wykreowana cyfrowo zastępuje świat realny, dając człowiekowi poczucie zanurzenia się w niej (immersji). W przeciwieństwie do różnych pasywnych form kontaktu z symulowaną rzeczywistością (np. oglądania filmu w telewizji), rzeczywistość wirtualna jest interaktywna. Sensory optyczne i akcelerometr umieszczone w hełmie zbierają informacje o pozycji człowieka i jego ruchach głowy, przekazują je do komputera, w którym odpowiedni program przekształca i dostosowuje do ruchów człowieka widziany obraz, dając poczucie interakcji ze środowiskiem i zbliżając to doświadczenie do doświadczenia świata rzeczywistego. W najbardziej popularnych wersjach wirtualny świat ograniczony jest do doznań wzrokowych i słuchowych, w bardziej zaawansowanych możliwa jest też symulacja doznań dotykowych i węchowych. Rzeczywistość wirtualną można zaimplementować na dowolnych nośnikach cyfrowych (przenośne telefony, komputery stacjonarne, aż po w pełni immersyjne środowisko, w którym człowiek może się swobodnie poruszać fizycznie). Na rysunku 1 pokazano wyposażenie pozwalające na zanurzenie się w wirtualnym świecie.



Rysunek 1. Przykład zestawu projekcyjnego wirtualnej rzeczywistości. Osoba badana ma na głowie hełm (A), wyposażony w ekran oraz czujniki położenia w przestrzeni, działające w połączeniu z laserowymi emiterami (B). Użytkownik wchodzi w interakcję z tym, co widzi na ekranie za pomocą kontrolerów (C). Źródłem obrazu i „mózgiem” zestawu jest komputer (D).

Wirtualna rzeczywistość wkroczyła do badań społecznych na początku lat ‘90, kiedy na Uniwersytecie Kalifornijskim w Santa Barbara powstało pierwsze wirtualne laboratorium służące takim badaniom (Loomis, Blaskowitz, Beall, 1999). Od tego czasu zainteresowanie wykorzystaniem światów wirtualnych w naukach społecznych nieustannie rośnie. Zainteresowanie to przybiera różne formy, od traktowania VR jako autonomicznego przedmiotu badań (np. czy ludzie w środowisku wirtualnym zachowują się tak samo jak w świecie rzeczywistym?; jakie są uboczne fizjologiczne konsekwencje przebywania w wirtualnej rzeczywistości?), poprzez badanie wartości aplikacyjnej VR (edukacyjnej, szkoleniowej, projektowej, terapeutycznej), aż po wykorzystanie jej jako narzędzia do badań naukowych. Warto pewnie też wspomnieć o dynamicznie rozwijającym się rynku gier wykorzystujących tę technologię, z których część może zostać zaadaptowana do badań edukacyjnych i podstawowych (McCall, Wetzel, Löschner, Braun, 2011). Jak wynika z przeglądu dokonanego 10 lat temu przez Fox i in. (2009), dwa pierwsze rodzaje zastosowań VR, a więc jako autonomicznego obiektu badań oraz w swojej funkcji

aplikacyjnej, były zdecydowanie bardziej popularne niż zastosowanie czysto badawcze (odpowiednio 41,3%, 38,7% oraz 20%). Warto dodać, że najczęstsze było zastosowanie VR w naukach medycznych, społecznych i inżynierskich (po około 30% publikacji na ten temat), a najrzadsze – w naukach zajmujących się zachowaniami pro-środowiskowymi (zaledwie 2,6%), co pokrywa się z uwagami sformułowanymi na początku tego rozdziału. Nie dysponujemy nowszymi danymi, które pokazałyby, czy w ciągu ostatniej dekady nastąpiła jakaś zmiana zainteresowań badaczy.

Rzeczywistość wirtualna dostarcza człowiekowi poczucia zanurzenia (immersji) w świecie wykreowanym w sposób cyfrowy. Towarzyszy temu fenomenologiczne poczucie „obecności w” (*presence*; Schuemie, van der Straaten, Krijn, van der Mast, 2001) o różnym stopniu nasilenia, zależnie od poziomu zanurzenia oferowanego przez dane medium. Należy bowiem pamiętać, że wirtualna rzeczywistość, choćby w postaci nieustannie nam towarzyszącego smartfona czy Internetu, jest obecnie stałym elementem naszego życia. Różny jest jednak poziom zanurzenia w tej rzeczywistości, od niewielkiego (smartfon), poprzez umiarkowany (wiele gier komputerowych), aż po wysoki (platforma VR i hełm z okularami, pozwalające na pełne odcięcie się od świata rzeczywistego).

Psychologia środowiskowa łączy zainteresowania badawcze z zastosowaniami praktycznymi. Dlatego VR, która umożliwia kreowanie dowolnych fizycznych środowisk, otwiera przed psychologami ogromne możliwości. Jednym z najczęstszych sposobów zastosowania tej technologii jest użycie jej w badaniach procesów nawigacji w przestrzeni i odnajdywania drogi (Devlin, 2014; Vinson, 1999). Na przykład w badaniu Li, Thrash, Hölscher i Schinazi (2019) VR została wykorzystana do badania sposobu poruszania się w galerii handlowej i znajdowania określonych obiektów, umożliwiając analizę zachowania ludzi w tłumie lub w tłoku. Armougum, Orriols, Gaston-Bellegarde, Joie-La Marle i Piolino (2019) badali z kolei obciążenie poznawcze osób w trakcie poszukiwania drogi na dworcach kolejowych w środowisku rzeczywistym i odpowiadającym mu środowisku wirtualnym, kolejny zresztą raz potwierdzając trafność ekologiczną wirtualnych środowisk. Badanie procesów nawigacji to jeden z ważniejszych obszarów badawczych psychologii środowiskowej, nie jest zatem dziwne, że właśnie tu VR ma szczególnie szerokie zastosowanie. Wychodząc z założenia, że symulowane i rzeczywiste środowiska rządzą się tymi samymi prawami, Vinson (1999) przedstawił szczegółowy, zaczerpnięty z wiedzy środowiskowej, zestaw konkretnych wskazówek, jak konstruować wirtualne przestrzenie, aby ułatwić w nich nawigację.

Wirtualna rzeczywistość może być sztucznie wykreowana, ale może też mieć postać dokładnego odwzorowania realnego miejsca w postaci nagrań 360° określonego fragmentu rzeczywistości, później eksponowanego badane-
mu na platformach VR. Mouratidis i Hassan (2020) wykorzystali tego typu technologię, porównując percepcję ulic i placów w dwóch stylach architektonicznych – tradycyjnym oraz modernistycznym. Wyniki pokazały wyraźną preferencję architektury tradycyjnej. Nieco wcześniej Tabrizian, Baran, Smith i Meentemeyer (2018) zastosowali identyczną technologię do badania relacji między ilością zieleni w mieście a postrzeganym bezpieczeństwem miejsca oraz jego restoratywnością (definiowaną jako zdolność odnowienia uwagi po wysiłku umysłowym lub zmęczeniu). W Katedrze Psychologii Społecznej i Środowiskowej UMK w Toruniu prowadzone są aktualnie badania z wykorzystaniem filmów 360° prezentujących kilka rodzajów środowisk miejskich, spełniających określone kryteria teoretyczne (miejsca bardziej „konserwatywne”, historyczne vs. miejsca nowoczesne i otwarte). Zastosowanie ich służy badaniu reakcji osób zanurzonych w tych miejscach na wprowadzane w nich zmiany fizyczne i społeczne (Lewicka, 2017; por. rysunek 2).

Praktycznym zastosowaniem technologii VR są prace projektowe i rewitalizacyjne (przegląd możliwości, jakie daje ta technologia w: Portman, Natapov, Fisher-Gewirtzman, 2015). Dla psychologa środowiskowego ważny jest udział przyszłych użytkowników w tego typu pracach. Rzeczywistość wirtualna, jako narzędzie umożliwiające wprowadzenie człowieka w nową przestrzeń, jest metodą, która może uzupełniać lub zastępować bardziej tradycyjne formy modelowania planowanej przestrzeni miasta i która może wspomagać partycypację przyszłych użytkowników w projektowaniu przestrzeni dla nich przeznaczonej (Thompson, Horne, Fleming, 2006). Tak było na przykład w badaniu wykorzystującym VR, w którym dzieci zostały zaangażowane w proces projektowania placu zabaw (Bakr, El Sayad, Thomas, 2018). Rosnące zaangażowanie władz polskich miast w procesy rewitalizacji zdekapitalizowanych przestrzeni miejskich otwiera ogromne możliwości dla zastosowania technologii VR (a także opisanej poniżej AR) jako środka komunikacji z użytkownikami rewitalizowanych miejsc.



A



B

Rysunek 2. Gdzie łatwiej zaakceptować „obcego”? Dwa miejsca: (A) tradycyjne, historyczne i „zamknięte” oraz (B) nowoczesne i otwarte (film 360°).

Rozszerzona rzeczywistość (*augmented reality*, AR). Mówiąc w dużym skrócie, „rozszerzenie” rzeczywistości polega na nałożeniu na istniejący fragment środowiska (np. budynek) wirtualnego obrazu, który „uzupełnia” niejako ten obiekt, zmieniając jego kształt lub dodając do niego niektóre elementy. Popularna przed dwoma laty gra miejska w znajdowanie wirtualnych postaci (Pokemonów) w różnych częściach naturalnego środowiska (budynkach, parkach itd.) oparta była właśnie na wykorzystaniu rozszerzonej rzeczywistości. Zarówno VR, jak i AR korzystają z technologii opartej na wirtualnej rzeczywistości, nie są jednak tożsame. O ile VR pozwala na pełne zanurzenie człowieka w wykreowanym sztucznym świecie, o tyle AR utrzymuje kontakt

z rzeczywistością zewnętrzną. Możliwe są jednak mieszane wersje (*mixed reality*), z większym lub mniejszym udziałem realnego, rozszerzonego i wirtualnego świata (Cheng, Tsai, 2013).

Podobnie jak VR, również AR bywa wykorzystywana w celach zarówno praktycznych, jak i badawczych. Praktyczne zastosowanie AR znalazła przede wszystkim przy projektowaniu środowisk uczenia. Niewątpliwie łatwiej jest opanować wiedzę o dinozaurach, gdy kierując wzrok w stronę tablicy zobaczymy, że stoi tam *Thyranosaurus rex*, niż gdy czytamy o nim jedynie w podręczniku (inną kwestią jest to, że prawdopodobnie dla wielu współczesnych uczniów stojący przy tablicy nauczyciel niewiele się różni od dinozaura). Badania z udziałem uczniów pokazały, że metody wykorzystujące AR w edukacji ekologicznej, w porównaniu z tradycyjnymi metodami nauczania, są dla dzieci bardziej interesujące, wzmacniają nie tylko chęć do nauki o środowisku naturalnym, ale również rozwijają emocjonalne przywiązanie do niego (Huang, Chen, Chou, 2016). Rozszerzona rzeczywistość jest skutecznym narzędziem wspomagającym proces nauczania w szkołach, ale może zostać też wykorzystana jako dodatkowe narzędzie prezentacji np. w muzeach. Badania pokazują, że wykorzystanie AR na wystawie przyczynia się do lepszego zapamiętania informacji w niej przedstawionych przez zwiedzających w porównaniu z informacjami prezentowanymi bez udziału AR (Sommerauer, Müller, 2014).

Rozszerzona rzeczywistość stała się też integralną częścią popularnych gier, w tym tych wymagających poruszania się po mieście, stwarzając możliwości zarówno edukacyjne, jak i badawcze. McCall i in. (2011) wykorzystali grę miejską *TimeWarp*, opartą na rozszerzonej rzeczywistości i mobilnych nośnikach (smartfonach), do nauki historii miasta poprzez znajdowanie zagubionych w różnych okresach historii i w różnych miejscach krasnoludków oraz do badania sposobu doświadczania miejsca przez osoby uczestniczące w tej grze. Z kolei Oleksy i Wnuk (2017) wykorzystali do celów badawczych grę miejską polegającą na poszukiwaniu Pokemonów, wykazując, że miejsca, w których udało się je zidentyfikować, miały większą emocjonalną wartość dla graczy (stawały się obiektem większego przywiązania) niż inne miejsca. W innym badaniu ci sami autorzy (Oleksy, Wnuk, 2016) zastosowali projekcje historycznych budynków (AR) na istniejącą modernistyczną zabudowę osiedla, które znajduje się obecnie na terenie byłego warszawskiego getta (zob. rysunek 3). Kontakt z wizualizacjami historycznych miejsc powodował wzrost zainteresowania historią miejsca, akceptację jego wielokulturowej przeszłości i większe doń przywiązanie.



Rysunek 3. Nałożenie historycznego zdjęcia (ul. Nalewki od strony pl. Muranowskiego, przed rokiem 1939) na współczesne zdjęcie (ul. Andersa) w Warszawie. Źródło: Jeżewski (1960, s. 40), autor zdjęcia nieznanym. Pobrane z: https://pl.m.wikipedia.org/wiki/Plik:Ulica_Nalewki_od_strony_placu_Muranowskiego.jpg

Nowe technologie jako rejestrator zachowań i procesów

Jak pisze Jan Gehl w książce *Miasto dla ludzi* (2014): „Dobre miasto jest jak dobre przyjęcie towarzyskie. Ludzie chcą tu pozostać dłużej, ponieważ dobrze się bawią”. Nie wszystkie jednak miejsca w mieście stwarzają takie możliwości i dlatego rolę psychologa środowiskowego (i każdego badacza, którego interesuje życie miasta) jest obserwacja zachowań ludzi w mieście. I tak jak gospodyni przyjęcia towarzyskiego zastanawia się, dlaczego wszyscy siedzą w kuchni, a nikt w salonie, tak i badacz miasta będzie próbował dociec, które miejsca – i jak – są wykorzystywane przez mieszkańców. Między innymi: dokąd ludzie chodzą, a jakich miejsc unikają, co zwraca ich uwagę, jak czują się w danym miejscu i czy chcieliby kiedyś do niego wrócić.

Szybko rozwijającym się nurtem zastosowań nowych technologii w badaniach środowiskowych jest zatem ich wykorzystanie do rejestracji zachowań ludzi w naturalnym środowisku, a także do badania towarzyszących im procesów psychologicznych (emocji, procesów uwagi). Nowe technologie pozwalają na zdecydowanie bardziej dokładny zapis zjawisk interesujących badacza niż tradycyjne metody obserwacyjne lub werbalne sprawozdania. Jeszcze do niedawna adepci psychologii środowiskowej uczeni byli przede wszystkim

tego, jak obserwować zachowania ludzi w przestrzeni, wykorzystując do tego swoje zmysły (Zeisel, 2006). Prowadzenie takich obserwacji jest nie tylko pracochłonne, ale też narażone na liczne błędy wynikające z niedoskonałości narzędzia obserwacji, jakim jest sam badacz. Nowe technologie pozwalają nie tylko na uniknięcie wielu błędów, ale też na zebranie znacznie większej liczby danych i na zrobienie tego w bardziej systematyczny sposób. Aktualnie jesteśmy w stanie analizować trasy poruszania się ludzi w mieście, wręczając im zaopatrzone w systemy pozycjonowania smartfony, czy analizując nagrania lotnicze zachowań ludzi na dużych przestrzeniach za pomocą ręcznie sterowanych dronów. Można badać procesy uwagi dzięki przenośnym okulografom, rejestrować w sposób ciągły reakcje emocjonalne dzięki oprogramowaniu wbudowanemu w smartfony, a reakcje mózgu na różne naturalne bodźce środowiskowe – dzięki przenośnej aparaturze EEG. Możliwe jest też łączenie obu grup narzędzi – rejestrowanie zachowań w symulowanej rzeczywistości na przykład poprzez połączenie wirtualnej rzeczywistości z okulografią. Również i w przypadku tej grupy technik konieczne jest oczywiście określenie ich trafności ekologicznej. Czy zatem badany wyposażony w ekwipunek, na który składają się okulary do śledzenia ruchów oczu, przenośne EEG, komputer umieszczony na pasku lub w plecaku, rejestrujący ruchy oczu i zapis fal mózgowych, a w kieszeni smartfon domagający się co kilkanaście minut raportowania stanu emocjonalnego, zachowuje się tak samo naturalnie, jak badany pozbawiony tego oprzyrządowania? Pytanie to zostawiamy na razie bez odpowiedzi.

Śledząc ruchy ludzi w środowisku fizycznym. Jednym z kluczowych pojęć współczesnej psychologii środowiskowej jest *spacerowalność* (*walkability*; Speck, 2018). Spacerowalność jest miarą stopnia, w jakim przestrzeń miejska zachęca do tego, żeby wysiąść z samochodu i przemierzyć ją pieszo. Badacze współczesnych miast, przede wszystkim miast tzw. Globalnego Zachodu, i aktywiści miejscy wydali zdecydowaną walkę prymatowi samochodu w stosunku do innych form poruszania się po mieście (pieszo, rowerem). Ruch fizyczny zapobiega otyłości i innym problemom zdrowotnym, pozwala na zacieśnienie kontaktów w lokalnych społecznościach oraz daje poczucie zadowolenia z życia (Jaśkiewicz, Besta, 2014). Rezygnacja z samochodu ratuje nasze miasta i przywraca je ludziom (Montgomery, 2015). Nowe technologie pozwalają z jednej strony na ocenę potencjalnej spacerowalności określonych przestrzeni miejskich, z drugiej zaś – na rejestrację faktycznych zachowań ludzi. Na stronie internetowej

<https://www.walkscore.com/> można wpisać nazwę swojego miasta, dzielnicy oraz ulicy i otrzymać ocenę na skali od 0 (najniższa spacerowalność) do 100 (najwyższa) pieszej dostępności różnych usług w tym miejscu (nadmienimy, że dane odnośnie Polski są dość przestarzałe i pewnie warto opracować własny system miar). Z kolei obserwacje konkretnych zachowań ludzi w kontekście badań nad spacerowalnością to przede wszystkim śledzenie ich sposobu poruszania się w określonych przestrzeniach, a więc kiedy, gdzie i na jak długo wybierają określony sposób poruszania się po mieście. Możliwości zastosowań nowych technologii do rejestracji zachowań ludzi w środowisku jest dużo. Najbardziej popularną technologią jest nawigacyjny systemem stadymetryczny, działający w oparciu o sygnał satelitarny, zintegrowany z Geograficznymi Systemami Informacyjnymi (GIS). System ten popularnie zwany jest GPS (od *Global Positioning System*)¹.

Obecnie prawie każdy smartfon jest wyposażony w możliwość pozycjonowania w oparciu o sygnał z satelity. Pozwala to mierzyć trasy, szybkość i odległość przemieszczania się ludzi. Carlson i in. (2015) wykorzystali pozycjonowanie satelitarne do badania związku między rodzajami aktywności (pieszo, rowerem i samochodem) oraz wbudowanymi w odbiorniki sygnału miarami spacerowalności przestrzeni, gęstości zaludnienia danego obszaru i liczby skrzyżowań. Wyniki pokazały pozytywny związek wszystkich trzech miar przestrzeni z aktywnością pieszą, a negatywny z częstością używania samochodu. W badaniu z udziałem seniorów w Birmingham GPS został użyty do rejestrowania drogi spacerów osób żyjących w obszarach o niskim i wysokim poziomie niekorzystnych warunków społecznych, takich jak bezpieczeństwo czy jakość infrastruktury (Zandieh, Martinez, Flacke, Jones, van Maarseveen, 2016). Z kolei w badaniach holenderskich (Prins i in., 2014) porównywano częstość i odległości aktywności pieszej i na rowerze starszych osób (poniżej i powyżej 75. roku życia), pokazując, że wraz z wiekiem rośnie częstość poruszania się pieszo, maleje natomiast korzystanie z roweru. Wyczerpujący przegląd badań fizycznej aktywności dzieci i młodzieży w mieście z wykorzystaniem metodologii GPS, GIS i akcelerometrii przedstawili McCrorie, Fenton i Ellaway (2014).

1 GPS jest systemem amerykańskim. W innych częściach globu istnieją inne systemy, na przykład *Globalnaja nawigacionnaja sputnikowaja sistiema* – GLONASS, Wielka Niedźwiedzica – BEIDO, Europejski system nawigacji satelitarnej – GALILEO). W tym tekście używać będziemy nazwy GPS jako zwyczajowo przyjętej i najczęściej występującej w cytowanej literaturze.

Nieco innym obszarem zastosowań miar obserwacji ruchów ludzi w przestrzeni są badania dotyczące sposobu poruszania się w przestrzeniach, które zostały stworzone w określonym celu, takich jak centra handlowe czy szeroko rozumiane środowiska uczenia (muzea, ogrody zoologiczne itp.). Nie chodzi tu o badanie tego, czy w ogóle i jak daleko ludzie się przemieszczają, ale które konkretnie obszary są przez nich odwiedzane częściej, a które – często wbrew intencjom projektantów – pomijane. Czy organizacja przestrzeni wymusza korzystanie z pewnych jej obszarów częściej niż z innych, niezależnie od tego, jakie usługi, towary, różne atrakcyjne obiekty znajdują się w tej przestrzeni? Na to pytanie pozytywnie odpowiada sformułowana przez niedawno zmarłego brytyjskiego architekta Billa Hilliera (Hillier, Hanson, 1984) teoria syntaksy przestrzennej (*space syntax*).

Teoria ta oparta jest na założeniu, że przestrzenie różnią się stopniem swojego wizualnego zintegrowania z pozostałymi przestrzeniami, co z kolei jest pochodną ich głębi architektonicznej. Przestrzenie bardziej wizualnie zintegrowane są płytsze, co znaczy, że pozwalają na dotarcie do innych przestrzeni w mniejszej liczbie kroków niż przestrzenie położone głębiej. Pozwalają też na większą wzrokową kontrolę otoczenia i są bardziej wizualnie dostępne. Dla psychologa środowiskowego ważne jest, że im bardziej zintegrowana przestrzeń, tym częściej jest odwiedzana. Graficzna prezentacja przestrzeni muzealnej w postaci odpowiedniego układu osi lub grafu pozwala zatem przewidzieć, które miejsca w muzeum będą częściej odwiedzane, a które rzadziej (Hillier, Tzortzi, 2006). Teoria syntaksy przestrzennej, w połączeniu z metodą GPS, została wykorzystana do analizy zachowania osób zwiedzających historyczny chiński ogród Lion Grove, potwierdzając założenia teorii: przestrzenie dające większą kontrolę wzrokową dłużej zatrzymywały zwiedzających i częściej do nich ponownie wracano (Zhang, Hua, Xu, 2019). Barton, Valtchanov i Ellard (2014) z kolei testowali predykcje wynikające z teorii syntaksy przestrzennej w wirtualnym środowisku miejskim, zróżnicowanym ze względu na poziom czytelności układu ulic oraz wizualnej dostępności elementów w polu uwagi (bliski bądź odległy horyzont). Wykazali, że obie cechy przestrzeni miały niezależny wpływ na sposób poruszania się: mniej czytelne przestrzenie oraz ograniczony horyzont widzenia sprzyjały wyborowi dłuższej drogi.

Teoria syntaksy przestrzennej jest teorią urbanistyczną, dostarczającą analitycznych narzędzi do oceny struktury urbanistycznej nie tylko wybranych przestrzeni, ale całego miasta. Z tego względu wydaje się, że idealną technologią do oceny zarówno siatki urbanistycznej miasta w terminach tej teorii, jak

i testowania hipotezy o związku jej cech z zachowaniami ludzi, jest fotografia lotnicza wykonywana przez cieszące się coraz większą popularnością drony (Cheng, 2016; por. Fiedler, Trojan, w tym tomie). Drony umożliwiają dyskretne monitorowanie dużych przestrzeni, a co za tym idzie, również dużych skupisk ludności i mogą to robić w dowolnym czasie oraz przez odpowiednio długi czas. Pozwala to rejestrować dynamikę życia miejskich przestrzeni, zastępując naoczną obserwację.

Jest rzeczą interesującą, że jak dotąd nie ma wielu zastosowań fotografii lotniczej w psychologii środowiskowej. Może być to spowodowane koniecznością posiadania licencji lotniczej na wykorzystywanie tej technologii. W jednym z badań narzędzie to zostało wykorzystane do zbadania wpływu muzyki na zachowanie ludzi w otwartych przestrzeniach miejskich (Meng, Zhao, Kang, 2018). Okazało się, że odtwarzanie muzyki spowodowało m.in. przybliżenie ścieżki przechodzenia osób przez plac bliżej miejsca, w którym znajdowało się źródło dźwięku. Drony zostały wykorzystane również w badaniu parków miejskich w jednym z hrabstw w Utah, w którym analizowano zarówno przestrzeń parków, jak i to, kto i w jaki sposób z nich korzysta (Park, 2019). Wyniki tego badania pokazały, że liczba użytkowników parków może wzrosnąć wraz z większą liczbą dobrze skomunikowanych ulic otaczających park. Możliwości zastosowania w psychologii środowiskowej teorii syntaksy przestrzennej w powiązaniu z nowymi technologiami (fotografia lotnicza) jest wiele. Poza badaniem nawigacji, może to być interesujące uzupełnienie badań z zakresu estetyki środowiskowej – służąc analizie związku struktury przestrzeni miejskiej (miasta jako całości, poszczególnych dzielnic) z ich ocenami dokonywanymi przez użytkowników miasta.

Do dyskretnej rejestracji zachowań ludzi można wykorzystać również mniej standardowe technologie. I tak na przykład Leoniak i Cwalina (2019) wykorzystali, w sposób bardzo pomysłowy, rejestratory HOBO (które stosowane są do pomiaru temperatury, wilgotności, natężenia światła i innych parametrów środowiska) do pomiaru prośrodkowych zachowań osób badanych. Badano w ten sposób tendencję do gaszenia lub pozostawiania włączonego światła w toaletach publicznych w odpowiedzi na uprzednio umieszczone tam komunikaty normatywne o zróżnicowanej formie. Warto podkreślić, że badanie zostało poprzedzone (pozytywną) oceną trafności ekologicznej narzędzia.

Okulografia, czyli śledzenie ruchów oczu. Oczy może nie są zwierciadłem duszy, ale z pewnością niektóre ich ruchy pozostają poza świadomą kontrolą czło-

wieka. Dzięki temu badanie ruchów oczu dostarcza wartościowych informacji na temat procesów uwagi, łatwości przetwarzania informacji środowiskowej, a także znaczenia i atrakcyjności bodźców środowiskowych. Wskaźniki uzyskiwane z badania okulografem obejmują między innymi czas i liczbę fiksacji wzroku na danym bodźcu, liczbę i amplitudę sakkad, długość ścieżki i częstość mrugnięć (bardziej szczegółowy opis technologii i uzyskiwanych wskaźników w: Szmytke, Bałaj, w tym tomie).

Okulografia w badaniach środowiskowych jest wykorzystywana zarówno w naturalnym środowisku, jak i poza nim, na przykład jako dodatkowe narzędzie służące badaniu procesów towarzyszących ocenie bodźców. Franěk, Šefara, Petružálek, Cabal i Myška (2018) wykorzystali okulografię do sprawdzenia i porównania miejsc o różnych hipotetycznych poziomach restoratywności (zdolności odnawiania uwagi). Zdjęcia wyświetlane na monitorze zawierały trzy typy scenerii: typową przestrzeń miejską, zabytkową przestrzeń miejską oraz naturę, a wyniki potwierdziły hipotezę o mniejszym wysiłku poznawczym (mniejsza liczba fiksacji i dłuższy czas fiksacji) przy oglądaniu zdjęć natury niż pozostałych przestrzeni. Dupont, Antrop i Van Eetvelde (2014) wykazali z kolei, że panoramiczne zdjęcia krajobrazu przetwarzane są z mniejszym wysiłkiem poznawczym (mierzonym czasem fiksacji) niż zdjęcia niepanoramyczne. W naszych własnych badaniach (Bałaj, Strzałkowski, Lewicka, Lubiński, 2019) liczba fiksacji była konsekwentnie powiązana z treścią zdjęć środowiska miejskiego: pozytywnie skorelowana z oceną miejsc jako heterogenicznych, nowoczesnych i dynamicznych, a negatywnie z ich oceną jako stabilnych, naturalnych i zamkniętych (rysunek 4).

Dzięki przenośnym okulografom możliwe jest też badanie okulograficzne w naturalnym środowisku. Simpson, Freeth, Simpson i Thwaites (2019) wykorzystali przenośny okulograf do sprawdzenia przyciągania wzroku przez elementy środowiska u przechodniów w czasie wykonywania codziennych aktywności, takich jak spacer na przystanek autobusowy, potwierdzając ważną rolę krawędzi w miejskiej przestrzeni i architekturze. Przenośny okulograf został też wykorzystany jako jedna z metod badania percepcji i oceny nadrzecznego krajobrazu mieszkańców francuskiej miejscowości Oullins (Cottet i in., 2018). Wyniki były zgodne z rezultatami uzyskanymi tradycyjnymi metodami: kwestionariuszem oraz wywiadem, i pokazały, że odnawianie i przywracanie miejskich rzek może wpłynąć na dobrostan mieszkańców.



A



B

Rysunek 4. Ruchy oczu osoby badanej zarejestrowane podczas oglądania zdjęć prezentujących dwa różne miejsca: (A) historyczne i statyczne oraz (B) nowoczesne i dynamiczne.

Rejestrowanie reakcji na środowisko. Nowoczesne technologie dają w zasadzie nieograniczone możliwości, jeśli idzie o rejestrowanie w sposób ciągły podstawowych parametrów fizjologicznych człowieka (aktywności elektrodermalnej, ciśnienia krwi, temperatury, częstości skurczów serca itp.). Coraz popularniejsze są aplikacje, również w postaci wygodnych urządzeń noszonych na nadgarstku, umożliwiające rejestrację emocji, nastroju czy odczuwanego bólu (Resch, Summa, Sagl, Zeile, Exner, 2014). W badaniu Dixona i in. (2019) aplikacja używana w smartfonie pozwoliła na zbadanie związku między bólem odczuwanym przez uczestników badania a pogodą w miejscu, w którym się znajdowali. Badanie to wykazało m.in. związki między odczuwanym bólem a wilgotnością, ciśnieniem i prędkością wiatru. Możliwe jest też połączenie GPS z mobilnymi aplikacjami pozwalającymi na bieżącą ocenę np. nastroju czy emocji. W jednym z ciekawszych badań sprawdzano, jak różne środki

transportu wpływają na nastrój, poprzez użycie aplikacji, w której osoby badane mogły po zakończonej podróży wypełnić odpowiedni kwestionariusz nastroju (Glasgow Le, Scott Geller, Fan, Hankey, 2019). Wykazano m.in., że przemieszczanie się piesze związane było z lepszym nastrojem niż poruszanie się samochodem, oraz że lepszy nastrój towarzyszył osobom, które przemieszczały się w środowisku naturalnym, ale – co ciekawe – gorszy, gdy poruszały się w środowisku o wysokim wskaźniku spacerowalności.

Nowoczesną technologią jest też mobilne EEG, pozwalające na bieżąco rejestrować aktywność mózgu, gdy człowiek przemieszcza się swobodnie w przestrzeni. Karandinou i Turner (2019) rejestrowały aktywność mózgu osób badanych oraz równocześnie filmowały przemierzaną przez nich trasę. Badanie wykazało konsekwentny związek aktywności mózgu z różnymi zachowaniami w przestrzeni: czekaniem na przejście przez ulicę (spadek częstotliwości fal Beta), podejmowaniem decyzji nawigacyjnych (wzrost częstotliwości fal Beta), rozmową ze spotkanym znajomym (wzrost częstotliwości fal Beta, a także Alfa i Theta). W innym badaniu (Aspinall, Mavros, Coyne, Roe, 2015) wykorzystano mobilne EEG do badania emocji i pobudzenia w mieście, wykazując, że osoby były mniej pobudzone w okolicach miejskiego parku, zaś najbardziej podekscytowane w miejscach, gdzie była duża liczba osób i związanych z tym interakcji społecznych. Wyniki te są zbieżne z danymi uzyskanymi w badaniach wykorzystujących zdjęcia (Iwańczak, Lewicka, 2019): ocena zdjęć jako relaksujących zależała od proporcji zieleni na zdjęciu, a jako ekscytujących – od proporcji ludzi. W badaniu Djebbari, Fichta, Petrini i Gramanna (2019) wykorzystano mobilne EEG, badając reakcje afektywne oraz aktywację mózgu w procesie wykonywania aktywności w wirtualnym środowisku zróżnicowanym pod względem afordancji (drzwi łatwe lub trudne do przejścia). Wyniki wpisują się w holistyczny model percepcji, w którym procesy poznawcze uzależnione są od podejmowanej aktywności w takim samym stopniu, w jakim aktywność zależy od procesów poznawczych.

Big Data i crowdsourcing. Znaczna część społeczeństwa ma w swojej kieszeni przenośny telefon wyposażony w rozmaite aplikacje, odbiornik pozycjonowania satelitarnego i dostęp do Internetu, z którego intensywnie korzysta poprzez pocztę elektroniczną, wyszukiwarki i portale społecznościowe. Oznacza to, że każdy z nas zostawia po sobie „ślad cyfrowy”, przykładając się do wzrostu liczby danych obecnych w sieci. Użytkownicy globalnej wioski aktywnie, choć najczęściej nieświadomie, karmią sieć różnymi informacjami o sobie:

związanymi ze stanem swojego zdrowia, przemierzanych codziennie trasami, dokonywanymi zakupami, a także stylem życia, stanem środowiska w najbliższej okolicy czy poglądami politycznymi. To współtworzenie wielkiej bazy danych jest rodzajem „*crowdsourcingu*” definiowanego jako delegowanie pewnych zadań do szerokiej populacji użytkowników (w tym przypadku zadaniem jest dostarczanie informacji). Efektem są ogromne zbiory danych (Big Data), które pozwalają na analizę zachowań w zasadzie nieograniczonej liczby osób (Stephens-Davidowitz, 2017). Oczywiście nie wszystkie te zachowania mają związek ze środowiskiem fizycznym, ale dzięki geolokacji większość tych danych jest rozmieszczona przestrzennie, a zatem możliwa jest ich analiza ze względu na wymiar geograficzny (Boulos i in., 2011). Resch (2013; zob. też: Resch i in., 2014) sugeruje, że w usieciowionym świecie ludzie funkcjonują jako „*sensory*” – czujniki dostarczające różnego rodzaju danych odnośnie swoich odczuć i zachowań, dzięki geolokacji lokalizowanych w trójwymiarowej przestrzeni. Idea „*people as sensors*” („ludzie jako czujniki”) otwiera zupełnie nowe horyzonty przed badaczami związku między zachowaniami ludzi i ich środowiskiem fizycznym, pozwalając na analizę ogromnej liczby danych w skali niemal całego świata. To przenosi nas do kolejnego etapu wykorzystania nowych technologii: jako formy prezentacji danych.

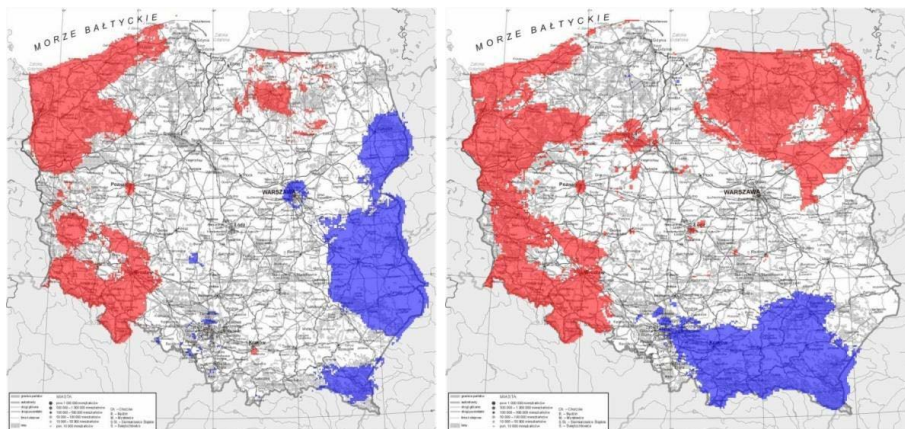
Nowe technologie jako instrument prezentacji wyników

Nowe technologie mogą też być wykorzystane w trzeciej funkcji, mianowicie jako sposób prezentacji wyników badań. Zachowania ludzi w środowisku mają charakter przestrzenny i dlatego poza standardowymi zestawieniami tabelarycznymi i analizami statystycznymi wyników ważna jest ich prezentacja w formie, która odpowiada rozlokowaniu przestrzennemu obserwacji. Tu w sukurs psychologii środowiskowej przychodzi geografia i metodologia Geograficznych Systemów Informacyjnych (GIS; Longley, Goodchild, Maguire, Rhind, 2008). Metodologia ta umożliwia prezentację danych w dwuwymiarowej przestrzeni (najczęściej na odpowiednich podkładach kartograficznych), jak również oferuje statystyki przestrzenne pozwalające na ilościową, a nie tylko poglądową, analizę danych. Doskonały i przystępny podręcznik samodzielnego konstruowania prezentacji graficznej wyników w postaci map za pomocą ogólnie dostępnego programu Quantum GIS (QGIS) przygotował Iwańczak (2013). Jedną z odmian GIS jest opracowana w Pracowni Psychologii Środowiskowej

Uniwersytetu Warszawskiego metodologia prezentacji i analizy map psychologicznych, a więc przestrzennego rozkładu ocen i postaw wobec środowiska, nazwana psychokartografią (Foland, 2006). Ze względu na autorski charakter tej metody, poświęcimy jej trochę miejsca.

Psychokartografia nawiązuje do idei sformułowanych jeszcze w latach '80 ubiegłego wieku przez geografa Petera Goulda (Gould, White, 1982) i pozwala na mapowanie psychologicznych znaczeń nadawanych różnym miejscom w przestrzeni (miejsca lubiane i nie lubiane, bezpieczne i niebezpieczne, znane i nieznanne, swoje i obce itd.). Na odpowiednich podkładach kartograficznych, papierowych lub wirtualnych, badani zaznaczają określone obszary, a program PsiMap autorstwa Adama Folanda i Krzysztofa Ziacha (Foland, 2006) przetwarza te dane w zbiorcze mapy psychologiczne, podobne do map temperatury (im bardziej intensywny kolor, tym częściej wybierane dane miejsce). Program pozwala też na analizy statystyczne, zliczając wielkość zaznaczonych obszarów, przeprowadzając podstawowe operacje arytmetyczne (np. mnożenie, odejmowanie) oraz obliczając istotne statystycznie różnice między mapami otrzymanymi z analizy różnych grup. Na rysunku 5 zaprezentowano dwie mapy różnicowe Polski, obrazujące różnice w preferencjach osób mieszkających (1) na Ziemiach Zachodnich i Północnych (ZZP) oraz (2) we wschodnich i (3) południowo-wschodnich województwach kraju. Widać wyraźnie efekty lokalne – preferencję własnego miejsca zamieszkania, przy czym teren Warmii i Mazur bardziej różnicuje mieszkańców ZZP i Galicji niż mieszkańców ZZP i wschodnich województw, w tym sąsiedniego Podlasia.

Ponieważ ciekawe idee rodzą się na ogół równolegle w różnych głowach, podobne pomysły na mapowanie emocji zaproponowali też inni badacze, np. Matei, Ball-Rokeach i Qiu (2001), opracowując trójwymiarowe mapy odczuwanego bezpieczeństwa w Los Angeles, a później Nold (2009), wprowadzając pojęcie *emocjonalnej kartografii* oraz rozwijając jej metodologię. Wraz z rozwojem przenośnych rejestratorów psychicznych i fizjologicznych stanów człowieka metodologia mapowania emocji związanych ze środowiskiem fizycznym będzie się prawdopodobnie dynamicznie rozwijać.



(A)

(B)

Rysunek 5. Miejsca lubiane na mapie kraju. Kolorem czerwonym zaznaczono miejsca bardziej preferowane przez mieszkańców Ziemi Zachodnich i Północnych niż pozostałych województw. Kolorem niebieskim oznaczono zaś miejsca bardziej preferowane przez mieszkańców województw wschodnich (mapa A) oraz południowo-wschodnich (mapa B) niż mieszkańców Ziemi Zachodnich i Północnych (różnice istotne statystycznie; badania własne).

Nowe technologie jako naturalne środowisko człowieka

Nowe technologie dostarczają instrumentarium, które pozwala na symulację rzeczywistego środowiska, rejestrację zachodzących w nim zachowań i procesów oraz odpowiednią prezentację zebranych danych. Na tym nie kończy się jednak potencjalny wkład nowych technologii do psychologii środowiskowej. Obecnie nowe technologie wykraczają bowiem poza funkcję instrumentalną względem „świata realnego” i w coraz większym stopniu stają się naturalnym środowiskiem człowieka (Twenge, 2009), niepostrzeżenie wtapiając się w to środowisko i stając się jego integralną częścią, a wręcz jego substytutem. Nie jest to już zatem symulacja środowiska, ale środowisko jako takie – społeczne i informacyjne. Serwisy społecznościowe zastępują rzeczywiste kontakty grupowe. Internet staje się rozszerzeniem naturalnych procesów pamięciowych o informacje dostępne w internetowych wyszukiwarkach i encyklopediach (Google, Wikipedia). Dla psychologa środowiskowego ważna jest rola nowych

technologii w kreowaniu rzeczywistości fizycznej i badanie psychologicznych reakcji na nie. Pojawiają się wyniki badań stymulowanych kontaktami z nowymi technologiami. W jednym z takich badań (Stiglbauer, Weber, 2018) sprawdzano, czy fakt zrobienia sobie zdjęcia (*selfie*) w określonym miejscu zmienia stosunek do tego miejsca, a więc czy rośnie przywiązanie emocjonalne do niego. Nowe technologie wywierają też wpływ na mobilność ludzi. Badania pokazują, że możliwość uczestniczenia w wideokonferencjach, telepraca czy różne formy zdobywania wiedzy na odległość (*distant learning*) mogą redukować skłonność do przemieszczania się (Cooke, Shuttleworth, 2018), a tym samym przeciwdziałać rozrywaniu lokalnych więzi. Z drugiej strony, łatwość wirtualnej komunikacji z bliskimi sobie osobami znajdującymi się praktycznie w dowolnym miejscu na Ziemi skraca odległości psychologiczne i może sprzyjać na przykład migracjom zarobkowym. Obszernym polem badań psychologii środowiskowej są analizy emocjonalnych więzi ludzi z miejscem zamieszkania (Lewicka, 2012), stosunkowo mało jednak wiadomo, na ile procesy budowania (bądź osłabiania) relacji z miejscem mogą być zapośredniczone poprzez korzystanie z nowoczesnych technologii. W kolejnych podrozdziałach przedstawiamy przykładowe światy wirtualne, które w coraz większym stopniu stają się naturalnym środowiskiem człowieka.

Second life i inne środowiska wirtualne. Pierwszymi przyjętymi na szeroką skalę światami wirtualnymi były tzw. MUD (*Multi-User Dungeon*), które poprzez prosty interfejs tekstowy pozwalały graczom zdalnie komunikować się i przeżywać wspólne przygody w ramach gier typu *role-playing*. Już w ich przypadku można było mówić nie tylko o tym, że pozwalają na komunikację, ale też stwarzają poczucie obecności w środowisku wirtualnym (Towell, Towell, 2006). Dalszy rozwój technologii pozwolił na coraz bardziej realistyczne odwzorowanie środowisk wirtualnych w oparciu o modelowanie 3D i symulację świata fizycznego. Szczególną rewolucją, jeśli chodzi o popularność środowisk wirtualnych, było wprowadzenie na rynek *Second Life*, wirtualnego świata stworzonego jako wirtualna emulacja świata rzeczywistego. Jednak w przeciwieństwie do np. *World of Warcraft* i innych popularnych gier MMO (*Massive Multiplayer Online* – wieloosobowych gier sieciowych), tutaj gracze nie mieli wyznaczonego celu i samodzielnie kreowali wirtualne społeczności oraz środowiska symulujące te, które znamy z codziennego życia.

Wirtualne światy dają świetną możliwość tworzenia sytuacji eksperymentalnych. Od obserwacji zachowań społecznych i formy personalizacji przestrzeni

w warunkach wirtualnych w grze *Second Life* przez osoby niepełnosprawne (Boellstorff, 2018), poprzez badanie wpływu projektu klasy informatycznej na skuteczność nauczania u studentek (Cheryan, Meltzoff, Kim, 2011), aż po badanie wpływu spaceru po lesie na poziom stresu (Valtchanov, Barton, El-lard, 2010). Potencjalny zakres zastosowań ogranicza wyłącznie wyobraźnia i możliwości badaczy.

Cyberkartografia i cyberprzestrzeń. Mapowaniem oraz opisywaniem środowisk wirtualnych zajmuje się cyberkartografia (Dodge, Kitchin, 1999, 2001). O ile w poprzednich podrozdziałach zajmowaliśmy się tym, jak nowoczesne technologie potrafią wzbogacić tradycyjne nurty badań środowiska, o tyle w przypadku cyberkartografii mowa jest o czymś wręcz odwrotnym. Mianowicie o zastosowaniu tradycyjnych metod opisu środowiska fizycznego (przede wszystkim miar geograficznych) do opisu środowisk wirtualnych, powstających w wyniku naszej aktywności w Internecie, a także o charakterystyce relacji między składowymi tego, co tworzy Internet i innymi formami wizualizacji danych związanych z metateorią tego, jak funkcjonuje Sieć. Cyberprzestrzeń przeniknęła środowisko fizyczne do tego stopnia, że niektórzy badacze mówią o digi-miejscach czy środowiskach rozszerzonych (*augmented environments*; Zook, Graham, 2007). Innymi słowy, nasze interakcje z niektórymi miejscami nieodłącznie dotyczą zarówno interakcji ze środowiskiem fizycznym, jak i ze środowiskiem wirtualnym. Szczególnie rozpowszechnionym tego przykładem są kody QR widoczne na witrynach sklepów, reklamach czy innych częściach przestrzeni publicznej. W Polsce przystanki komunikacji miejskiej czy okładki menu niektórych restauracji zdobią z kolei reklamy inicjatywy czytelnicej, która pozwala na darmowe wypożyczenie książek (czytaj.pl). Restauracje i sklepy zachęcają natomiast do zamawiania towarów przez aplikacje. Jako badacze możemy zarówno kreować takie środowiska, jak i obserwować wpływ warstwy cyfrowej na sposób korzystania z nich.

Zakończenie

Psychologia środowiskowa jest dziedziną badań zarówno podstawowych, jak i aplikacyjnych. Jako dziedzina naukowa służy odkrywaniu prawidłowości i wyjaśnianiu zachowań. Jako dziedzina aplikacyjna dostarcza niezbędnego *know how* do zmiany rzeczywistości. W obu tych obszarach, co staraliśmy się

pokazać, nowoczesne technologie mogą się okazać nieocenioną pomocą. Nie ma wątpliwości, że rozwój nauki uzależniony jest od rozwoju technologicznego. Nowe metody pozwalają odpowiedzieć na te postawione kiedyś pytania, które – ze względu na brak odpowiedniego instrumentarium – pozostawały bez odpowiedzi. Wystarczy wymienić funkcjonalny rezonans magnetyczny, który zdynamizował badania mózgowych mechanizmów procesów psychicznych i istotnie przyczynił się do powstania kognitywistyki jako odrębnej dziedziny nauki. Nowe metody stymulują też stawianie zupełnie nowych pytań. Rozwój nauki zależy nie tylko od twórczego umysłu badacza, ale też od możliwości wcielania ich pomysłów w życie. Niemniej zasadne wydają się być w tym miejscu pewne ostrzeżenia.

Ostrzeżenie pierwsze dotyczy efektywności. Jeżeli to samo można uzyskać prostszą i mniej pracochłonną metodą, pewnie warto rozważyć pozostanie przy niej. Przed nadmierną fascynacją nowoczesnymi metodami, które z punktu widzenia wartości poznawczej wyniku przynoszą nie więcej korzyści niż „klasyczne” metody, przestrzega między innymi Stamps (2016). Jeżeli zatem w niektórych obszarach badań psychologa środowiskowego zwykle kolorowe zdjęcia dają takie same efekty, co wirtualne światy, może warto pozostać przy tych pierwszych?

Drugie ostrzeżenie dotyczy konieczności powiązania technologii z pytaniami badawczymi i teorią właściwymi dla psychologii. Fascynacja nowymi technologiami powoduje, że ich stosowaniu często nie towarzyszy żadne ciekawe pytanie badawcze. A kiedy nie ma ciekawego pytania badawczego, to i odpowiedzi będą banalne. Trzeba przyznać, że nawet wśród cytowanych w tym rozdziale wyników badań wiele miało charakter trywialny. Jak bowiem inaczej ocenić wynik wskazujący, że osoby starsze niż 75 lat bardziej obawiają się jazdy na rowerze (upadku z niego) niż osoby młodsze i dlatego rzadziej z niego korzystają (Prins i in., 2014)? Czy też inny wynik (również uzyskany z badania przenośnym GPSEM) wskazujący, że badani przemieszczają się dalej i szybciej samochodem niż pieszo lub na rowerze (Oliver, Badland, Mavoa, Duncan, Duncan, 2010)? Czy wynikiem oryginalnym jest to, że ludzie dłużej przebywają w miejscu, z którego coś widać, niż w miejscach mniej wzrokowo dostępnych (Zhang, Hua, Xu, 2019)? Równie dużym zagrożeniem jest zbieranie wszystkich możliwych danych, bez jakiegokolwiek ukierunkowania pytaniami badawczymi, w nadziei, że jakiś wzorzec się z otrzymanych wyników wyłoni. Pierwsza autorka obecnego tekstu miała wielokrotnie okazję recenzować projekty badawcze, których autorzy ulegli fascynacji nowymi technologiami, a które miały czysto eksploracyjny i ateoretyczny charakter (w myśl koncepcji:

„damy ludziom przenośne okulografy, a potem się zobaczy, co zarejestrujemy”). Nie ma możliwości zahamowania technologicznego postępu. Warto, aby towarzyszył mu również dynamiczny rozwój myśli teoretycznej w psychologii.

Literatura cytowana

- Amedeo, D., Golledge, R. G., Stimson, R. J. (2009). *Person environment behavior research. Investigating activities and experiences in spaces and environments*. Nowy Jork: The Guilford Press.
- Armougum, A., Orriols, E., Gaston-Bellegarde, A., Joie-La Marle, C., Piolino, P. (2019). Virtual reality: A new method to investigate cognitive load during navigation. *Journal of Environmental Psychology*, 65, 101338. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2019.101338>
- Aspinall, P., Mavros, P., Coyne, R., Roe, J. (2015). The urban brain: Analysing outdoor physical activity with mobile EEG. *British Journal of Sports Medicine*, 49(4), 272–276. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2012-091877>
- Bakr, A. F., El Sayad, Z. T., Thomas, S. M. S. (2018). Virtual reality as a tool for children's participation in kindergarten design process. *Alexandria Engineering Journal*, 57(4), 3851–3861. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2018.10.003>
- Bałaj, B., Strzałkowski, M., Lewicka, M., Lubiński, A. (2019, sierpień). *Visual scanning of places and non-places*. Poster na 20th European Conference on Eye Movements, Alicante, Hiszpania.
- Barton, K. R., Valtchanov, D., Ellard, C. (2014). Seeing beyond your visual field: The influence of spatial topology and visual field on navigation performance. *Environment and Behavior*, 46(4), 507–529. <https://doi.org/10.1177/0013916512466094>
- Bechtel, R., Marans, R. W., Michelson, W. (1987). *Methods in environmental and behavioral research*. Nowy Jork: Van Nostrand Reinhold Company.
- Bishop, I. D., Rohrmann, B. (2003). Subjective responses to simulated and real environments: A comparison. *Landscape and Urban Planning*, 65(4), 261–277. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(03\)00070-7](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(03)00070-7)
- Boellstorff, T. (2018). The opportunity to contribute: Disability and the digital entrepreneur. *Information, Communication & Society*, 22(4), 474–490. <https://doi.org/10.1080/1369118X.2018.1472796>
- Bosselman, P., Craik, K. H. (1987). Perceptual simulations of environments. W: R. Bechtel, R. W. Marans, W. Michelson (red.), *Methods in environmental and behavioral research* (s. 162–190). Nowy Jork: Van Nostrand Reinhold Company.
- Boulos, M. N. K., Resch, B., Crowley, D. N., Breslin, J. G., Sohn, G., Burtner, R., ..., Slayer Chuang, K.-Y. (2011). Crowdsourcing, citizen sensing and sensor web

- technologies for public and environmental health surveillance and crisis management: Trends, OGC standards and application examples. *International Journal of Health Geographics*, 10, 67.
- Carlson, J. A., Saelens, B. E., Kerr, J., Schipperijn, J., Conway, T. L., Frank, L. D., ..., Sallis, J. F. (2015). Association between neighborhood walkability and GPS-measured walking, bicycling and vehicle time in adolescents. *Health Place*, 32, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2014.12.008>
- Cheng, E. (2016). *Drony. Tajniki zdjęć i filmów lotniczych*. Gliwice: Helion.
- Cheng, K.-H., Tsai, C.-C. (2013). Affordances of augmented reality in science learning: Suggestions for future research. *Journal of Science and Education Technology*, 22, 449–462. <https://doi.org/10.1007/s10956-012-9405-9>
- Cheryan, S., Meltzoff, A. N., Kim, S. (2011). Classrooms matter: The design of virtual classrooms influences gender disparities in computer science classes. *Computers & Education*, 57(2), 1825–1835. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.02.004>
- Cooke, T. J., Shuttleworth, I. (2018). The effects of information and communication technologies on residential mobility and migration. *Population, Space and Place*, 24(3), e2111. <https://doi.org/10.1002/psp.2111>
- Cottet, M., Vaudor, L., Tronchère, H., Roux-Michollet, D., Augendre, M., Brault, V. (2018). Using gaze behavior to gain insights into the impacts of naturalness on city dwellers' perceptions and valuation of a landscape. *Journal of Environmental Psychology*, 60, 9–20. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2018.09.001>
- De Kort, Y. A. W., Ijsselstein, W. A., Kooijman, J., Schuurmans, Y. (2003). Virtual laboratories: Comparability of real and virtual environments for environmental psychology. *Presence*, 12(4), 360–373. <https://doi.org/10.1162/10547460322391604>
- Devlin, A. S. (2014). Way finding in healthcare facilities: Contributions from environmental psychology. *Behavioral Sciences*, 4, 423–436. <https://doi.org/10.3390/bs404042>
- Dixon, W. G., Beukenhorst, A. L., Yimer, B. B., Cook, L., Gasparrini, A., El-Hay, T., ..., McBeth, J. (2019). How the weather affects the pain of citizen scientists using a smartphone app. *Npj Digital Medicine*, 2(1), 105. <https://doi.org/10.1038/s41746-019-0180-3>
- Djebbara, Z., Fich, L. B., Petrini, L., Gramann, K. (2019). Sensorimotor brain dynamics reflect architectural affordances. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(29), 14769–14778. <https://doi.org/10.1073/pnas.1900648116>
- Dodge, M., Kitchin, R. (1999). *Mapping cyberspace*. Londyn–Nowy Jork: Routledge.
- Dodge, M., Kitchin, R. (2001). *Atlas of cyberspace*. Edynburg: Pearson Education.
- Dupont, L., Antrop, M., Van Eetvelde, V. (2014). Eye-tracking analysis in landscape perception research: Influence of photograph properties and landscape characteristics. *Landscape Research*, 39(4), 417–432. <https://doi.org/10.1080/01426397.2013.773966>

- Foland, A. (2006). Psychokartografia – metoda badania przestrzeni miejskiej. W: T. Duda, M. Fuhrman, A. Gendźwił, A. Izdebski, K. Kuzko, M. Pieniążek (red.), *Dynamika przestrzeni miejskiej* (s. 107–119). Poznań: Wydawnictwo Poznańskie.
- Fox, J., Arena, D., Bailenson, J. N. (2009). Virtual reality: A survival guide for the social scientist. *Journal of Media Psychology*, 21(3), 95–113. <https://doi.org/10.1027/1864-1105.21.3.95>
- Franěk, M., Šefara, D., Petružálek, J., Cabal, J., Myška, K. (2018). Differences in eye movements while viewing images with various levels of restorativeness. *Journal of Environmental Psychology*, 57, 10–16. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2018.05.001>
- Gehl, J. (2014). *Miasta dla ludzi*. Kraków: Wydawnictwo RAM.
- Gehl, J., Svarre, B. (2013). *How to study public life*. Waszyngton: Island Press.
- Gifford, R. (2013). *Environmental psychology. Principles and practice*. Colville: Optimal Books.
- Gifford, R. (red.). (2016). *Research methods for environmental psychology*. Chichester: Wiley Blackwell.
- Glasgow, T. E., Le, H. T. K., Scott Geller, E., Fan, Y., Hankey, S. (2019). How transport modes, the built and natural environments, and activities influence mood: A GPS smartphone app study. *Journal of Environmental Psychology*, 66, 101345. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2019.101345>
- Gould, P., White, R. (1982). *Mental maps*. Boston: Allen & Unwin.
- Hillier, B., Hanson, J. (1984). *The social logic of space*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hillier, B., Tzortzi, K. (2006). Space syntax: The language of museum space. W: S. Macdonald (red.), *A companion to museum studies* (s. 282–301). Oxford: Blackwell.
- Huang, T.-C., Chen, C.-C., Chou, Y.-W. (2016). Animating eco-education: To see, feel, and discover in an augmented reality-based experiential learning environment. *Computers & Education*, 96, 72–82. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.02.008>
- Iwańczak, B., Lewicka, M. (2020). Affective map of Warsaw. Testing Alexander's Pattern Language theory in an urban landscape. *Landscape and Urban Planning*, 204, 103910. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.103910>
- Iwańczak, B. (2013). *Quantum GIS. Tworzenie i analiza map*. Warszawa: Helion.
- Jaśkiewicz, M., Besta, T. (2014). Is easy access related to better life? Walkability and overlapping of personal and communal identity as predictors of quality of life. *Applied Research in Quality of Life*, 9(3), 505–516. <https://doi.org/10.1007/s11482-013-9246-6>
- Jeżewski, A. (1960). *Warszawa na starej fotografii*. Warszawa: Wydawnictwo Artystyczno-Graficzne.
- Karandinou, A., Turner, L. (2019). Architecture and neuroscience; what can the EEG recording of brain activity reveal about a walk through everyday spaces? *Inter-*

- national Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems*, 32(Sup 1), 54–65. <https://doi.org/10.1080/17445760.2017.1390089>
- Leoniak, K. J., Cwalina, W. (2019). The role of normative prompts and norm support cues in promoting light-switching behavior: A field study. *Journal of Environmental Psychology*, 64, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2019.04.014>
- Lewicka, M. (2012). *Psychologia miejsca*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe Scholar.
- Lewicka, M. (2017). *Spostrzeganie miejsc jako bytów esencjalnych: Implikacje dla poczucia identyfikacji z miejscem, pamięci miejsca oraz reakcji na różnorodność i zmianę miejsca*. Projekt badawczy realizowany w latach 2018–2021.
- Li, H., Thrash, T., Hölscher, C., Schinazi, V. R. (2019). The effect of crowdedness on human wayfinding and locomotion in a multi-level virtual shopping mall. *Journal of Environmental Psychology*, 65, 101320. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2019.101320>
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., Rhind, D. W. (2008). *GIS. Teoria i praktyka*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Loomis, J. M., Blaskowitz, J. J., Beall, A. C. (1999). Immersive virtual environment technology as a basic research tool in psychology. *Behavior Research Methods, Instruments & Computers*, 31(4), 557–564. <https://doi.org/10.3758/bf03200735>
- Matei, S., Ball-Rokeach, S., Qiu, J. L. (2001). Fear and misperception of Los Angeles urban space. A spatial-statistical study of communication-shaped mental maps. *Communication Research*, 28(4), 429–463. <https://doi.org/10.1177/009365001028004004>
- McCall, R., Wetzel, R., Löschner, J., Braun, A.-K. (2011). Using presence to evaluate an augmented reality location aware game. *Personal and Ubiquitous Computing*, 15(1), 25–35. <https://doi.org/10.1007/s00779-010-0306-8>
- McCrorie, P. R. W., Fenton, C., Ellaway, A. (2014). Combining GPS, GIS, and accelerometer to explore the physical activity and environment relationship in children and young people – a review. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 11, 93. <https://doi.org/10.1186/s12966-014-0093-0>
- Meng, Q., Zhao, T., Kang, J. (2018). Influence of music on the behaviors of crowd in urban open public spaces. *Frontiers in Psychology*, 9, 596. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00596>
- Montgomery, C. (2015). *Miasto szczęśliwe. Jak zmienić nasze życie, zmieniając nasze miasta*. Kraków: Wysoki Zamek.
- Mouratidis, K., Hassan, R. (2020). Contemporary versus traditional styles in architecture and public space: A virtual reality study with 360-degree videos. *Cities*, 97, 102499. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.102499>
- Nee, C., White, M., Woolford, K., Pascu, T., Barker, L., Wainwright, L. (2015) New methods for examining expertise in burglars in natural and simulated environments: Preliminary findings. *Psychology, Crime & Law*, 21(5), 507–513. <https://doi.org/10.1080/1068316X.2014.989849>

- Nold, C. (red.). (2009). *Emotional cartography: Technologies of the self*. Pobrane z: www.emotionalcartography.net
- Oleksy, T., Wnuk, A. (2016). Augmented places: An impact of embodied historical experience on attitudes towards places. *Computers in Human Behavior*, 57, 11–16. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.12.014>
- Oleksy, T., Wnuk, A. (2017). Catch them all and increase your place attachment! The role of location-based augmented reality games in changing people-place relations. *Computers in Human Behavior*, 76, 3–8. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.06.008>
- Oliver, M., Badland, H., Mavoa, S., Duncan, M. J., Duncan, S. (2010). Combining GPS, GIS, and accelerometry: Methodological issues in the assessment of location and intensity of travel behaviors. *Journal of Physical Activity and Health*, 7(1), 102–108. <https://doi.org/10.1123/jpah.7.1.102>
- Park, K. (2019). Park and neighborhood attributes associated with park use: An observational study using unmanned aerial vehicles. *Environment and Behavior*, 52(5), 518–543. <https://doi.org/10.1177/0013916518811418>
- Portman, M. E., Natapov, A., Fisher-Gewirtzman, D. (2015). To go where no man has gone before: Virtual reality in architecture, landscape architecture and environmental planning. *Computers, Environment and Urban Systems*, 54, 376–384. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2015.05.001>
- Prins, R. G., Pierik, F., Etman, A., Sterkenburg, R. P., Kamphuis, C. B. M., van Lenthe, F. J. (2014). How many walking and cycling trips made by elderly are beyond commonly used buffer sizes: Results from a GPS study. *Health & Place*, 27, 127–133. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2014.01.012>
- Resch, B. (2013). People as sensors and collective sensing-contextual observations complementing geo-sensor network measurements. W: J. M. Krisp (red.), *Progress in location-based services, lecture notes in geoinformation and cartography* (s. 391–406). Berlin: Springer-Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-642-34203-5_22
- Resch, B., Summa, A., Sagl, G., Zeile, P., Exner, J.-P. (2014). Urban emotions – Geo-semantic emotion extraction from technical sensors, human sensors and crowd-sourced data. W: G. Gartner, H. Huang (red.), *Progress in location-based services* (s. 199–212). Berlin: Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-34203-5>
- Schuemie, M. J., van der Straaten, P., Krijn, M., van der Mast, C. A. P. G. (2001). Research on presence in virtual reality: A survey. *CyberPsychology & Behavior*, 4(2), 183–201. <https://doi.org/10.1089/109493101300117884>
- Simpson, J., Freeth, M., Simpson, K. J., Thwaites, K. (2019). Visual engagement with urban street edges: Insights using mobile eye-tracking. *Journal of Urbanism: International Research on Placemaking and Urban Sustainability*, 12(3), 259–278. <https://doi.org/10.1080/17549175.2018.1552884>

- Sommerauer, P., Müller, O. (2014). Augmented reality in informal learning environments: A field experiment in a mathematics exhibition. *Computers & Education*, 79, 59–68. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2014.07.013>
- Speck, J. (2018). *Walkable city rules: 101 steps to making better places*. Waszyngton: Island Press.
- Stamps III, A. E. (2016). Simulating designed environments. W: R. Gifford (red.), *Research methods for environmental psychology* (s. 197–220). Chichester: Wiley Blackwell.
- Steg, L., van der Berg, A. E., de Groot, J. I. M. (2013). *Environmental psychology. An introduction*. Chichester: BPS Blackwell.
- Stephens-Davidowitz, S. (2017). *Wszyscy kłamią. Big data, nowe dane, co Internet może nam powiedzieć o tym, kim naprawdę jesteśmy*. Kraków: Wydawnictwo Literackie.
- Stiglbauer, B., Weber, S. (2018). A picture paints a thousand words: The influence of taking selfies on place identification. *Journal of Environmental Psychology*, 58, 18–26. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2018.07.007>
- Tabrizian, P., Baran, P. K., Smith, W. R., Meentemeyer, R. K. (2018). Exploring perceived restoration potential of urban green enclosure through immersive virtual environments. *Journal of Environmental Psychology*, 55, 99–109. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2018.01.001>
- Thompson, E. M., Horne, M., Fleming, D. (2006, sierpień). *Virtual reality urban modelling – an overview*. Referat na 6th Conference of Construction Applications of Virtual Reality, Orlando, USA.
- Towell, J., Towell, E. (2006). Presence in text-based networked virtual environments or „MUDS”. *PRESENCE: Virtual and Augmented Reality*, 6(5), 590–595. <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.5.590>
- Twenge, J. M. (2019). *iGen. Dlaczego dzieciaki dorastające w sieci są mniej zbuntowane, bardziej tolerancyjne, mniej szczęśliwe – i zupełnie nieprzygotowane do dorosłości*. Sopot: Wydawnictwo Smak Słowa.
- Valtchanov, D., Barton, K. R., Ellard, C. (2010). Restorative effects of virtual nature settings. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 13(5), 503–512. <https://doi.org/10.1089=cyber.2009.0308>
- Vinson, N. G. (1999). Design guidelines for landmarks to support navigation in virtual environments. *CHI '99: Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems*, 278–285. Nowy Jork: Association for Computing Machinery.
- Zandieh, R., Martinez, J., Flacke, J., Jones, P., van Maarseveen, M. (2016). Older adults' outdoor walking: Inequalities in neighborhood safety, pedestrian infrastructure and aesthetics. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(12), 1179. <https://doi.org/10.3390/ijerph13121179>

- Zeisel, J. (2006). *Inquiry by design*. Nowy Jork: W.W. Norton.
- Zhang, T., Hua, W., Xu, Y. (2019). „Seeing” or „being seen”: Research on the sight line design in the lion grove based on visitor temporal–spatial distribution and space syntax. *Sustainability*, 11(16), 4348. <https://doi.org/10.3390/su11164348>
- Zook, M. A., Graham, M. (2007). The creative reconstruction of the Internet: Google and the privatization of cyberspace and DigiPlace. *Geoforum*, 38(6), 1322–1343. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2007.05.004>

MAGDALENA SZMYTKE¹, BIBIANNA BAŁAJ²

¹ Wydział Psychologii, Uniwersytet Warszawski

² Instytut Psychologii, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

Zastosowanie okulografii w badaniach procesów poznawczych

Sposób cytowania: Szmytke, M., Bałaj, B. (2020). Zastosowanie okulografii w badaniach procesów poznawczych. W: M. Trojan, M. Gut (red.), *Nowe technologie i metody w psychologii* (s. 53–78). Warszawa: Liberi Libri. <https://doi.org/10.47943/lib.9788363487430.rozdzial02>

Rejestrację danych oko-ruchowych można przeprowadzić za pomocą różnych technik. Jedną z nich jest elektrookulografia (EOG), która służy do pomiaru ruchów oczu przy zamkniętych powiekach, np. podczas tworzenia wyobrażeń (Demarais, Cohen, 1998). Kolejna – *scleral search coil* (soczewka montowana na twardówce oka) wskazuje pozycję oka po umieszczeniu osoby badanej w polu magnetycznym. Jest to jednak metoda inwazyjna, choć charakteryzująca się bardzo dużą dokładnością pomiaru (Schmitt, Muser, Lanz, Walz, Schwarz, 2007). Ostatnią metodą jest okulografia, która jako jedyna będzie przedmiotem niniejszego rozdziału.

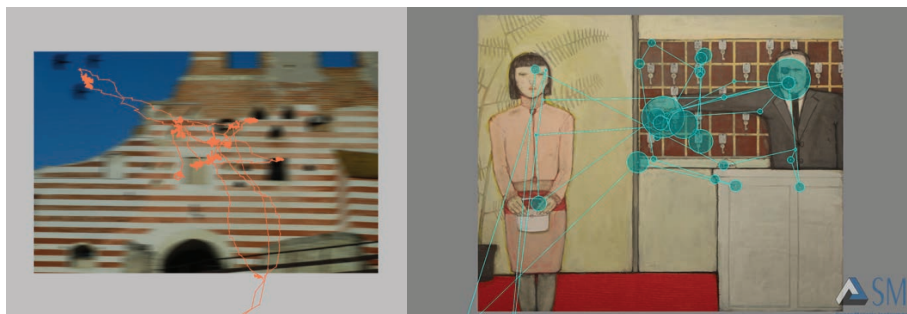
Okulografia

Okulografią (eye trackingiem) nazywamy zbiór technik badawczych, które umożliwiają zbieranie, przekształcanie i analizę danych okoruchowych (Hutton, 2019). Podczas rejestracji zbierane są informacje o położeniu oraz ruchu gałek ocznych w trakcie wykonywania rozmaitych zadań. Metoda ta umożliwia badaczowi dokładne określenie, gdzie patrzy osoba badana oraz w jakiej kolejności przebiegają zmiany w pozycji oczu przy patrzeniu na prezentowane obiekty (Poole, Ball, 2006).

Większość obecnie stosowanych okulografów (eye trackerów) rejestruje ruch oka za pomocą kamery. Oko jest oświetlane podczerwienią, dzięki której kamera uzyskuje wyraźny obraz, a osoba badana nie jest oślepiana, gdyż światło podczerwone znajduje się poza zakresem spektrum fal światła widzialnego. Światło odbija się od rogówki i soczewki i tworzy tzw. refleksy rogówkowe. Gdy oko się porusza, kamera rejestruje zmieniającą położenie źrenicę, wtedy refleks pozostaje względnie stabilny. Natomiast refleks porusza się, gdy poruszamy głową, a nie tylko oczami (Duchowski, 2017).

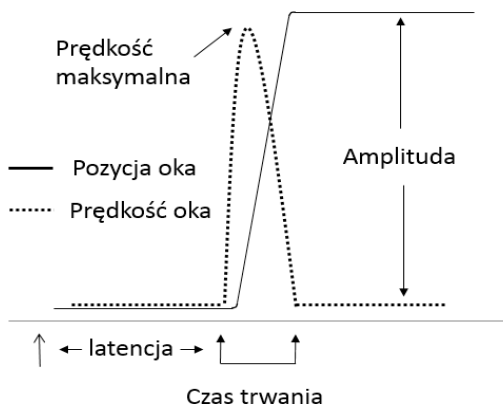
Przed przeprowadzeniem pomiaru konieczne jest odpowiednie ustawienie, dopasowanie do każdej osoby badanej i tzw. kalibracja urządzenia, czyli powiązanie obrazu oka z kamery z pozycją wzroku (relatywnie na ekranie). Dostępnych jest wiele metod kalibracji, które opierają się na podobnych zasadach. Najczęściej niewielkie obiekty (kropki, kółka, krzyżyki) pojawiają się w różnych pozycjach ekranu, zaś zadaniem osoby badanej jest fiksowanie na nich wzroku. W tym czasie odpowiednie algorytmy ustalają pozycję wzroku względem prezentowanych obiektów. Od wybranej metody kalibracji zależy jakość zbieranych danych (zob. Nyström, Andersson, Holmqvist, van de Weijer,

2013). Zapis pozycji oka prowadzony z określoną częstotliwością (przykład zapisu okoruchowego przedstawiono na rysunku 1) jest zwykle przekształcany, aby uzyskać wskaźniki w postaci pozycji i czasu fiksacji oraz sakkad (Holmqvist i in., 2011).



Rysunek 1. Po lewej: surowy zapis danych okoruchowych. Dane zaprezentowane na rysunku pochodzą z badania Szubielskiej, Bałaj i Fudali-Czyż (2012) – rysunek: opracowanie własne. Po prawej: zapis pozycji oka z fiksacjami (reprezentowane przez kółka) i sakkadami (reprezentowane przez linie) z eye trackera o częstotliwości próbkowania 1250 Hz (SMI iViewX Hi Speed; tower-mounted). Dane zaprezentowane na rysunku pochodzą z badania Bałaj i Szubielskiej (2014) – rysunek: opracowanie własne.

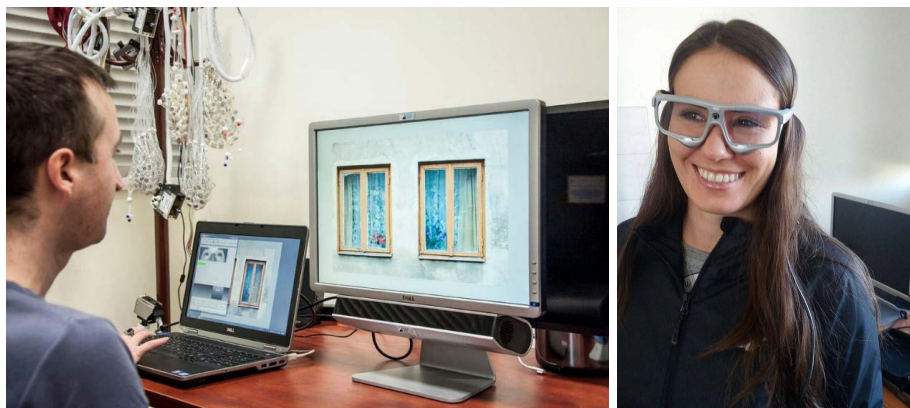
Za pomocą odpowiednich algorytmów, pozycja oka przekładana jest na pozycję kierunku patrzenia. Istnieje wiele technik wykrywania zdarzeń okoruchowych (Andersson, Larsson, Holmqvist, Stridh, Nyström, 2017). Ich zastosowanie zależy głównie od częstotliwości próbkowania (liczby próbek na sekundę) używanego sprzętu. Wyróżniamy dwa główne rodzaje algorytmów do wykrywania odpowiednio fiksacji i sakkad. Algorytm pozycyjny (stosowany przy eye trackerach wolniejszych niż 250 próbek na sekundę) jako fiksację traktuje n -elementową liczbę próbek pozycji wzroku, które nie są zbyt daleko oddalone od siebie i trwające co najmniej 50 ms (Veneri i in., 2011). Algorytm prędkościowy natomiast wykrywa sakkadę, bazując na jej prędkości (rysunek 2) lub przyspieszeniu (Holmqvist i in., 2011).



Rysunek 2. Schemat sakkady (oznaczono czas, prędkość i amplitudę).

Dane okoruchowe mogą zostać poddane dalszym transformacjom, np. aby uzyskać informacje o liczbie i czasie fiksacji w regionach zainteresowania (fragmentach sceny wizualnej), które określa badacz (Privitera, Stark, 2000). Regiony mogą być wyznaczone na podstawie treści obrazu lub arbitralnie, np. w postaci siatki. Wszystkie przedstawione opcje mają pozwolić na zbieranie szczegółowych danych oraz wspomóc ich późniejszą interpretację i wizualizację.

Rodzaje eye trackerów. Pomiar ruchu gałek ocznych wykonywany jest za pomocą okulografów zdalnych (przykład: rysunek 3a) umieszczonych najczęściej pod monitorem komputera lub okulografów mobilnych umieszczanych na głowie badanego, często w postaci okularów z kamerami rejestrującymi pozycję oczu i kamerą oglądanej sceny (rysunek 3b). Oba rozwiązania pozwalają na pomiar niezależnie od cech osoby badanej (jej koloru oczu, wieku czy wady wzroku korygowanej soczewkami bądź okularami) oraz warunków badania (pozycji monitora czy oświetlenia; Mele, Federici, 2012). Wybór odpowiedniego urządzenia zależy od warunków przeprowadzanego badania oraz możliwości późniejszej analizy danych. Eye trackery nagłowne pozwalają na naturalne ruchy zarówno oczu, jak i całego ciała w warunkach pełnej swobody ruchu w pomieszczeniu i w plenerze, jednak cechują się mniejszą częstotliwością próbkowania, a uzyskane za ich pomocą dane są trudniejsze do analiz (Duchowski, 2017).



Rysunek 3. Po lewej: eye tracker zdalny (SMI RED 500) umieszczony pod monitorem do prezentacji bodźców oraz laptop z ekranem do bieżącej kontroli zapisu przebiegu badania (fot. Violetta Kuś). Po prawej: przykład eye trackera w okularach do badań w ruchu (SMI glasses). Materiał własny.

Dodatkowo, nowoczesne technologie pozwalają na połączenie okulografu z innymi urządzeniami do monitorowania zachowania (czujniki ruchu) czy neuroobrazowania. Coraz częściej łączy się eye tracking z elektroencefalografią (EEG; np. Khushaba i in., 2013, Savage, Potter, Tatler, 2013) czy z metodą obrazowania za pomocą rezonansu magnetycznego (MRI; np.: Himmelstoss, Schuster, Hutzler, Moran, Hawelka, 2020; Oberwelland i in., 2016; Tylén, Allen, Hunter, Roepstorff, 2012).

Obecnie alternatywą dla drogich i specjalistycznych sprzętów do śledzenia ruchów gałek ocznych stają się kamery komputerowe, zarówno te wbudowane w monitory, jak i kamery internetowe. Ta nowa gałąź badań pozwala na jednoczesne badanie wielu osób, w ich własnym domu, co obniża koszty przeprowadzania badań. Nagrania uzyskane w taki sposób mogą być kodowane manualnie przez badaczy (Bott i in., 2017) lub wykorzystać rozwijające się algorytmy pozwalające na automatyzację procesu analizy (Papoutsaki i in., 2016), pozwalając nawet na wychwyt wielkości źrenicy (Petridis, Giannakopoulos, Spyropoulos, 2013).

Wyjście z laboratorium niesie jednak za sobą konsekwencje skutkujące zmniejszeniem powtarzalności warunków, w jakich przeprowadzane jest badanie. Ta zmiana wpływa na jakość zbieranych danych, które są uzależnione od czynników, tj. specyfikacja kamery oraz sprzętu komputerowego, rozdzielczość ekranu czy wykorzystywana wyszukiwarka. Ponadto podczas badań z użyciem kamer należy wykluczyć ruch osoby badanej, która powin-

na pozostawać w jednej pozycji i poruszać jedynie oczami, co niesie za sobą restrykcje w procedurze i długości badania (Simmelmann, Weigelt, 2018).

Eye tracking w psychologii. Eye tracking jest używany do wykrywania ruchów gałek ocznych i przetwarzania informacji wzrokowej między innymi w celach diagnostycznych: do stwierdzenia objawów zaburzeń neurodegeneracyjnych (np. Parkinson, Alzheimer, choroba Huntingtona; przegląd w: Rodríguez-Labrada, Vázquez-Mojena, Velázquez-Pérez, 2019), depresji (Carvalho i in., 2014; Isaac, Vrijzen, Rinck, Speckens, Becker, 2014) czy wykrycia biologicznych markerów zaburzeń psychicznych (Gooding, Basso, 2008). Ponadto wykorzystuje się tę metodę w badaniach aplikacyjnych: do rejestracji ruchów oczu podczas wykonywania czynności codziennych (Yasui, Tanaka, Kakudo, Tanaka, 2019), jak również w badaniach ergonomii, neuromarketingu (Rothensee, Reiter, 2019) czy decyzji konsumenckich itp.

Eye tracking stanowi obiektywną metodę pomiaru pozwalającą na przetestowanie relacji między ruchami oczu a procesami poznawczymi przy wykonywaniu zadań z użyciem bodźców wzrokowych (Mele, Federici, 2012) lub odbieranych wielozmysłowo (Albareda-Castellot, Pons, Sebastián-Gallés, 2011). W psychologii eye tracking służy do badania, m.in. jawnej uwagi wzrokowej (przegląd w: Duchowski, 2017), czytania (np. Rayner, 1992, 1998), kontroli poznawczej (Unsworth, Spillers, Brewer, McMillan, 2011), obciążenia poznawczego (Attar, Schneps, Pomplun, 2016), kategoryzacji obiektów, korelatów procesów uczenia się, procesów decyzyjnych (Cipresso i in., 2015) oraz wyobraźni (Bałaj, 2011; Brandt, Stark, 1997; Johansson, Holsanova, Dewhurst, Holmqvist, 2012; Laeng, Teodorescu, 2002). Badania dotyczące wybranych procesów z wykorzystaniem eye trackingu zostaną omówione bardziej szczegółowo. Celem przeglądu jest przedstawienie szerokiego spektrum zastosowań okulografii w badaniach oraz warunków, w jakich mogą być one prowadzone.

Badania w warunkach laboratoryjnych

Przedstawione w tym podrozdziale wyniki odnoszą się do badań przeprowadzanych w warunkach kontrolowanych i powtarzalnych. W badaniach laboratoryjnych zadania wykonywane są przed ekranem monitora, na którym wyświetlane są bodźce statyczne, filmy bądź animacje, w związku z czym wykonywane są głównie w pozycji siedzącej.

Badania eye trackingowe z udziałem różnych grup badawczych, na przykładzie analizy percepcji twarzy. Twarz jest szczególnym bodźcem, który przyciąga uwagę ludzi (Mas-saro i in., 2012), a jednocześnie jednym z najlepiej przebadanych. System wzrokowy jest w stanie wychwycić twarz spośród innych obrazów i dystraktorów w ciągu nawet 100 ms (Crouzet, Kirchner, Thorpe, 2010). Reakcja ta może zostać spowolniona, jeśli prezentowana twarz będzie odwrócona, ponieważ ten szczególny rodzaj bodźców przetwarzamy holistycznie (Taubert, Apthorp, Aagten-Murphy, Alais, 2011).

Odmienne wzorce wzrokowego przetwarzania twarzy lub innych bodźców społecznych mogą mieć np. osoby z zaburzeniami ze spektrum autyzmu (Papagiannopoulou, Chitty, Hermens, Hickie, Lagopoulos, 2014), depresją czy schizofrenią. Osoby cierpiące na depresję krócej patrzą na twarze przedstawiające radość w porównaniu do grupy kontrolnej (Isaac i in., 2014), jednak tendencja do utraty zainteresowania pozytywnymi emocjami odwraca się u pacjentów, którzy z nią sobie poradzili (Armstrong, Olatunji, 2012). Natomiast pacjenci ze schizofrenią wykrywają twarze na obrazach wolniej w porównaniu do grupy kontrolnej (Jang, Kim, Kim, Lee, Choi, 2016), ich ścieżki patrzenia na twarze są zawężone i nie mają holistycznego charakteru obserwowanego w grupie osób zdrowych (Loughland, Williams, Gordon, 2002). Ponadto podczas oglądania zdjęć własnej twarzy mają mniej fiksacji, przy jednoczesnym wydłużeniu czasu ich trwania w porównaniu do kontroli (Bortolon, Capdevielle, Raffard, 2015).

Najważniejszymi częściami twarzy są oczy oraz usta, a także ich charakterystyczny układ (Bal i in., 2010). Od urodzenia niemowlęta preferują konfiguracje przypominające twarz, a czas patrzenia na twarz rośnie w ciągu 1. roku życia (Frank, Amso, Johnson, 2014). Ta tendencja nie występuje jednak wyłącznie w przypadku naszego gatunku, ponieważ inne ssaki również są zainteresowane twarzami.

Szympansy szybko wykrywają twarze, niezależnie od tego, czy na zdjęciu widać inną małpę, człowieka, czy też innego ssaka – ich uwaga najpierw skupia się na obszarze głowy (Kano, Tomonaga, 2009). Co ważne, niemowlęta makaków, nawet przy braku styczności z innymi przedstawicielami swojego gatunku, wykazują preferencje twarzy, w szczególności oczu (Simpson, Paukner, Pedersen, Ferrari, Parr, 2019). Podobne badania, z przyczyn etycznych, nie byłyby możliwe do przeprowadzenia z udziałem niemowląt ludzkich, a pokazują tendencję do wykrywania oczu, nawet przy braku ekspozycji na twarze osobników tego samego gatunku.

Psy oglądające zdjęcia twarzy ludzkich i psich pysków fiksują wzrok najbardziej w okolicy oczu (Somppi, Törnqvist, Hänninen, Krause, Vainio, 2012).

Zależność ta nie jest u nich widoczna, kiedy te same zdjęcia są odwrócone o 180°, co może wskazywać na całościowe (holistyczne) postrzeganie twarzy, podobne do tego, które występuje u ludzi. Dodatkowo, psy preferują oglądanie przedstawicieli własnego gatunku oraz dłużej patrzą na znajome twarze ludzi (Somppi, Törnqvist, Hänninen, Krause, Vainio, 2014), a także odróżniają ekspresje emocjonalne kategoryzowane jako groźne od neutralnych i przyjemnych, zarówno u psów, jak i u ludzi (Somppi i in., 2016).

Podane przykłady pokazują, jak percepcja twarzy różni się między osobami zdrowymi i pacjentami klinicznymi, a także jak podobne są wzorce postrzegania twarzy między ludźmi a innymi zwierzętami. Eye tracking umożliwia wychwycenie tych zależności, w nieinwazyjny sposób pozwala monitorować różne grupy osób badanych oraz zwierząt.

Eye tracking jako narzędzie interakcji wzrokowej. Podążanie wzrokiem za jakimś kierunkiem patrzenia może stanowić informację o intencji drugiej osoby. Wskazywanie na obiekt w ten sposób nie jest tak dokładne, jak choćby użycie palca, jest znacznie szybsze i okazuje się kluczowe u osób, które nie mogą poruszać rękami (Deepika, Murugesan, 2015). Osoby niepełnosprawne mogą używać mrugania do prostej komunikacji oraz długich fiksacji na obiektach w celu wskazywania, a ich wzrok może za pomocą eye trackerów pełnić funkcję np. kursora myszy (Majaranta i in., 2012). Choć wykorzystanie tej technologii wydaje się być prostym rozwiązaniem, wcale takie nie jest. Na przeszkodzie w codziennym korzystaniu z eye trackingu osób niepełnosprawnych stoją (1) złożoność procesów uwagowych, które często działają na poziomie nieświadomym, oraz (2) widzenie peryferyczne, które może odwracać uwagę od punktu docelowego. Z tych powodów tak ważne jest znalezienie sposobu na uchwycenie granicy między percepcją a kontrolą uwagi dla osiągnięcia celu. Przy planowaniu tego typu pomiarów ważne jest, aby wziąć pod uwagę zarówno specyfikację komputera obsługującego okuloğraf, jak i aspekty techniczne sprzętu, tj. możliwość jego przenoszenia, bezprzewodowość czy wytrzymałość kamery (Majaranta, Bulling, 2014).

W podobny sposób jak u niepełnosprawnych, dane z oczu mogą służyć do kontroli reakcji w grach komputerowych. Tego rodzaju interakcja za pomocą wzroku jest włączana do gier pierwszoosobowych, gdzie zadaniem gracza jest strzelanie do przeciwników – w tym przypadku wzrok działa na zasadzie kursora (Isokoski, Joos, Spakov, Martin, 2009). Dodatkowo postacie w grach mogą być poruszane w kierunku padania wzroku (Smith, Graham, 2006).

Wybory i działania w grze są wtedy oparte na zdefiniowanym, wydłużonym czasie patrzenia (*dwell-time*). Pierwsze próby wykorzystujące tę metodę zostały wykonane na standardowych grach, tj. kółko i krzyżyk czy szachy. Połączenie gier i okulografii cieszy się coraz większą popularnością, mimo że większość zastosowań może być dostosowana jedynie dla jednego gracza. Włączenie dodatkowej osoby może zaś otworzyć całkowicie nowe możliwości (Isokoski i in., 2009).

Rejestracja ruchów oczu w naturalnych warunkach

Pomimo możliwości, jakie dają badania okulograficzne w warunkach kontrolowanych, mechanizmy poznawcze w świecie codziennym mogą się różnić (Walker, Kingstone, 2011). Wykonanie zadania, takiego jak np. zaparzenie herbaty, wymaga wykorzystania kilku zdolności jednocześnie, ponieważ oprócz uwagi i funkcji wykonawczych niezbędna jest również koordynacja ruchowa. W związku z tym obecnie badania z rejestracją ruchów oczu podążają w kierunku rozumienia codziennych sytuacji (przegląd w: Land, 2007).

Ten rodzaj badań jest konieczny do zrozumienia faktycznych strategii patrzenia w rozwiązywaniu rzeczywistych zadań, które charakteryzują się złożonością. Badania w warunkach kontrolowanych mogą zatem obrazować procesy kognitywne w znacznie uproszczonej, a co za tym idzie niepełnej, formie. Dodatkowo najczęściej odbywają się one w pozycji siedzącej, która to nie jest w kontekście widzenia jedyną możliwą opcją (Lappi, 2016).

Badania uwagi wzrokowej podczas wykonywania codziennych czynności. Percepcję w naturalnych warunkach można ująć w trzech skalach przestrzennych. Pierwsza z nich to skala dołka centralnego (1–2° pola widzenia) – determinuje ona wielkość obszarów zainteresowania (*Area of Interest*, AOI) oraz region skupienia uwagi. Kolejna to skala sakkadyczna, obejmująca zakres między dwoma kolejnymi regionami zainteresowania, umożliwiając skanowanie pola wzrokowego (*field of view*, FOV). Trzecia skala dotyczy skanowania całej sceny przy zmianie pola widzenia spowodowanej ruchami głowy, co pozwala na poszerzenie pola zainteresowania (*field of regard*, FOR) (Privitera, Stark, 2003).

Obecnie wyłania się trend, w którym badania z użyciem eye trackera zmieniają warunki laboratoryjne na środowisko naturalne. Te drugie pokazują, że kierowanie uwagą wzrokową zależne jest od typu wykonywanej czynności.

Nawet proste aktywności codzienne w przypadku koordynacji oko-ręka wydają się być bardzo skomplikowaną rutyną. Przed wykonaniem ruchu początkowo skanowane jest całe otoczenie (skala FOR). Jest to niezbędny element zapamiętania położenia przedmiotów i zaplanowania etapów zadania, a co za tym idzie, ruchów (Hayhoe, Shrivastava, Mruczek, Pelz, 2003). W przypadku robienia kanapek czy przygotowywania herbaty działania zaczynają się od podniesienia obiektu (np. noża czy kubka), wtedy fiksacje kierowane są na część obiektu, który zamierzamy chwycić (skala AOI), a obiekty potrzebne w dalszej kolejności pozostają w obszarze widzenia peryferycznego (skala FOV) (Hayhoe, Ballard, 2005). Czy kierują się w stronę kolejnego przedmiotu przed wykonaniem następnego ruchu (możliwe w czasie kończenia czynności poprzedniej), w związku z czym uznaje się, że wzrok poprzedza i prowadzi działanie (Land, Hayhoe, 2001). Dodatkowo przy swobodnym oglądaniu pożywienia osoby badane mają więcej fiksacji i dłużej patrzą na jedzenie, które im się najbardziej podoba (Yasui i in., 2019).

Kolejnym przykładem wykorzystania eye trackingu w warunkach naturalnych są badania nad kierowaniem uwagi wzrokowej podczas przechodzenia przez ulicę. Z porównania warunków laboratoryjnych i naturalnych w zakresie czasu patrzenia przechodnia wynika, że podczas naturalnej lokomocji osoby częściej patrzą na drogę, którą się poruszają. Ich fiksacje są skupione około dwóch kroków w przód (Foulsham, Walker, Kingstone, 2011). Obie tendencje są prawdopodobnie związane z planowaniem dalszego poruszania się (Foulsham, 2015). Ponadto strategie przetwarzania informacji wzrokowych przy przechodzeniu przez ulice mogą się różnić w zależności od pory dnia. W nocy osoby badane są bardziej skupione na drodze, zaś w dzień więcej czasu patrzą na innych ludzi (Fotios, Uttley, Cheal, Hara, 2015).

Badania w trakcie prowadzenia samochodu. Poruszanie się po drodze dotyczy nie tylko przechodniów, ale również kierowców. Prowadzenie samochodu wymaga zebrania wielu informacji wzrokowych ze środowiska, dlatego eye tracking stanowi idealne narzędzie do monitorowania uwagi wzrokowej i podejmowania decyzji na drodze. Do uchwycenia naturalnego zachowania, z którym związane jest obracanie głowy i poruszanie kończynami, wymagane jest jednak zastosowanie eye trackerów nagłownych. Osobami badanymi w tego typu pomiarach zwykle są kierowcy, jednak w prowadzonych na UMK badaniach w ramach projektów studenckich, ze względów bezpieczeństwa (lekko ograniczone pole widzenia), wzięli udział pasażerowie. Przykład przedstawiony na rysunku 4

ilustruje taki układ, w którym rejestracji dokonuje się z pozycji osoby jadącej obok kierowcy. Przedmiotami analizy patrzenia podczas jazdy samochodem są głównie obiekty widziane przez przednią szybę pojazdu, ale także sposób skanowania wskaźników obserwowanych na desce rozdzielczej.



Rysunek 4. Osoba badana z eye trackerem w okularach (SMI glasses) podczas badania w naturalnych warunkach jazdy samochodem w charakterze pasażera. Materiał własny.

Niebezpieczeństwo związane z prowadzeniem samochodu i liczba wypadków na drogach skłaniają badaczy do monitorowania uwagi, a także niebezpiecznych dystraktorów w czasie jazdy. Okazuje się bowiem, że uwaga kierowców nie jest skupiona jedynie na drodze, a właśnie skupienie na właściwych obiektach minimalizuje prawdopodobieństwo wypadku. Z tego względu w trudnych sytuacjach, np. w przypadku złych warunków atmosferycznych (tj. deszcz czy mgła), czas patrzenia na inne obiekty niż droga skraca się, natomiast czas fiksacji wydłuża się (Konstantopoulos, Chapman, Crundall, 2010). Kierowcy

patrzą uważniej na drogę również wtedy, kiedy auta nadjeżdżają z innych stron lub szykują się do skrętu (Tivesten, Dozza, 2014).

Kierowcy dokonują predykcji punktu, w którym nie mają pełnej widoczności (Lehtonen, Lappi, Summala, 2012). Dłuższy czas patrzenia może być wynikiem wymagającego zadania. Jeśli kierowca jedzie stale za innym samochodem, czas patrzenia się skraca. Prawdopodobna tendencja jest rezultatem poczucia bezpieczeństwa wynikającego z monotonii jazdy i braku nagłych zmian (Tivesten, Dozza, 2014). Zmiany wynikające z ograniczenia oświetlenia również są ważnym aspektem badań. W nocy wzrok kierowców jest skupiony w bliskiej przestrzeni przed samochodem, natomiast kiedy droga jest oświetlona, a także w ciągu dnia, ich wzrok sięga dużo dalej. Różnice te mogą nie być zauważalne u bardzo doświadczonych kierowców (Grüner, Ansorge, 2017).

W czasie jazdy samochodem w nowym otoczeniu znaczącą rolę odgrywa również pasażer na przednim siedzeniu. Może on pełnić rolę nawigatora w przestrzeni. Badania z użyciem symulatora w połączeniu z interaktywnym wykorzystaniem eye trackera pokazują, że metoda wskazywania kierunku jazdy może wspomagać osobę prowadzącą samochód lepiej niż tłumaczenie słowne. Wzrok stanowił łatwiejszy i szybszy sposób wskazywania kierunku w porównaniu do trudności zadania, jaką jest interpretowanie werbalnych wskazówek pasażera (Maurer i in., 2014).

Okulografia w grach i sporcie

Okulografia jest przydatnym narzędziem przy monitorowaniu umiejętności kognitywno-percepcyjnych u sportowców, ponieważ umożliwia pomiar w naturalnych warunkach, np. u wspinaczy (Grushko, Leonov, 2014) czy siatkarzy. Przeprowadzona przez Kredela, Vatera, Klostermanna i Hossnera (2017) meta-analiza pokazuje, że tylko przy zachowaniu ekologiczności oraz złożoności zadania można formułować wnioski na temat zachodzących procesów.

Strategie patrzenia, nawet u sportowców z tej samej dyscypliny, mogą się różnić w zależności od pozycji zawodnika (atakujący lub obrońca) oraz samego ustawienia na boisku (Vaeyens, Lenoir, Williams, Philippaerts, 2007). Mogą się zmieniać również w zależności od zadania. Ma to miejsce w przypadku rzutów karnych, kiedy piłkarz, w zależności od tego, czy chce dobrze wycelować piłkę, czy mocno ją uderzyć, ma inne strategie skanowania wzrokowego. W pierwszej strategii piłkarze koncentrują się na celu (obszarze bramki, w który celują),

natomiast druga strategia skutkuje skupieniem uwagi na piłce i bramkarzu – jej celem jest dokładne przyłożenie i kopnięcie piłki, a nie umiejscowienie jej w konkretnym obszarze bramki (Timmis, Turner, van Paridon, 2014).

W badaniach nad sportowcami możemy natknąć się na problem związany z utrzymaniem sprzętu na głowie. Przy naturalnym wysiłku fizycznym głowa porusza się, przez co mobilne eye trackery mogą zmieniać swoją pozycję lub też upaść. Wpływa to na jakość zbieranych danych oraz powoduje trudności w ich późniejszej analizie (tzw. *slippage*; zob. Scheel i in., 2016). Dodatkowo analiza przestrzeni jest uzależniona od wyznaczonych obszarów zainteresowania, których położenie jest oznaczane przez badacza. Skutkuje to brakiem możliwości powtarzalności i standaryzacji badania (Kredel i in., 2017). Co ważne, analiza wymaga manualnego przejścia przez każdą klatkę nagrania (przy dodatkowym oprogramowaniu – fiksacja po fiksacji; Steciuk, Zwierko, 2015), co ogranicza liczbę powtórzeń w badaniu i liczbę osób badanych (Kredel, Klostermann, Hossner, 2015).

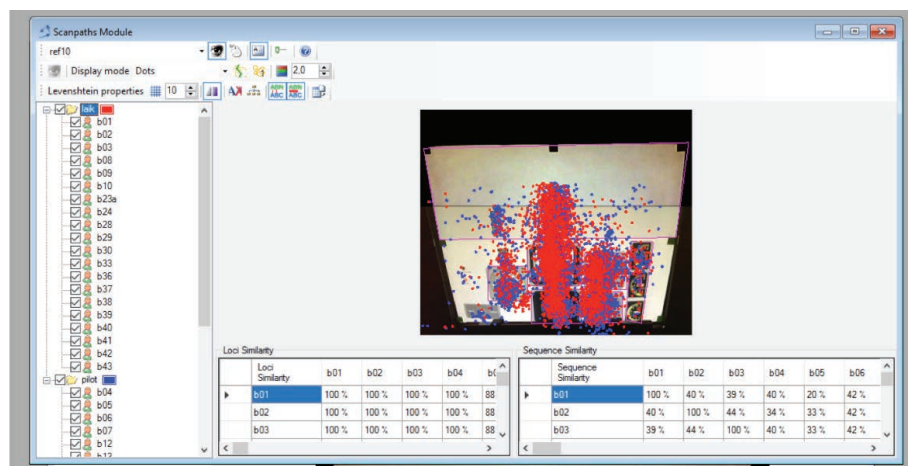
Istnieje również grupa badań nad zachowaniem w grach zarówno planszowych (Reingold, Sheridan, 2011; Sheridan, Reingold, 2017), jak i komputerowych (Almeida, Veloso, Roque, Mealha, 2011), jednak niewiele z nich zostało przeprowadzonych w warunkach naturalnych. Przykładowo badano sposób, w jaki informacja ze środowiska szachowej gry komputerowej jest integrowana z wyobrażeniami u szachistów. Badani o różnym poziomie umiejętności wykonywali zadanie wymagające wyobraźni wzrokowej z użyciem bodźców znanych (pionki szachowe) lub nieznanymi (figury prezentowane na monitorze). Obserwowano silny związek między poziomem eksperckości a wykonaniem zadania, jednak tylko dla bodźców znanych. Niezależnie od poziomu umiejętności, gracze traktowali szachownicę jako „magazyn pamięciowy”, poruszając oczami tak, jakby na pustych polach przemieszczały się pionki (Campitelli, Gobet, Williams, Parker, 2007). W innych badaniach wykorzystano rzeczywiste pionki na szachownicy (elektronicznej i połączonej z komputerem), a ruchy oczu rejestrowano za pomocą eye trackerów w okularach (Küchelmann, Torche, Prasad, Essig, Schack, 2017). Ze względu na ich dużą szybkość i precyzję, ruchy oczu w grach są nie tylko mierzone, ale również wykorzystywane do sterowania grą (np. typu „strzelanka”, *First Person Shooters*; Antunes, Santana, 2018; przegląd w: Isokoski i in., 2009).

Okulografia w warunkach zbliżonych do naturalnych

Badania w warunkach naturalnych łączą się z ograniczeniami metodologicznymi ważnymi przy wyciąganiu wniosków z uzyskanych danych. Największą wadą badań tego typu jest brak kontroli nad warunkami panującymi na zewnątrz laboratorium, tj. napotkanymi ludźmi, hałasem, oświetleniem, natężeniem ruchu czy pogodą (Schrom-Feiertag, Settgast, Seer, 2017). Możliwość połączenia ekologiczności pomiaru oraz kontroli warunków można znaleźć w badaniach z użyciem symulatorów oraz środowisk wirtualnych.

Badania w symulatorach. Rejestracja danych oko-ruchowych w różnego typu symulatorach wymaga zastosowania eye trackerów nagłownych. Dzięki temu badani zachowują swobodę ruchów głowy, jak i całego ciała podczas wykonywania zadań pilotażowych. Dodatkowo dają one możliwość analizowania zachowań oko-ruchowych innych osób, np. załogi pilotującej (Dehais, Behrend, Peysakhovich, Causse, Wickens, 2017). Symulatory są nieodłączną częścią szkolenia się pilotów, a w połączeniu z eye trackingiem mogą dać wgląd w funkcjonowanie uwagi wzrokowej (Ziv, 2016). Podczas takich badań analizowane są poszczególne fazy lotu różniące się poziomem trudności, z których najbardziej obciążające poznawczo jest podchodzenie do lądowania (Hebbar, Pashilkar, 2017). Zwiększone obciążenie poznawcze prowadzi do błędów podczas lotu (Gibb, Gray, Scharff, 2016). Szczególnym przypadkiem jest sytuacja dezorientacji przestrzennej pilota wywołana różnego typu iluzjami wzrokowymi (np. iluzja stałości wielkości powiązana z nietypową szerokością pasa startowego) lub przedSIONKOWYMI (np. tzw. iluzja przechylenia; zob. Bałaj i in., 2019; Kowalczyk i in., 2016; Lewkowicz, i in., 2015).

Dane okoruchowe zarejestrowane podczas pilotażu wymagają długiego procesu przygotowania do analiz. Może się on odbywać za pomocą tzw. *Semantic Gaze Mapping* (podobnie jak w badaniach sportowców, wymaga przejrzenia i oznaczenia całego nagrania wideo fiksacją po fiksacji, co zajmuje bardzo dużo czasu; takie rozwiązanie proponuje firma SMI; SensoMotoric Instruments, 2017) lub przy pomocy specjalistycznych programów napisanych dokładnie w tym celu, automatycznie przekształcających dane, jak np. *Eye View Mapping* (EVM; Bałaj, Francuz, Sternal, Matulewski, 2016). Tak przygotowane dane mogą zostać poddane analizie, np. za pomocą porównania podobieństwa ścieżek wzrokowych w programie Ogama (rysunek 5) lub w ScanMatch (Cristino, Mathôt, Theeuwes, Gilchrist, 2010).



Rysunek 5. Narzędzie do porównania ścieżek wzrokowych, analizowanych w odniesieniu do lokalizacji i sekwencji (materiał własny; analizy w programie Ogama).

Podczas badań pilotowania (w symulatorach samolotów czy statków kosmicznych) rejestruje się również zmianę szerokości źrenicy, która powiązana jest z obciążeniem poznawczym spowodowanym zadaniem (Alnaes i in., 2014). Piloci często stają przed zadaniami wymagającymi selektywności i podzielności uwagi wzrokowej. Bodźce słuchowe (komunikaty alarmowe, komunikacja z personelem pokładowym itp.) często obciążają poznawczo pilotów, którzy starają się skupić zasoby uwagi na wykonywaniu zadania wzrokowego pilotażu (śledzenie wskazań instrumentów pokładowych i widoku zewnętrznego; Peyssakhovich, Dehais, Causse, 2015). Pomiar zmian szerokości źrenicy pozwala stwierdzić, jaki wysiłek poznawczy piloci wkładają w poszczególne zadania.

Badania z użyciem wirtualnej rzeczywistości. Środowisko wirtualne (*virtual reality*, VR) pozwala na tworzenie scen przypominających warunki naturalne, jednak w pełni powtarzalne oraz kontrolowane. Umożliwia jednocześnie precyzyjne pomiary behawioralne (użycie kontrolerów, ruchy głowy itd.). Możliwe jest również zaimplementowanie tej metody do środowiska modeli ludzkich, potrzebnych do prowadzenia badań nad zachowaniami ludzi (Hayhoe, Ballard, 2005). Włączenie eye trackingu daje możliwość śledzenia uwagi wzrokowej w wirtualnej rzeczywistości. Dodatkowo połączenie eye trackingu z VR nie

stanowi przeszkody w badaniu i rehabilitacji osób z ograniczeniami ruchowymi czy zaburzeniami (Lutz i in., 2017).

Dobrze wykreowana wirtualna rzeczywistość jest trójwymiarowym środowiskiem pozwalającym na immersję (zanurzenie się/pochłonięcie przez prezentowany świat w VR) i interakcję (Pan, Cheok, Yang, Zhu, Shi, 2006). Tak skonstruowana rzeczywistość może zostać wykorzystana do badań procesów poznawczych. Przykładem wykorzystania obu tych technologii są badania nad nawigacją w nieznanach budynkach, radzeniem sobie z odnajdywaniem miejsc docelowych z pomocą standardowo umieszczonego oznakowania. Badania nad podejmowaniem decyzji w czasie nawigacji na dworcu kolejowym pokazują, które elementy oznakowania są ważne przy poruszaniu się w nowym miejscu (w badaniach zachowany był naturalny ruch osób badanych; Schrom-Feiertag i in., 2017). Wykorzystanie VR jest cenne również w badaniach nawigacji w terenie u osób starszych. Zmienione strategie okoruchowe podczas wyboru ścieżki pozwalały przewidywać rezultaty zadania nawigacji. Starsi badani niewłaściwie kodowali stałe elementy środowiska, co powodowało pomyłki w nawigacji (Tartaglia, Boucly, Tatur, Arleo, 2018).

Podobnie jak w przypadku interakcji wzrokowej w grze komputerowej, eye tracking może mieć analogiczne zastosowanie jako kontroler w wirtualnej rzeczywistości. Dzięki połączeniu urządzeń, użytkownik może używać kierunku patrzenia do wykonywania działań na elementach wirtualnej rzeczywistości. Kierunek wzroku może być w VR wyświetlony dla osoby badanej w postaci promienia świetlnego, np. jako promień lasera (Cournia, Smith, Duchowski, 2003). Wyniki badań pokazują, że działania z wykorzystaniem eye trackera do wskazywania są szybsze niż te wykonywane rękoma, a gracze wykorzystujący jednocześnie eye tracking mają większe poczucie immersji w porównaniu do grania wykorzystującego myszkę (Smith, Graham, 2006).

Niestety, przeszkodą w prowadzeniu badań z wykorzystaniem VR (zwłaszcza u osób starszych) jest często występujące uczucie nudności i bóle głowy spowodowane ruchem i dezorientacją (*cyber-sickness*, *motion sickness*). Złe samopoczucie związane z wirtualną rzeczywistością prawdopodobnie wynika z konfliktu sensorycznego między systemem wzrokowym (dostającym informacje o ruchu w przestrzeni wirtualnej) a przedsionkowym (odbierającym informacje o pozostawianiu ciała w miejscu; Ng, Chan, Lau, 2019). Na *cyber-sickness* mogą wpływać również takie zmienne jak: długość badania, szybkość wyświetlania animacji (czas odświeżania obrazu), prędkość, z jaką porusza się awatar, opóźnienia występujące między wykonywanym ruchem

głowy a prezentowanym wzrokowo światem, różnice indywidualne (Vinson, Lapointe, Parush, Roberts, 2012). Rozwój technologii umożliwiający coraz mniejsze opóźnienia obrazu w stosunku do ruchu głową zdaje się przewyższać te ograniczenia. Warto zwrócić uwagę, że w przypadku użycia gogli do wirtualnej rzeczywistości zaleca się szczególną wrażliwość na aspekty higieniczne użytkowania sprzętu przez wiele osób (Lutz i in., 2017).

Podsumowanie

Wykorzystanie okulografii w badaniach z zakresu psychologii staje się coraz łatwiejsze, dzięki rozwijającej się technologii, która umożliwia monitorowanie procesów poznawczych w czasie wykonywania codziennych czynności. Jednocześnie może również znaleźć zastosowanie w innych obszarach badań naukowych, jak i komercyjnych czy użytkowych (sporcie, grach czy reklamie). Atrakcyjność zastosowania okulografii wynika głównie z możliwości precyzyjnego monitorowania wzrokowych procesów uwagowych, relatywnie niewielkim kosztem w porównaniu do metod neuroobrazowania. Użycie sprzętu jest nieinwazyjne, a badanie może być wykonane w krótkim czasie, dzięki czemu osoby badane nie odczuwają dyskomfortu związanego z długością pomiaru. Dodatkowo, jest to metoda badawcza, która może być dostosowana do badanych w każdym wieku od niemowlęctwa po późną starość (przy korekcji wzroku do poziomu normalnego; Zargari Marandi, Madeleine, Omland, Vuillerme, Samani, 2018), a co więcej, może być wykorzystywana nie tylko w badaniach z udziałem ludzi (Ryan i in., 2019). Ponadto w połączeniu z innymi urządzeniami, tj. gogle do wirtualnej rzeczywistości, rezonans magnetyczny czy elektroencefalografia, umożliwia bezpośrednie połączenie wiedzy z zakresu neuronauk z psychologią poznania (Himmelstoss i in., 2019).

Wielość zastosowań jest niezaprzeczalną zaletą okulografii, a w połączeniu z niskimi kosztami eksploatacji stanowi idealne narzędzie badawcze. Zmiany technologiczne posuwają jej rozwój w kierunku, gdzie uciążliwość noszenia sprzętu będzie ograniczona do minimum. Jednym z ograniczeń stojącym przed badaczami jest jednak niezaprzeczalnie analiza danych, która w przypadku prowadzenia badań poza laboratorium może stanowić wyzwanie (Kiefer, Giannopoulos, Raubal, Duchowski, 2017).

Przedstawione badania pokazują zastosowanie okulografii na wielu polach. Ich przegląd pozwala zwrócić uwagę, przy projektowaniu badań własnych, na

możliwości, jak i ograniczenia używanego sprzętu. Każde z przedstawionych warunków badawczych rządzi się swoimi prawami, stąd badacze, jak i czytelnicy, powinni zdawać sobie sprawę z wad i zalet każdego z podejść.

Literatura cytowana

- Albareda-Castellot, B., Pons, F., Sebastián-Gallés, N. (2011). The acquisition of phonetic categories in bilingual infants: New data from an anticipatory eye movement paradigm: Acquisition of phonetic categories in bilingual infants. *Developmental Science*, 14(2), 395–401. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2010.00989.x>
- Almeida, S., Veloso, A., Roque, L., Mealha, Ó. (2011, listopad). *The eyes and games: A survey of visual attention and eye tracking input in video games*. Referat na X Brazilian Symposium of Computer Games and Digital Entertainment, Salvador, Brazylia.
- Alnaes, D., Sneve, M. H., Espeseth, T., Endestad, T., van de Pavert, S. H. P., Laeng, B. (2014). Pupil size signals mental effort deployed during multiple object tracking and predicts brain activity in the dorsal attention network and the locus coeruleus. *Journal of Vision*, 14(4), 1. <https://doi.org/10.1167/14.4.1>
- Andersson, R., Larsson, L., Holmqvist, K., Stridh, M., Nyström, M. (2017). One algorithm to rule them all? An evaluation and discussion of ten eye movement event-detection algorithms. *Behavior Research Methods*, 49, 616–637. <https://doi.org/10.3758/s13428-016-0738-9>
- Antunes, J., Santana, P. (2018). A study on the use of eye tracking to adapt gameplay and procedural content generation in first-person shooter games. *Multimodal Technologies and Interaction*, 2(2), 23. <https://doi.org/10.3390/mti2020023>
- Armstrong, T., Olatunji, B. O. (2012). Eye tracking of attention in the affective disorders: A meta-analytic review and synthesis. *Clinical Psychology Review*, 32(8), 704–723. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2012.09.004>
- Attar, N., Schneps, M. H., Pomplun, M. (2016). Working memory load predicts visual search efficiency: Evidence from a novel pupillary response paradigm. *Memory & Cognition*, 44, 1038–1049. <https://doi.org/10.3758/s13421-016-0617-8>
- Bal, E., Harden, E., Lamb, D., Hecke, A. V. V., Denver, J. W., Porges, S. W. (2010). Emotion recognition in children with autism spectrum disorders: Relations to eye gaze and autonomic state. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 40(3), 358–370. <https://doi.org/10.1007/s10803-009-0884-3>
- Bałaj, B. (2011). Analiza i interpretacja ruchów oczu w skaningu wyobraźniowym. W: O. Gorbaniuk, B. Kostrubiec-Wojtachnio, D. Musiał, M. Wiechetek, A. Błachnio, A. Przepiórka (red.), *Studia z Psychologii w KUL*, t. 17 (s. 169–188). Lublin: Wydawnictwo KUL.

- Bałaj, B., Francuz, P., Sternal, M., Matulewski, J. (2017). Compensation of head movements in the data registered with a headset eye tracker using the EVM* software package. *The Journal of Aviation Medicine*, 22(1), 21–29. <https://doi.org/10.13174/pjambp.30.12.2016>.
- Bałaj, B., Lewkowicz, R., Francuz, P., Augustynowicz, P., Fudali-Czyż, A., Stróżak, P., Truszczyński, O. (2019). Spatial disorientation cue effects on gaze behaviour in pilots and non-pilots. *Cognition, Technology & Work*, 21(3), 473–486. <https://doi.org/10.1007/s10111-018-0534-7>
- Bałaj, B., Szubielska, M. (2014). Wpływ słuchania opisu katalogowego dzieła malarzskiego na skaniny wzrokowy obrazu. W: S. Grucza, M. Płużyczka, P. Soluch (red.), *Widziane inaczej. Z polskich badań eyetrackingowych* (s. 77–90). Warszawa: Wydawnictwo Naukowe Instytutu Kulturologii i Lingwistyki Antropocentrycznej UW.
- Bortolon, C., Capdevielle, D., Raffard, S. (2015). Face recognition in schizophrenia disorder: A comprehensive review of behavioral, neuroimaging and neurophysiological studies. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 53, 79–107. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2015.03.006>
- Bott, N. T., Lange, A., Rentz, D., Buffalo, E., Clopton, P., Zola, S. (2017). Web camera based eye tracking to assess visual memory on a visual paired comparison task. *Frontiers in Neuroscience*, 11, 370. <https://doi.org/10.3389/fnins.2017.00370>
- Brandt, S. A., Stark, L. W. (1997). Spontaneous eye movements during visual imagery reflect the content of the visual scene. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9(1), 27–38. <https://doi.org/10.1162/jocn.1997.9.1.27>
- Campitelli, G., Gobet, F., Williams, G., Parker, A. (2007). Integration of perceptual input and visual imagery in chess players: Evidence from eye movements. *Swiss Journal of Psychology*, 66(4), 201–213. <https://doi.org/10.1024/1421-0185.66.4.201>
- Carvalho, N., Noiret, N., Vandel, P., Monnin, J., Chopard, G., Laurent, E. (2014). Saccadic eye movements in depressed elderly patients. *PLoS ONE*, 9(8), e105355. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105355>
- Cipresso, P., Villani, D., Repetto, C., Bosone, L., Balgera, A., Mauri, M., ..., Riva, G. (2015). Computational psychometrics in communication and implications in decision making. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, 2015, 985032. <https://doi.org/10.1155/2015/985032>
- Cournia, N., Smith, J. D., Duchowski, A. T. (2003). Gaze- vs. hand-based pointing in virtual environments. *CHI '03 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems* (s. 772–773). Nowy Jork: Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/765891.765982>
- Cristino, F., Mathôt, S., Theeuwes, J., Gilchrist, I. D. (2010). ScanMatch: A novel method for comparing fixation sequences. *Behavior Research Methods*, 42, 692–700. <https://doi.org/10.3758/BRM.42.3.692>

- Crouzet, S. M., Kirchner, H., Thorpe, S. J. (2010). Fast saccades toward faces: Face detection in just 100 ms. *Journal of Vision*, 10(4), 16. <https://doi.org/10.1167/10.4.16>
- Deepika, S. S., Murugesan, G. (2015). A novel approach for Human Computer Interface based on eye movements for disabled people. *2015 IEEE International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies (ICECCT)*, Coimbatore, 1–3.
- Dehais, F., Behrend, J., Peysakhovich, V., Causse, M., Wickens, C. D. (2017). Pilot flying and pilot monitoring's aircraft state awareness during go-around execution in aviation: A behavioral and eye tracking study. *The International Journal of Aerospace Psychology*, 27(1–2), 15–28. <https://doi.org/10.1080/10508414.2017.1366269>
- Demarais, A. M., Cohen, B. H. (1998). Evidence for image-scanning eye movements during transitive inference. *Biological Psychology*, 49(3), 229–247. [https://doi.org/10.1016/S0301-0511\(98\)00042-8](https://doi.org/10.1016/S0301-0511(98)00042-8)
- Duchowski, A. T. (2017). *Eye tracking methodology: Theory and practice*. Londyn: Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-57883-5>
- Fotios, S., Uttley, J., Cheal, C., Hara, N. (2015). Using eye-tracking to identify pedestrians' critical visual tasks, Part 1. Dual task approach. *Lighting Research & Technology*, 47(2), 133–148. <https://doi.org/10.1177/1477153514522472>
- Foulsham, T. (2015). Eye movements and their functions in everyday tasks. *Eye*, 29(2), 196–199. <https://doi.org/10.1038/eye.2014.275>
- Foulsham, T., Walker, E., Kingstone, A. (2011). The where, what and when of gaze allocation in the lab and the natural environment. *Vision Research*, 51(17), 1920–1931. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2011.07.002>
- Frank, M. C., Amso, D., Johnson, S. P. (2014). Visual search and attention to faces during early infancy. *Journal of Experimental Child Psychology*, 118, 13–26. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2013.08.012>
- Gibb, R., Gray, R., Scharff, L. (2016). *Aviation visual perception: Research, misperception and mishaps*. Londyn: Routledge.
- Gooding, D. C., Basso, M. A. (2008). The tell-tale tasks: A review of saccadic research in psychiatric patient population. *Brain and Cognition*, 68(3), 371–390. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2008.08.024>
- Grüner, M., Ansorge, U. (2017). Mobile eye tracking during real-world night driving: A selective review of findings and recommendations for future research. *Journal of Eye Movement Research*, 10(2), 1–18. <https://doi.org/10.16910/jemr.10.2.1>
- Grushko, A. I., Leonov, S. V. (2014). The usage of eye-tracking technologies in rock-climbing. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 146, 169–174. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.08.075>
- Hayhoe, M., Ballard, D. (2005). Eye movements in natural behavior. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(4), 188–194. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2005.02.009>

- Hayhoe, M. M., Shrivastava, A., Mruczek, R., Pelz, J. B. (2003). Visual memory and motor planning in a natural task. *Journal of Vision*, 3(1), 49–63. <https://doi.org/10.1167/3.1.6>
- Hebbbar, P. A., Pashilkar, A. A. (2017). Pilot performance evaluation of simulated flight approach and landing manoeuvres using quantitative assessment tools. *Sādhana*, 42, 405–415. <https://doi.org/10.1007/s12046-017-0613-0>
- Himmelstoss, N. A., Schuster, S., Hutzler, F., Moran, R., Hawelka, S. (2020). Co-registration of eye movements and neuroimaging for studying contextual predictions in natural reading. *Language, Cognition and Neuroscience*, 35(5), 595–612. <https://doi.org/10.1080/23273798.2019.1616102>
- Holmqvist, K., Nyström, M., Andersson, R., Dewhurst, R., Jarodzka, H., van de Weijer, J. (2011). *Eye tracking: A comprehensive guide to methods and measures*. Oxford: Oxford University Press.
- Hutton, S. B. (2019). Eye tracking methodology. W: C. Klein, U. Ettinger (red.), *Eye movement research: An introduction to its scientific foundations and applications* (s. 277–308). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-20085-5_8
- Isaac, L., Vrijssen, J. N., Rinck, M., Speckens, A., Becker, E. S. (2014). Shorter gaze duration for happy faces in current but not remitted depression: Evidence from eye movements. *Psychiatry Research*, 218(1–2), 79–86. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2014.04.002>
- Isokoski, P., Joos, M., Spakov, O., Martin, B. (2009). Gaze controlled games. *Universal Access in the Information Society*, 8(4), 323–337. <https://doi.org/10.1007/s10209-009-0146-3>
- Jang, S.-K., Kim, S. J., Kim, C.-Y., Lee, H.-S., Choi, K. (2016). Attentional processing of emotional faces in schizophrenia: Evidence from eye tracking. *Journal of Abnormal Psychology*, 125(7), 894–906. <https://doi.org/10.1037/abn0000198>
- Johansson, R., Holsanova, J., Dewhurst, R., Holmqvist, K. (2012). Eye movements during scene recollection have a functional role, but they are not reinstatements of those produced during encoding. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 38(5), 1289–1314. <https://doi.org/10.1037/a0026585>
- Kano, F., Tomonaga, M. (2009). How chimpanzees look at pictures: A comparative eye-tracking study. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 276(1664), 1949–1955. <https://doi.org/10.1098/rspb.2008.1811>
- Khushaba, R. N., Wise, C., Kodagoda, S., Louviere, J., Kahn, B. E., Townsend, C. (2013). Consumer neuroscience: Assessing the brain response to marketing stimuli using electroencephalogram (EEG) and eye tracking. *Expert Systems with Applications*, 40(9), 3803–3812. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.12.095>
- Kiefer, P., Giannopoulos, I., Raubal, M., Duchowski, A. (2017). Eye tracking for spatial research: Cognition, computation, challenges. *Spatial Cognition & Computation*, 17(1–2), 1–19. <https://doi.org/10.1080/13875868.2016.1254634>

- Konstantopoulos, P., Chapman, P., Crundall, D. (2010). Driver's visual attention as a function of driving experience and visibility. Using a driving simulator to explore drivers' eye movements in day, night and rain driving. *Accident Analysis & Prevention*, 42(3), 827–834. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2009.09.022>
- Kowalczyk, K. P., Gałdziński, S. P., Janewicz, M., Gąsik, M., Lewkowicz, R., Wyleżół, M. (2016). Hypoxia and Coriolis illusion in pilots during simulated flight. *Aerospace Medicine and Human Performance*, 87(2), 108–113. <https://doi.org/10.3357/AMHP.4412.2016>
- Kredel, R., Klostermann, A., Hossner, E. J. (2015). Automated vector-based gaze analysis for perception-action diagnostics. W: T. Heinen (red.), *Advances in visual perception research. Neuroscience research progress* (s. 45–59). Nowy Jork: Nova Science Publishers.
- Kredel, R., Vater, C., Klostermann, A., Hossner, E.-J. (2017). Eye-tracking technology and the dynamics of natural gaze behavior in sports: A systematic review of 40 years of research. *Frontiers in Psychology*, 8, 1845. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01845>
- Küchelmann, T., Torche, P., Prasad, M., Essig, K., Schack, T. (2017, październik). *Automatic analysis of players behavior in real dyadic chess situations*. Warsztat na Behavior, Emotion and Representation: Building Blocks of Interaction, Bielefeld, Niemcy.
- Laeng, B., Teodorescu, D.-S. (2002). Eye scanpaths during visual imagery reenact those of perception of the same visual scene. *Cognitive Science*, 26(2), 207–231. [https://doi.org/10.1016/S0364-0213\(01\)00065-9](https://doi.org/10.1016/S0364-0213(01)00065-9)
- Land, M. F. (2007). Fixation strategies during active behaviour: A brief history. W: R. P. G. Van Gompel, M. H. Fischer, W. S. Murray, R. L. Hill (red.), *Eye movements: A window on mind and brain* (s. 75–95). Amsterdam–Oxford: Elsevier.
- Land, M. F., Hayhoe, M. (2001). In what ways do eye movements contribute to everyday activities? *Vision Research*, 41(25), 3559–3565. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(01\)00102-X](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(01)00102-X)
- Lappi, O. (2016). Eye movements in the wild: Oculomotor control, gaze behavior & frames of reference. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 69, 49–68. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.06.006>
- Lehtonen, E., Lappi, O., Summala, H. (2012). Anticipatory eye movements when approaching a curve on a rural road depend on working memory load. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 15(3), 369–377. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2011.08.007>
- Lewkowicz, R., Francuz, P., Bałaj, B., Augustynowicz, P. (2015). Flights with the risk of spatial disorientation in the measurements of oculomotor activity of pilots. *The Polish Journal of Aviation Medicine and Psychology*, 21(3), 22–28. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2406.6162>
- Loughland, C. M., Williams, L. M., Gordon, E. (2002). Schizophrenia and affective disorder show different visual scanning behavior for faces: A trait versus state-based distinction? *Biological Psychiatry*, 52(4), 338–348. [https://doi.org/10.1016/S0006-3223\(02\)01356-2](https://doi.org/10.1016/S0006-3223(02)01356-2)

- Lutz, O. H.-M., Burmeister, C., dos Santos, L. F., Morkisch, N., Dohle, C., Krüger, J. (2017). Application of head-mounted devices with eye-tracking in virtual reality therapy. *Current Directions in Biomedical Engineering*, 3(1), 53–56. <https://doi.org/10.1515/cdbme-2017-0012>
- Majaranta, P., Aoki, H., Donegan, M., Hansen, D. W., Hansen, J. P., Hyrskykari, A., Rähkä, K.-J. (2012). *Gaze interaction and applications of eye tracking: Advances in assistive technologies*. Hershey: IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-61350-098-9>
- Majaranta, P., Bulling, A. (2014). Eye tracking and eye-based human–computer interaction. W: S. H. Fairclough, K. Gilleade (red.), *Advances in physiological computing* (s. 39–65). Londyn: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-6392-3_3
- Massaro, D., Savazzi, F., Di Dio, C., Freedberg, D., Gallese, V., Gilli, G., Marchetti, A. (2012). When art moves the eyes: A behavioral and eye-tracking study. *PLoS ONE*, 7, e37285. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0037285>
- Maurer, B., Trösterer, S., Gärtner, M., Wuchse, M., Baumgartner, A., Meschtscherjakov, A., ..., Tscheligi, M. (2014). Shared gaze in the car: Towards a better driver-passenger collaboration. *Proceedings of the 6th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications (AutomotiveUI '14)*, 1–6. Nowy Jork: Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/2667239.2667274>
- Mele, M. L., Federici, S. (2012). Gaze and eye-tracking solutions for psychological research. *Cognitive Processing*, 13(S1), 261–265. <https://doi.org/10.1007/s10339-012-0499-z>
- Ng, A. K. T., Chan, L. K. Y., Lau, H. Y. K. (2019). A study of cybersickness and sensory conflict theory using a motion-coupled virtual reality system. *Displays*, 61, 101922. <https://doi.org/10.1016/j.displa.2019.08.004>
- Nyström, M., Andersson, R., Holmqvist, K., van de Weijer, J. (2013). The influence of calibration method and eye physiology on eyetracking data quality. *Behavior Research Methods*, 45, 272–288. <https://doi.org/10.3758/s13428-012-0247-4>
- Oberwelland, E., Schilbach, L., Barisic, I., Krall, S. C., Vogeley, K., Fink, G. R., ..., Schulte-Rüther, M. (2016). Look into my eyes: Investigating joint attention using interactive eye-tracking and fMRI in a developmental sample. *NeuroImage*, 130, 248–260. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.02.026>
- Pan, Z., Cheok, A. D., Yang, H., Zhu, J., Shi, J. (2006). Virtual reality and mixed reality for virtual learning environments. *Computers & Graphics*, 30(1), 20–28. <https://doi.org/10.1016/j.cag.2005.10.004>
- Papagiannopoulou, E. A., Chitty, K. M., Hermens, D. F., Hickie, I. B., Lagopoulos, J. (2014). A systematic review and meta-analysis of eye-tracking studies in children with autism spectrum disorders. *Social Neuroscience*, 9(6), 610–632. <https://doi.org/10.1080/17470919.2014.934966>
- Papoutsaki, A., Sangkloy, P., Laskey, J., Daskalova, N., Huang, J., Hays, J. (2016, styczeń). WebGazer: Scalable webcam eye tracking using user interactions. *Pro-*

- ceedings of the 25th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI)*, Palo Alto: AAAI Press.
- Petridis, S., Giannakopoulos, T., Spyropoulos, C. D. (2013). *Unobtrusive low cost pupil size measurements using web cameras*. Pobrane z: <https://arxiv.org/abs/1311.7327>
- Peysakhovich, V., Dehais, F., Causse, M. (2015). Pupil diameter as a measure of cognitive load during auditory-visual interference in a simple piloting task. *Procedia Manufacturing*, 3, 5199–5205. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.583>
- Poole, A., Ball, L. J. (2006). Eye tracking in HCI and usability research: Current status and future prospects. W: C. Ghaoui (red.), *Encyclopedia of human computer interaction* (s. 211–219). Londyn: Idea Group Inc.
- Privitera, C. M., Stark, L. W. (2000). Algorithms for defining visual regions-of-interest: Comparison with eye fixations. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 22, 970–982. <https://doi.org/10.1109/34.877520>
- Rayner, K. (red.). (1992). *Eye movements and visual cognition: Scene perception and reading*. Nowy Jork: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4612-2852-3>
- Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin*, 124(3), 372–422. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.124.3.372>
- Reingold, E. M., Sheridan, H. (2011). Eye movements and visual expertise in chess and medicine. W: S. P. Liversedge, I. D. Gilchrist, S. Everling (red.), *Oxford handbook on eye movements* (s. 528–550). Oxford: Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199539789.013.0029>
- Rodríguez-Labrada, R., Vázquez-Mojena, Y., Velázquez-Pérez, L. (2019). Eye movement abnormalities in neurodegenerative diseases. W: I. Mravacic (red.), *Eye motility* (s. 1–17). <https://doi.org/10.5772/intechopen.81948>. Pobrane z: <https://www.intechopen.com/books/eye-motility/eye-movement-abnormalities-in-neurodegenerative-diseases>
- Rothensee, M., Reiter, P. (2019). Neuromarketing. W: C. Klein, U. Ettinger (red.), *Eye movement research: An introduction to its scientific foundations and applications* (s. 819–855). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-20085-5_19
- Ryan, A. M., Freeman, S. M., Murai, T., Lau, A. R., Palumbo, M. C., Hogrefe, C. E., ..., Bauman, M. D. (2019). Non-invasive eye tracking methods for new world and old world monkeys. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 13, 39. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2019.00039>
- Savage, S. W., Potter, D. D., Tatler, B. W. (2013). Does preoccupation impair hazard perception? A simultaneous EEG and Eye Tracking study. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 17, 52–62. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2012.10.002>
- Scheel, C., Islam, A. T., Staadt, O. G., Passmore, P. J., Glancy, M., Philpot, A., ..., Saka, N. (2016). An efficient interpolation approach for low cost unrestrained gaze tracking in 3D space. W: D. W. Fellner, W. Hansmann, W. Purgathofer, F. Sillion

- (red.), ICAT-EGVE '16: *Proceedings of the 26th International Conference on Artificial Reality and Telexistence and the 21st Eurographics Symposium on Virtual Environments* (s. 1–8). Goslar: Eurographics Association.
- Schmitt, K.-U., Muser, M. H., Lanz, C., Walz, F., Schwarz, U. (2007). Comparing eye movements recorded by search coil and infrared eye tracking. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*, 21, 49–53. <https://doi.org/10.1007/s10877-006-9057-5>
- Schrom-Feiertag, H., Settgast, V., Seer, S. (2017). Evaluation of indoor guidance systems using eye tracking in an immersive virtual environment. *Spatial Cognition Computation*, 17(1–2), 163–183. <https://doi.org/10.1080/13875868.2016.1228654>
- Semmelmann, K., Weigelt, S. (2018). Online webcam-based eye tracking in cognitive science: A first look. *Behavior Research Methods*, 50, 451–465. <https://doi.org/10.3758/s13428-017-0913-7>
- SensoMotoric Instruments (2017). *BeGaze manual. Version 3.1*. Teltow: SensoMotoric Instruments.
- Sheridan, H., Reingold, E. M. (2017). Chess players' eye movements reveal rapid recognition of complex visual patterns: Evidence from a chess-related visual search task. *Journal of Vision*, 17(3), 4. <https://doi.org/10.1167/17.3.4>
- Simpson, E. A., Paukner, A., Pedersen, E. J., Ferrari, P. F., Parr, L. A. (2019). Visual preferences for direct-gaze faces in infant macaques (*Macaca mulatta*) with limited face exposure. *Developmental Psychobiology*, 61(2), 228–238. <https://doi.org/10.1002/dev.21797>
- Smith, J. D., Graham, T. C. N. (2006, czerwiec). Use of eye movements for video game control. *Proceedings of the 2006 ACM SIGCHI International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*, 20. Nowy Jork: ACM. <https://doi.org/10.1145/1178823.1178847>
- Somppi, S., Törnqvist, H., Hänninen, L., Krause, C. M., Vainio, O. (2012). Dogs do look at images: Eye tracking in canine cognition research. *Animal Cognition*, 15, 163–174. <https://doi.org/10.1007/s10071-011-0442-1>
- Somppi, S., Törnqvist, H., Hänninen, L., Krause, C. M., Vainio, O. (2014). How dogs scan familiar and inverted faces: An eye movement study. *Animal Cognition*, 17(3), 793–803. <https://doi.org/10.1007/s10071-013-0713-0>
- Somppi, S., Törnqvist, H., Kujala, M. V., Hänninen, L., Krause, C. M., Vainio, O. (2016). Dogs evaluate threatening facial expressions by their biological validity – Evidence from gazing patterns. *PLoS ONE*, 11, e0143047. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0143047>
- Steciuk, H., Zwierko, T. (2015). Gaze behavior in basketball shooting: Preliminary investigations. *Trends in Sport Sciences*, 2(22), 89–94.
- Szubielska, M., Bałaj, B., Fudali-Czyż, A. (2012). Estetyczny odbiór fotografii poprzez stereotyp umysłowej niepełnosprawności twórcy. *Psychologia Społeczna*, 4(23), 372–378.

- Tartaglia, E. M., Boucly, C., Tatur, G., Arleo, A. (2018). Eye-movements as a signature of age-related differences in global planning strategies for spatial navigation. *bioRxiv*, 481788. <https://doi.org/10.1101/481788>
- Taubert, J., Apthorp, D., Aagten-Murphy, D., Alais, D. (2011). The role of holistic processing in face perception: Evidence from the face inversion effect. *Vision Research*, 51(11), 1273–1278. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2011.04.002>
- Timmis, M. A., Turner, K., van Paridon, K. N. (2014). Visual search strategies of soccer players executing a power vs. placement penalty kick. *PLoS ONE*, 9(12), e115179. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0115179>
- Tivesten, E., Dozza, M. (2014). Driving context and visual-manual phone tasks influence glance behavior in naturalistic driving. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 26, 258–272. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2014.08.004>
- Tylén, K., Allen, M., Hunter, B. K., Roepstorff, A. (2012). Interaction vs. observation: Distinctive modes of social cognition in human brain and behavior? A combined fMRI and eye-tracking study. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 331. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2012.00331>
- Unsworth, N., Spillers, G. J., Brewer, G. A., McMillan, B. (2011). Attention control and the antisaccade task: A response time distribution analysis. *Acta Psychologica*, 137(1), 90–100. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2011.03.004>
- Vaeyens, R., Lenoir, M., Williams, A. M., Philippaerts, R. M. (2007). Mechanisms underpinning successful decision making in skilled youth soccer players: An analysis of visual search behaviors. *Journal of Motor Behavior*, 39(5), 395–408. <https://doi.org/10.3200/JMBR.39.5.395-408>
- Veneri, G., Piu, P., Rosini, F., Federighi, P., Federico, A., Rufa, A. (2011). Automatic eye fixations identification based on analysis of variance and covariance. *Pattern Recognition Letters*, 32(13), 1588–1593. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2011.06.012>
- Vinson, N. G., Lapointe, J.-F., Parush, A., Roberts, S. (2012). Cybersickness induced by desktop virtual reality. *Proceedings of Graphics Interface 2012*, 69–75. Toronto: Canadian Information Processing Society.
- Yasui, Y., Tanaka, J., Kakudo, M., Tanaka, M. (2019). Relationship between preference and gaze in modified food using eye tracker. *Journal of Prosthodontic Research*, 63(2), 210–215. <https://doi.org/10.1016/j.jpor.2018.11.011>
- Zargari Marandi, R., Madeleine, P., Omland, Ø., Vuillerme, N., Samani, A. (2018). Eye movement characteristics reflected fatigue development in both young and elderly individuals. *Scientific Reports*, 8(1), 13148. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-31577-1>
- Ziv, G. (2016). Gaze behavior and visual attention: A review of eye tracking studies in aviation. *The International Journal of Aviation Psychology*, 26(3–4), 75–104. <https://doi.org/10.1080/10508414.2017.1313096>

JAKUB SŁUPCZEWSKI, MAŁGORZATA GUT

Instytut Psychologii, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

Wykorzystanie gier komputerowych w rozwijaniu zdolności poznawczych – zastosowanie w edukacji i terapii

Sposób cytowania: Słupczewski, J., Gut, M. (2020). Wykorzystanie gier komputerowych w rozwijaniu zdolności poznawczych – zastosowanie w edukacji i terapii. W: M. Trojan, M. Gut (red.), *Nowe technologie i metody w psychologii* (s. 79–98). Warszawa: Liberi Libri. <https://doi.org/10.47943/lib.9788363487430.rozdzial03>

Znana odwieczna prawda, że „trening czyni mistrza” dotyczy nie tylko trenowania takich umiejętności jak jazda samochodem, wykonywanie układu choreograficznego lub utworu muzycznego czy odgrywanie roli przez aktora. Dane z badań naukowych dowodzą bowiem, że trening może być skuteczną metodą udoskonalania bardzo podstawowych zdolności poznawczych (będących bazą np. wspomnianych wyżej złożonych umiejętności), takich jak uwaga czy pamięć. Opracowuje się i testuje skuteczność bardzo różnorodnych technik treningu, jednak w dobie wszechobecnej komputeryzacji zastosowanie w tym celu komputerowo wspieranych technologii zyskuje na zainteresowaniu nie tylko badaczy, ale przede wszystkim terapeutów, lekarzy czy nauczycieli. Jakie zastosowanie w rozwoju kompetencji szkolnych mają takie komputerowo wspierane metody, jak gry? Czy można je stosować w rehabilitacji deficytów poznawczych? A jeśli tak, jakiego rodzaju gry są skutecznym treningiem wspomnianych funkcji? Jeśli przyczyniają się do kształtowania pewnych umiejętności w edukacji (w pracy z dziećmi prawidłowo rozwijającymi się), to czy mogą być także skuteczne w pokonywaniu deficytów, stanowiąc narzędzie terapii dla uczniów z problemami w nauce?

Już niespełna dwie dekady temu (np. Klinberg, Forssberg, Westerberg, 2002) w pierwszych badaniach w tym obszarze wskazywano, że gra komputerowa trenująca pamięć roboczą usprawnia nie tylko ćwiczoną zdolność, ale też szeroko pojęte zdolności intelektualne. Dlatego też gry komputerowe coraz powszechniej projektuje się do celów innych niż rozrywka (nazywając je w związku z tym czasem „poważnymi grami”). Zaletą treningów poznawczych w postaci gier komputerowych jest to, że poza zastosowaniem zadań rozwijających zdolności poznawcze, charakteryzują się one dużą atrakcyjnością, zwiększając motywację osób trenujących. Ich niekwestionowaną przewagą (nad innymi formami treningu) jest też to, że są one bardziej popularne i dostępne np. dla dzieci, które po prostu preferują tego typu metody ćwiczeń (zob. Vernadakis, Avgerinos, Tsitskari, Zachopoulou, 2005). Oczywiście kwestią dyskusyjną, podnoszoną w literaturze naukowej, jest problem transferu rezultatów treningu na umiejętności inne niż trenowane w grze (Green, Bavelier, 2012). Innymi słowy, istotnym pytaniem jest to, jaka jest skuteczność takich gier w terapii czy rozwoju funkcji poznawczych i jej odzwierciedlenie w codziennym funkcjonowaniu. Nierzadko okazuje się bowiem, że efekt transferu nie jest łatwy do uzyskania nawet w kontrolowanych warunkach eksperymentalnych (Chooi, Thompson, 2012; Redick i in., 2013), co wzbudza kontrowersje i obawy.

Inną dyskusyjną kwestią jest to, jakiego rodzaju gry sprzyjają trenowaniu zdolności poznawczych istotnych dla umiejętności szkolnych czy dla codziennego

funkcjonowania. Część badaczy skoncentrowała się na badaniu efektywności gier akcji (popularnie nazywanych „strzelankami”), ponieważ są powszechnie dostępne, a jednocześnie wymagają koncentracji uwagi, jej podzielności i dużej pojemności pamięci roboczej oraz sprawnych funkcji wykonawczych (przegląd badań w: Kowalczyk, Brzezicka, 2020). Wyniki niektórych badań wskazują na pewne benefity wynikające z grania w tego typu gry (np. Green, Bavelier, 2003, 2006; zob. też: Irons, Remington, McLean, 2011; Murphy, 2009), jednak ich głównym mankamentem metodologicznym jest to, że porównuje się w nich poziom pewnych umiejętności u graczy i nie-graczy, zaś najczęściej nie bada się ich u tych samych osób przed treningiem z użyciem gry i po nim (co byłoby dowodem na rzeczywiste oddziaływanie gry).

Efektywność gier komputerowych w trenowaniu umiejętności związanych z językiem

Jednym z obszarów badanych w kontekście pozytywnego wpływu gier jest umiejętność czytania oraz deficyty z tym związane, np. dysleksja. Badania potwierdzają zależność między funkcjonowaniem uwagi i zdolnościami związanymi z czytaniem. Nie dziwi więc fakt, że sprawdzano efekty trenowania uwagi w kontekście umiejętności czytania i jej poprawy u osób z deficytami w tym obszarze. Antzaka i in. (2017) sprawdzali, czy granie w gry akcji sprawia, że dorosłe osoby badane w trakcie poszczególnych fiksacji zapamiętują większą liczbę elementów (w tym wypadku liter). Założyli, że poprawa tej umiejętności powinna bezpośrednio wpływać właśnie na umiejętność czytania. Badanych podzielono na dwie grupy: osób grających w gry akcji (kryterium kwalifikacji było obcowanie z grami tego typu minimum przez 5 godzin tygodniowo w okresie pół roku przed badaniem) oraz osób niegrających.

Aby sprawdzić, czy różnią się między sobą umiejętnościami w czytaniu, porównano te dwie grupy pod względem wykonania dwóch rodzajów zadań i uzyskanych w nich wskaźników – dokładności w czytaniu pseudo-słów oraz zapamiętywania liter w czasie 200 ms (sprawdzano ich liczbę). Wyniki wykazały, że osoby grające były w stanie zapamiętać więcej liter prezentowanych badanym w czasie 200 ms. Również wyniki uzyskane w zadaniu z czytaniem pseudo-słów wskazały na istotny efekt grupy – gracze odczytywali je z większą dokładnością. W wykonanej przez badaczy analizie regresji wskazano na zasoby uwagowe jako czynnik, który najsilniej wyjaśniał wysoki poziom

wykonania tego zadania. Wysłunięto na tej podstawie wnioszek, że granie w gry akcji może być w pewnym stopniu metodą treningu poznawczego ważnego dla zdolności czytania u osób z dysleksją. Autorzy wskazują także inne aktywności z życia codziennego, których efekty mogą być podobne, a które nie są zauważane przez praktyków – np. jazda samochodem czy trening sportowy. Inną zdolnością, która może być związana z umiejętnościami czytania, jest integracja informacji wzrokowych i słuchowych, a pośredniczy w tym pętla fonologiczna oraz uwaga wzrokowo-przestrzenna.

Zależności te postanowili zbadać Franceschini i in. (2017). Osobami badanymi były dzieci z diagnozą dysleksji, a celem badania było sprawdzenie skuteczności gier akcji w kształtowaniu wspomnianych umiejętności. U uczestników przed i po treningu poznawczym zmierzono szereg umiejętności związanych z samym czytaniem, ale także funkcjonowanie uwagi, pamięci oraz szybkość przetwarzania informacji różnych modalności. Na trening poznawczy z grami składało się 9 sesji po 80 minut, a tworzyło go wiele mini-gier, z których część zawierała elementy akcji, a część nie. Wykazano, że u dzieci trenujących z grą akcji skrócił się czas potrzebny na czytanie w poszczególnych testach. Co więcej, u aż 64% dzieci z tej grupy wzrosła dokładność w czytaniu (popępniały mniej błędów w porównaniu z dziećmi nie trenującymi z grą akcji). Wzrósł u nich także poziom wykonania części testów mierzących inne zdolności poznawcze, np. dzieci te dokładniej wykonywały zadanie mierzące poziom uwagi wzrokowo-przestrzennej oraz z większą łatwością łączyły informacje uzyskiwane wzrokowo i słuchowo.

Duża liczba kontrolowanych przez autorów zmiennych pozwoliła wykazać, że kontakt dzieci z grami akcji może mieć pozytywny wpływ na wiele umiejętności, które w różny sposób są odpowiedzialne za problemy z czytaniem, a więc i za dysleksję. Można zatem zastanowić się nad stosowaniem tego rodzaju treningów poznawczych właśnie we wspieraniu dzieci przejawiających takie trudności. Może to sprawić, że będą one chętniej pracować nad pokonywaniem trudności w czytaniu, nie będąc być może nawet świadome, że biorą udział w czymś więcej niż zabawa. Franceschini i Bertoni (2019), kontynuując te badania, postanowili sprawdzić zależności między czytaniem słów i pseudo-słów a fonologicznym elementem pamięci krótkotrwałej. W badaniu wzięły udział dzieci z diagnozą dysleksji, które w trakcie 12 spotkań grały przez godzinę w dwie komercyjne gry akcji. Obie grupy nie różniły się przed treningami pod względem umiejętności czytania oraz zasobów pamięci krótkotrwałej. Wyniki wskazały natomiast, że istotny wzrost w zakresie czytania i pamięci krótko-

trwalej nastąpił tylko w grupie dzieci, które osiągały wyższe wyniki w grach. Wyniki te pokazują ponownie, że nie tylko gry specjalnie projektowane w celu poprawiania konkretnych umiejętności mogą przynosić efekty poznawcze.

Inną kwestią, którą warto tu podnieść, jest znaczenie dobierania poziomu trudności treningu do osoby trenującej. Wyniki jednoznacznie udowadniają, że sam kontakt z grami nie jest wystarczający – aby interwencja była skuteczna, dziecko musi być odpowiednio zaangażowane w samą grę oraz stopniowo podnosić swoje umiejętności z nią związane, a zatem wykonywać coraz trudniejsze zadania (Klinberg i in., 2005). Projektując treningi poznawcze w formie gier, należy też mieć na uwadze, że poziom trudności gry musi uwzględniać początkowy poziom gracza. Jeśli bowiem będzie zbyt trudna – szybko zdemotywuje dziecko, jeśli zaś będzie zbyt łatwa – szybko się znudzi.

W obu przypadkach narzędzie nie będzie skuteczne, czyli nie spełni swojej roli edukacyjnej czy terapeutycznej. Jednym z badań nad skutecznością stosowania gier w treningach poznawczych umiejętności związanych z czytaniem był także projekt Rello, Bayarri, Otal i Pielota (2015). Autorzy postanowili wykorzystać zaprojektowaną przez siebie grę, która była oparta na prawdziwych błędach popełnianych przez dzieci z dysleksją. Zakładali, że w ramach treningu dzieci będą w stanie nauczyć się identyfikowania błędów językowych oraz wykształcić strategie ich unikania, jak również nauczą się je poprawiać. Treningi dzieci były podzielone na dwie części. W zależności od grupy, trenowało się najpierw przez cztery tygodnie z grą opartą na wykrywaniu błędów lub z grą polegającą na poszukiwaniu słów wśród rozsypanych liter. Po treningu z pierwszą grą następowała zmiana gry. W celu sprawdzenia skuteczności treningu, przed jego rozpoczęciem, a także bezpośrednio po zakończeniu treningów z poszczególnymi grami badano typowe umiejętności związane z czytaniem i pisanem, które przysparzają trudności dzieciom z dysleksją, a także dawano dzieciom kwestionariusz mierzący ich spostrzeżenia dotyczące ich własnych umiejętności pisania i czytania.

Efektem, który zaobserwowano w wynikach, był spadek liczby błędów w trakcie pisania po okresie treningów z grą. Nie udało się natomiast wykazać żadnych zależności pod względem liczby błędów popełnianych w trakcie czytania oraz w kwestionariuszach wypełnianych przez dzieci. Przyczyną, która według autorów mogła sprawić, że zmiana nie uległa umiejętności czytania, był fakt, że gra była ściśle oparta na umiejętnościach związanych z pisanem. Innym ograniczeniem badania może być brak warunku kontrolnego (brak treningu z jakąkolwiek grą). Mimo to badanie pokazuje, że istotnym kierun-

kiem w trenowaniu z dziećmi cierpiącymi na dysleksję może być kształtowanie u nich umiejętności wykrywania własnych błędów oraz opracowywanie metod poprawiania ich. Obszarem edukacji blisko związanym z nauką czytania jest edukowanie w zakresie gramatyki. Zarzycka-Piskorz (2016) sprawdziła, czy studenci będą bardziej zaangażowani w naukę gramatyki języka angielskiego po wprowadzeniu do edukacji gry *Kahoot*, w której użytkownicy mogą tworzyć quizy o dowolnej tematyce, rozwiązywane następnie przez innych odbiorców.

Ponad 100 badanych, w zależności od aktualnych potrzeb nauki struktur gramatycznych, grało w grę od jednego do trzech razy. Celem gry była pomoc w nabywaniu wiedzy z zakresu m.in. odmiany czasowników nieregularnych, formułowania pytań oraz posługiwania się stroną bierną. W celu oceny programu użytego w badaniu studenci zostali poproszeni o wypełnienie kwestionariusza. Wyniki jednoznacznie wskazywały na pozytywny odbiór i efekt gry – 68% studentów oceniło swój kontakt z grą jako zabawę, ale aż 90% z nich stwierdziło, że dzięki korzystaniu z gry nauczyli się nowych elementów gramatyki języka obcego. Co więcej, znaczna część badanych chciała kontynuować naukę języka angielskiego za pomocą *Kahoot*, mimo że wcześniej tylko 5% studentów korzystało z rozwiązań tego typu. Wyniki te jednoznacznie wskazują na potrzebę stosowania tego typu metod w edukacji, również w przypadku dorosłych. Zarówno studenci uczelni wyższych, jak i młodsze osoby mogą czuć potrzebę urozmaicenia tradycyjnych sposobów nauczania. Przyjęcie takich rozwiązań będzie pozytywnie wpływać na motywację uczniów do współpracy z nauczycielami, co przekładać się może na zwiększenie zakresu przyswajanego przez nich materiału. Dodatkowo wzrost liczby nowoczesnych gier edukacyjnych może sprawić, że uczniowie będą sięgać po nie także poza kontekstem edukacji w szkole.

Gry a funkcje wykonawcze i uwaga

Funkcje wykonawcze są związane z kontrolą wyższych procesów poznawczych, a lepsza ich kontrola przekłada się na zdolność do adaptacji w zmieniającym się środowisku (Miyake i in., 2000). Bada się m.in. takie składowe funkcje wykonawczych, jak pamięć robocza, przerzutność uwagi oraz hamowanie. Biorąc pod uwagę istotny wpływ wyżej wymienionych aspektów na codzienne funkcjonowanie, nie może dziwić fakt, że w literaturze odnaleźć można badania koncentrujące się na użyteczności gier w ich kształtowaniu w różnych grupach

wiekowych. Johann i Karbach (2018) opublikowały wyniki badań, w których wykazały dodatkowo wzrost zaangażowania dzieci w wykonywanie zadań wspierających rozwój funkcji wykonawczych po dodaniu do nich elementów gry. W badaniu wzięło udział 60 uczniów szkoły podstawowej, a zostali oni przydzieleni do trzech grup (każda wykonywała trzy zadania typowe dla każdej domeny, kształtujące funkcje wykonawcze, tj. pamięć roboczą, hamowanie, giętkość). Każde dziecko wykonywało zadania z elementami gry oraz te w wersji tradycyjnej. Wprowadzonymi przez badaczki elementami gry była fabuła oraz możliwość zdobywania magicznej mocy dla głównego bohatera. Dzieci w trakcie rozgrywki miały również możliwość podejmowania decyzji o dalszych losach ich bohatera.

Warto zaznaczyć, że wszystkie zadania automatycznie dostosowywały swój poziom trudności do poziomu wykonania dzieci. Zabieg taki wzmacnia skuteczność gier w rozwoju funkcji wykonawczych (Plass, Homer, Pawar, Brenner, MacNamara, 2019). Badanie było podzielone na dwa spotkania, w trakcie których dzieci grały w jedną z dwóch wersji gry oraz rozwiązywały kwestionariusz, mierzący ich motywację wewnętrzną. Wyniki dowodzą, że dzieci były bardziej zmotywowane do treningu z zadaniami zawierającymi elementy gry niż do zadań w standardowej wersji. Jednocześnie nie wskazano istotnych różnic w czasie i poprawności reakcji w wykonywanych zadaniach. Johann i Karbach (2018) sugerują więc, że wprowadzenie do treningów funkcji poznawczych elementów gry sprawia, że wzrasta motywacja do wykonywania tego typu zadań, ale bez jednoczesnego wzrostu poziomu wykonywania zadań.

Wpływ dopasowania trudności gry do umiejętności gracza na efektywność treningu w badaniu postanowili sprawdzić Plass i in. (2019). Jednym z powodów włączenia do programu treningowego elementu adaptacji poziomu trudności była chęć sprawdzenia, czy rozwiązanie takie wpłynie na utrzymywanie optymalnego poziomu zaangażowania się w trening, ale przede wszystkim, czy czynnik ten podnosi skuteczność gry. Badacze skoncentrowali się na umiejętności przełączania uwagi, która jest jedną ze składowych funkcji wykonawczych. W badaniu udział wzięło ponad 100 uczniów. Ich zadaniem w trakcie gry było odpowiednio reagować na pojawiających się na ekranie kosmitów – przed właściwą rozgrywką badani byli zapoznawani z różnymi regułami (np. „Czerwoni kosmici są głodni, a Niebieskim chce się pić”). Wielość reguł panujących w grze wymagała od badanych przełączania się między nimi. Czynnikiem, które modyfikowano ze względu na skuteczność badanego w trakcie gry były: liczba kosmitów, prędkość ich poruszania się, częstość

zmian panującej zasady oraz złożoność zasad. Badani zostali podzieleni na dwie grupy: (1) grającą w grę adaptującą się do ich umiejętności oraz (2) grę nieadaptującą się (wersję gry, w której nie modyfikowano wspomnianych czynników, czyli nie uwzględniano na bieżąco skuteczności gracza). W obrębie tych grup wyodrębniono jeszcze podgrupy ze względu na wiek (10–11 lat, 12–13 lat, 14–15 lat oraz powyżej 15. roku życia). Zarówno przed sesją treningową (20 minut gry), jak i po niej badani wykonywali test mierzący przerzutność uwagi. W obu grupach w post-tescie zaobserwowano lepszą przerzutność uwagi. Z kolei różnice między dwoma typami gier można było zauważyć dopiero po analizie wyników poszczególnych grup wiekowych – największa poprawa pod względem przerzutności uwagi została zaobserwowana u najstarszych dzieci.

Co więcej, rezultaty badań wskazują na wyższy poziom wykonania post-testu u osób grających w grę, która dostosowywała swój poziom trudności w porównaniu z grupą grającą w grę nieadaptującą się. Dalsza analiza rezultatów z samego przebiegu gry wykazała, że poziom trudności był częściej podnoszony w najstarszej grupie dzieci, podczas gdy u młodszych poziom ten był częściej obniżany. Wyraźnie więc widać, że adaptacyjność gry pełni odmienną rolę w różnych grupach wiekowych. Mimo istotnego ograniczenia badania, jakim niewątpliwie jest krótki czas kontaktu z grą, zauważyć można, że gra, która automatycznie dostosowuje swój poziom trudności do umiejętności osoby z nią trenującej, jest skuteczniejsza.

Zdolność programu trenującego do utrzymywania gracza na optymalnym poziomie zaangażowania sprawiać więc może, że będzie on chętniej korzystać z programu, co przełoży się na większą ilość czasu poświęcanego na trening. Mając świadomość znaczenia funkcji wykonawczych dla jakości codziennego funkcjonowania, postanowiono zbadać skuteczność interwencji opartej na grze wideo u osób z uszkodzeniem mózgu. Montani, De Filippo De Grazia i Zorzi (2014), opierając się na wynikach wskazujących na konieczność dostosowywania poziomu trudności gry do początkowych umiejętności, stworzyli grę mającą doskonalić w trakcie rehabilitacji funkcjonowanie poznawcze pacjentów w obszarach, które najbardziej ucierpiały na skutek uszkodzenia – uwagi oraz funkcji wykonawczych. Gra oferowała dwa podstawowe warianty (zbieranie diamentów, unikanie węża) oraz wariant złożony, w którym trzeba było zbierać diamenty, unikając niebezpieczeństwa. W badaniu pilotażowym, testującym tę grę na okoliczność stosowania jej w rehabilitacji, wzięło udział 20 zdrowych studentów, trenujących przez 14 dni po 40 minut. Różnice w poziomie trudności gry na początku interwencji oraz na końcu wskazują na wzrost

umiejętności badanych w radzeniu sobie z przełączaniem uwagi, dzieleniem jej między dwa zadania, a także planowaniem swojego działania. Opierając się na tych wynikach, Montani i in. (2014) sugerują, że gra może być stosowana w rehabilitacji pacjentów po urazowym uszkodzeniu mózgu. Ograniczeniem tych badań jest jednak brak grupy pacjentów dotkniętych urazowym uszkodzeniem mózgu (nie sprawdzono efektywności tego treningu z pacjentami, a jedynie formułuje się przewidywane efekty).

Komputerowe gry matematyczne i ich skuteczność

Materiałem, którego przyswajanie jest szczególnie trudne i nierzadko czasochłonne – zarówno z perspektywy nauczających, jak i uczących się – jest ten, z którym mierzymy się w edukacji matematycznej. Edukacja matematyki jest jeszcze trudniejsza, gdy braki w zakresie bardzo podstawowych zdolności uniemożliwiają efektywne uczenie bardziej zaawansowanego materiału. Wspomniane problemy w nabywaniu podstawowych kompetencji matematycznych wynikać mogą z deficytu poznawczego, jakim jest dyskalkulia (Chinn, Ashcroft, 2006). Z tego względu istotne jest opracowywanie narzędzi zarówno do diagnozy tego typu zaburzeń, ale także do skutecznego wspierania osób, które są nimi dotknięte. Kluczową kwestią jest to, że takie narzędzia edukacyjne czy terapeutyczne wykorzystują zadania, które utrwalają zależności numeryczno-przestrzenne, poczucie liczby (tzw. zmysł numeryczny) i umiejętności arytmetyczne. Deficyty związane z nimi są natomiast obserwowane w dyskalkulii, więc takie programy ćwiczeń powinny być skoncentrowane m.in. na utrwalaniu zależności numeryczno-przestrzennych, arytmetyki i zmysłu numerycznego (Kucian i in., 2011).

Przykłady gier, których efektywność testowano w badaniach to *Calcularis*, *Rescue Calcularis*, opracowane przez Kucian i in. (2011), *Number Worlds* zaproponowana przez Griffin (2004) czy *Kalkulilo* (Gut, Matulewski, Mańkowska, Goraczewski, Finc, 2019) trenujące zależności numeryczno-przestrzenne oraz *Number Race* (Wilson i in., 2006; Wilson, Revkin, Cohen, Cohen, Dehaene, 2006) skoncentrowana na umiejętnościach związanych z podstawowym poczuciem liczby i przetwarzaniem różnych formatów liczb. Opracowano także jej polskojęzyczną wersję, znaną jako *Wyścig liczb* (Cipora, Szczygieł, 2013). Również gra *Graphogame-Maths* (Räsänen i in., 2009) opiera się na porównywaniu wartości liczbowych prezentowanych w różnych formatach. Jak wykazały

wyniki badań z użyciem niektórych gier, poprawiają one poziom umiejętności porównywania liczb u dzieci z trudnościami w matematyce, ale nie wzmacniają żadnych innych matematycznych kompetencji (Räsänen i in., 2009).

Ocena skuteczności gry zastosowanej przez Wilson, Revkin i in. (2006) wykazała z kolei poprawę nie tylko w zakresie porównywania liczb, ale też odejmowania czy subitacji (szybkiego i dokładnego określania liczebności małych zbiorów). Ich późniejsze badania (Wilson, Dehaene, Dubois, Fayol, 2009) ujawniły też efekt gry *Number Race* w postaci poprawy w porównywaniu liczb przedstawianych w postaci symbolicznej, ale nie w postaci niesymbolicznej. Wskazuje się też (Sella, Tressoldi, Lucangeli, Zorzi, 2016), że u dzieci w wieku przedszkolnym gra ta wywołuje poprawę w zakresie liczenia w pamięci oraz zależności numeryczno-przestrzennych. Gut i in. (2019) dowiedli z kolei korzystnego wpływu treningu z grą *Kalkulilo* (bazującą na relacji numeryczno-przestrzennej; zob. rysunek 1) na precyzję szacowania miejsca liczb na osi bez podziałki u dzieci prawidłowo rozwijających się.



Rysunek 1. Trening z wykorzystaniem gry *Kalkulilo* (fot. K. Mańkowska).

Castellar, All, de Marez i Van Looy (2015) postanowili sprawdzić, jakie metody treningu umiejętności matematycznych u dzieci będą przynosić lepsze efekty – komputerowa gra matematyczna czy zadania wykonywane tradycyjnie (na papierze). Gra została zaprojektowana tak, aby zawarte w niej zadania

bardzo przypominały te z papierowej wersji treningu. Co więcej, procedura eksperymentalna była zorganizowana w taki sposób, że badani w poszczególnych grupach wykonywali takie same zadania w tej samej kolejności. Najważniejszymi różnicami między tymi dwiema metodami trenowania umiejętności matematycznych były: presja czasowa oraz elementy fabuły, zabawy w programie (grze). Dzieci w ramach badania zostały podzielone na dwie grupy – ćwiczącą z grą komputerową oraz wykonującą zadania w tradycyjnej formie. Każda z grup miała kontakt tylko z jednym typem zadań matematycznych. W ramach pre- i post-testów dzieci wykonywały test mierzący poziom umiejętności matematycznych (mierzone czas oraz poprawność reakcji), ale także testy funkcjonowania pamięci roboczej oraz zdolności planowania. Zadaniem grupy trenującej z grą było ukończenie jej w okresie trzech tygodni. W tym samym czasie druga grupa wykonywała zadania w formie papierowej.

Wyniki uzyskane po treningach wykazały, że dzieci trenujące swoje umiejętności matematyczne z grą w porównaniu z grupą pracującą tradycyjnymi metodami popełniały istotnie mniej błędów w trakcie wykonywania post-testu. Pod względem czasu reakcji w post-teście zauważono istotną poprawę w obu grupach, ale tylko w grupie trenującej z grą szło to w parze z większą poprawnością w wykonywaniu zadań. Nie wykazano różnic między grupami pod względem innych kontrolowanych zmiennych – pamięci roboczej oraz zdolności planowania. Po zakończeniu procedury pytano dzieci o ich odczucia związane z poszczególnymi metodami treningu i odnotowano, że aż 93% dzieci grających w grę chciało powtórzyć naukę matematyki tą metodą. Dodatkowo dzieci z grupy rozwiązującej zadania papierowe przypisywały tej aktywności określenie „nudne”, podczas gry dzieci grające w grę matematyczną określały swoje doświadczenie jako „ekscytujące”. Widać zatem, że zarówno wyniki testów obiektywnych, jak i subiektywne odczucia dzieci wskazują, że nie należy ignorować potencjału, jaki mają w sobie komputerowe matematyczne gry edukacyjne. Biorąc pod uwagę odczucia, jakie matematyka wzbudza u najmłodszych, należy się spodziewać, że włączenie gier do procesu edukacji sprawi, że zmieni się dotychczasowe podejście do nauki tego przedmiotu w szkole.

Projektowanie programów, które pozwalałyby na usprawnianie pamięci roboczej może mieć daleko idące skutki w edukacji, ponieważ ten typ pamięci leży nie tylko u podstaw nauki matematyki, ale pozwala na efektywniejsze uczenie się w ogóle. Przewagę nowoczesnych metod nauczania matematyki nad metodami tradycyjnymi badał także Hwa (2018). Celem badania było sprawdzenie skuteczności stworzonego na potrzeby badania programu do

pomocy dzieciom w wieku 7–9 lat w nauce matematyki. Zawierał on elementy gry, co miało sprawiać, że dzieci chętniej będą z niego korzystać w nabywaniu umiejętności. Program składał się z 16 lekcji, z których każda wprowadzała nowy zakres materiału. Połowa badanych brała udział w lekcjach z użyciem gry, podczas gdy pozostali uczyli się matematyki w tradycyjny sposób. Aby sprawdzić efektywność treningu, przeprowadzono pre- i post-testy w formie sprawdzianu umiejętności matematycznych, które dzieci miały przyswoić zarówno w trakcie gry, jak i w klasie. Obie grupy nie różniły się zakresem wiedzy z matematyki stwierdzonym w pre-teście. Wykazano, że w post-teście lepiej wypadła grupa dzieci, która uczyła się matematyki z grą: w porównaniu z grupą kontrolną, w której żadne dziecko nie uzyskało w teście oceny bardzo dobrej, w grupie trenującej z grą aż 40% badanych osiągnęło taki wynik. Wyniki wskazują więc, że nauka matematyki z użyciem programu podobnego do gry jest efektywniejsza niż tradycyjne metody nauczania. Oprócz stwierdzonego w wynikach badań korzystnego wpływu gier matematycznych wykazano, że dzieci są w ten sposób dodatkowo motywowane do nauki. Znając te zalety stosowania gier, Moradi (2017) postanowił zweryfikować efekty nauczania matematyki za pomocą gier w grupie uczniów trzeciej klasy szkoły podstawowej ze zdiagnozowanym zaburzeniem ze spektrum autyzmu. Połowa badanych została przypisana do grupy uczącej się głównie z pomocą różnego rodzaju dostępnych gier matematycznych. Pozostali nadal byli nauczani tradycyjnymi metodami. Aby sprawdzić efekty nauki za pomocą gier, wszystkie dzieci wykonały przed i po etapie treningów testy sprawdzające ich znajomość przedstawianego im materiału z matematyki. Nie wykazano różnic międzygrupowych w pre-teście, natomiast analizując wyniki obu grup w post-teście, Moradi wykazał istotnie wyższy wynik u dzieci grających w gry matematyczne. Badacze zajmujący się wpływem różnego rodzaju gier na naukę matematyki nie pominęli oczywiście tych z elementami akcji. Franceschini i in. (2016) postanowili sprawdzić, czy taki trening z grą może – podobnie jak w badaniach nad ich wpływem na procesy uwagowe czy pamięć – pośrednio kształtować podstawowe umiejętności matematyczne u dzieci z diagnozą dyskalkulii. U osób z dyskalkulią zawodzą m.in. umiejętności przetwarzania wzrokowo-przestrzennego oraz uwaga (Askenazi, Henik, 2010), a jak wiadomo z dotychczasowych badań – właśnie na te aspekty funkcjonowania poznawczego wpływ mają gry akcji (Dobrowolski, Hanusz, Sobczyk, Skorko, Wiatrow, 2015). Próba badanych została podzielona na dwie podgrupy – grających w grę (1) zawierającą elementy akcji oraz (2) pozbawioną tych elementów. Treningi w obu grupach składały

się z 9 spotkań po 80 minut. Wyniki wykazały pozytywne zmiany w grupie trenującej z grą akcji w obszarze umiejętności arytmetycznych, funkcjonowania zmysłu numerycznego oraz uwagi wzrokowo-przestrzennej. Autorzy sugerują więc, że warto stosować gry akcji jako narzędzie terapeutyczne, wspierające osoby zagrożone ryzykiem dyskalkulii. Dzięki interwencjom tego typu można bowiem u osób badanych kształtować te umiejętności, których zaburzenia są główną przyczyną występowania tego deficytu. Skuteczność stosowania gier akcji w kształtowaniu umiejętności matematycznych została zbadana także u dorosłych. Libertus i in. (2017) postanowili sprawdzić, czy trenowanie uwagi z użyciem komputerowych gier akcji przyniesie korzystne efekty w radzeniu sobie właśnie z materiałem numerycznym. Połowę badanych przypisano do grupy trenującej z grą akcji, zaś resztę do grupy trenującej z grą innego rodzaju. W ramach procedury badawczej kilkakrotnie sprawdzano u ochotników funkcjonowanie ich uwagi oraz poziom umiejętności matematycznych (podstawowych i bardziej zaawansowanych): przed rozpoczęciem procedury treningowej, po 25 godzinach treningów oraz na końcu badania – po 40 godzinach trenowania. Używaną w badaniu grą akcji była jedna z popularniejszych na rynku komercyjnym „strzelanka”, podczas gdy grupa kontrolna grała w grę *The Sims 2*. Wykazano, że poprawił się poziom umiejętności matematycznych w obu grupach, jednak na korzyść treningu z grą akcji przemawiały wyniki pochodzące z testu mierzącego bardziej złożone umiejętności matematycznie – u osób trenujących z grą akcji nastąpił wzrost poziomu wykonania testu mierzącego te umiejętności zarówno po 25, jak i po 40 godzinach trenowania. W obu grupach poprawie uległo także wykonanie zadań mierzących zasoby uwagowe. Wyniki te dowodzą więc, że kontakt z grami akcji, nawet w dorosłości, może przynosić pozytywne efekty w usprawnianiu umiejętności matematycznych. Biorąc pod uwagę fakt, że coraz więcej dorosłych ludzi wolne chwile spędza właśnie na aktywnościach związanych z graniem we wszelkiego rodzaju gry akcji, być może nie należy traktować tego czasu jako zmarnowanego?

Cagiltay, Ozcelik i Ozcelik (2015) podjęli się z kolei eksperymentalnego sprawdzenia tego, czy wprowadzenie elementu rywalizacji do gry spowoduje, że będzie ona efektywniejsza w nauczaniu specyficznej umiejętności związanej ze studiami inżynierskimi. Studenci zostali podzieleni na dwie grupy, które różniło wprowadzenie (lub brak) elementu rywalizowania między członkami grupy. W jednej grupie w trakcie wykonywania zadań składających się na grę osoby badane mogły zobaczyć, ile punktów zdobyły inne osoby w ich grupie.

Możliwości takiej nie było w grupie kontrolnej. Zadaniem postawionym przed badanymi było uzbieranie konkretnej liczby punktów w grze. Zarówno przed rozpoczęciem programu treningowego, jak i po nim studenci wykonywali test wiedzy z zakresu, który gra miała wprowadzać. Wyniki pokazały, że osoby z grupy rywalizującej w post-teście wypadły istotnie lepiej niż osoby z grupy, w której elementów rywalizacji nie było. Dodatkowo stwierdzono, że ci pierwsi spędzali istotnie więcej czasu na grze, a co za tym idzie, mieli większą szansę na zdobycie wiedzy z wymaganego zakresu. Można więc wywnioskować, że wprowadzanie elementów rywalizowania między uczestnikami w grach lub w programach mających doskonalić pewne umiejętności czy leżące u ich podłoża funkcje poznawcze skutecznie zwiększa u odbiorców tego rodzaju oprogramowania motywację do kontaktu z nim, co z kolei przekłada się na większy zakres wiedzy lub umiejętności, które można dzięki temu przyswoić.

Uwagi końcowe, podsumowanie i ograniczenia metodologiczne

Jak widać z przedstawionego tu przeglądu badań, ich wyniki wskazują na korzystny wpływ opisanych powyżej komputerowych metod treningu poznawczego. Techniki te są skuteczne, ponieważ ingerują (z pozytywnym skutkiem) w budowę (zob. Kowalczyk, Brzezicka, 2020) i organizację funkcjonalną struktur mózgowych (np. Kucian i in., 2011) odpowiedzialnych za rozwój trenowanych umiejętności, wywołując korzystne zmiany neuroplastyczne. U dzieci prawidłowo rozwijających się prowadzi to do stymulowania rozwoju kompetencji szkolnych. W przypadku dzieci z deficytami, metody takie pozwalają kształtować umysłowe reprezentacje przetwarzanego materiału, które u tych uczniów nie funkcjonują właściwie. Mogą być więc atrakcyjną i skuteczną formą pomocy w pokonywaniu trudności, z którymi się borykają. Tym samym, mogą służyć zarówno jako metody niezbędne w edukacji, jak i terapii. Moeller, Fischer, Nuerk, Cress (2015) argumentują, że wspierane komputerowo techniki trenowania umiejętności matematycznych, poza ogólnym treningiem przetwarzania liczb, zawierają też elementy interakcji, angażują uczestników i wzbudzają ich wewnętrzną motywację (Boyle, Connolly, Hainey, 2011). Natomiast znaczenie motywacji dla efektywności komputerowych treningów poznawczych ujawniły wyraźnie np. badania Nagle'a, Reinera i Wolfa (2018), podkreślając jednak, że zależy to także od osobowości i temperamentu graczy. Gry dostarczają

również informacji zwrotnej, która wzmacnia proces przyswajania wiedzy (Cameron, Dwyer, 2005) oraz mogą być opracowywane dla dzieci, które różnią się początkowym poziomem umiejętności. Oznacza to, że gra może być dopasowana do określonego poziomu możliwości (a więc trudności zadania) na starcie. Niestety, mimo doniesień naukowych o skuteczności tego rodzaju metod, w Polsce edukacja z użyciem gier komputerowych nie jest wdrażana w programy nauczania w szkołach. Może się tak dziać ze względu na brak zaplecza technicznego. Należy jednocześnie zaznaczyć, że mało jest danych dotyczących stosowania tego typu technik.

Warto podkreślić, że – na co zwraca uwagę np. metaanaliza przeprowadzona przez Fischer, Moellera, Bientzle, Cress i Nuerka (2011) – skuteczność komputerowych gier zależy od szeregu czynników, jak również bardzo trudno jest porównywać wyniki poszczególnych badań ze sobą. W przypadku gier matematycznych (choć zarzut ten może dotyczyć metodologii badań z użyciem gier kształtujących i inne umiejętności), wynika to z różnorodności rodzajów treningu, metod pomiaru umiejętności stosowanych w celu oceny skuteczności treningu oraz luk metodologicznych, takich jak np. brak zastosowania treningu kontrolnego (gry kontrolnej) lub odpowiednio dobranej grupy kontrolnej (bez treningu) w niektórych projektach badawczych.

W literaturze naukowej nierzadko można spotkać się z krytyczną (lub co najmniej ostrożną) oceną skuteczności komputerowych metod treningowych. Mimo że wyniki poszczególnych badań wielokrotnie pokazały skuteczność komputerowych metod treningu poznawczego, to wnioski wyciągane na podstawie meta-analiz nie zawsze odnoszą się wyłącznie do korzyści wynikających ze stosowania tego typu metod. Po pierwsze, nie wszystkie gry w równym stopniu wpływają na poznanie, np. gry akcji zdecydowanie wpływają na zasoby uwagowe oraz poznanie przestrzenne, ale niekoniecznie na pojemność pamięci (Bediou i in., 2017). Bardzo często komputerowe treningi poznawcze mają wpływ na ogólny poziom funkcjonowania osób badanych (Toril, Reales, Ballesteros, 2014). Innym argumentem podnoszonym na niekorzyść skuteczności metod komputerowych jest fakt, że są one skuteczne przede wszystkim wtedy, gdy są wspierane innymi formami nauczania, np. pracą uczniów w grupach nad problematycznym zagadnieniem (Wouters, van Nimwegen, van Oostendorp, van der Spek, 2013). Lampit, Hallock i Valenzuela (2014) z kolei wskazują na wpływ metodologii prowadzonych badań na otrzymywane wyniki i jako wyjątkowo nieskuteczne uznają nienadzorowane treningi funkcji poznawczych w domu.

Podziękowania

Rozdział został przygotowany w ramach grantu Narodowego Centrum Nauki SONATA BIS, pt. *Kompleksowe badanie neuronalnego podłoża trudności w nauce matematyki oraz zmian behawioralnych i neuroplastycznych wywołanych treningiem zależności liczbowo przestrzennej* (umowa nr: UMO-2017/26/E/HS6/00033).

Literatura cytowana

- Antzaka, A., Lallier, M., Meyer, S., Diard, J., Carreiras, M., Valdois, S. (2017). Enhancing reading performance through action video games: The role of visual attention span. *Scientific Reports*, 7(1), 14563. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-15119-9>
- Askenazi, S., Henik, A. (2010). Attentional networks in developmental dyscalculia. *Behavioral and Brain Function*, 6, 2. <https://doi.org/10.1186/1744-9081-6-2>
- Bediou, B., Adams, D. M., Mayer, R. E., Tipton, E., Green, C. S., Bavelier, D. (2018). Meta-analysis of action video game impact on perceptual, attentional, and cognitive skills. *Psychological Bulletin*, 144(1), 77–110. <https://doi.org/10.1037/bul0000130>
- Boyle, E. A., Connolly, T. M., Hainey, T. (2011). The role of psychology in understanding the impact of computer games. *Entertainment Computing*, 2(2), 69–74. <https://doi.org/10.1016/j.entcom.2010.12.002>
- Cagiltay, N. E., Ozcelik, E., Ozcelik, N. S. (2015). The effect of competition on learning in games. *Computers & Education*, 87, 35–41. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.04.001>
- Cameron, B., Dwyer, F. (2005). The effect of online gaming, cognition and feedback type in facilitating delayed achievement of different learning objectives. *Journal of Interactive Learning Research*, 16(3), 243–258.
- Castellar, E. N., All, A., de Marez, L., Van Looy, J. (2015). Cognitive abilities, digital games and arithmetic performance enhancement: A study comparing the effects of a math game and paper exercises. *Computers & Education*, 85, 123–133. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2014.12.021>
- Chinn, S., Ashcroft, R. E. (red.). (2006). *Mathematics for dyslexics: Including dyscalculia*. Nowy Jork: John Wiley & Sons.
- Chooi, W.-T., Thompson, L. (2012). Working memory training does not improve intelligence in healthy young adults. *Intelligence*, 40(6), 531–542. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2012.07.004>
- Cipora, K., Szczygieł, M. (2013). Wyścig liczb – *The number race* – polska wersja językowa narzędzia wczesnej interwencji w przypadku ryzyka dyskalkulii rozwojowej

- oraz wspomagania rozwoju kompetencji arytmetycznych. *Psychologia – Etologia – Genetyka*, 27, 71–85.
- Dobrowolski, P., Hanusz, K., Sobczyk, B., Skorko, M., Wiatrow, A. (2015). Cognitive enhancement in video game players: The role of video game genre. *Computers in Human Behavior*, 44, 59–63. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.11.051>
- Fischer, U., Moeller, K., Bientzle, M., Cress, U., Nuerk, H.-C. (2011). Sensori-motor spatial training of number magnitude representation. *Psychonomic Bulletin and Review*, 18(1), 177–183. <https://doi.org/10.3758/s13423-010-0031-3>
- Franceschini, S., Bertoni, S. (2019). Improving action video games abilities increases the phonological decoding speed and phonological short-term memory in children with developmental dyslexia. *Neuropsychologia*, 130, 100–106. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2018.10.023>
- Franceschini, S., Gori, S., Tait, M., Casagrande, E., Robino, C., De’Sperati, C., Facoetti, A. (2016). Action video games improve math abilities in children with developmental dyscalculia. *Journal of Vision*, 16(12), 1278. <https://doi.org/10.1167/16.12.1278>
- Franceschini, S., Trevisan, P., Ronconi, L., Bertoni, S., Colmar, S., Double, K., ..., Gori, S. (2017). Action video games improve reading abilities and visual-to-auditory attentional shifting in English-speaking children with dyslexia. *Scientific Reports*, 7(1), 5863. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-05826-8>
- Green, C. S., Bavelier, D. (2003). Action video game modifies visual selective attention. *Nature*, 423(6939), 534–537. <https://doi.org/10.1038/nature01647>
- Green, C. S., Bavelier, D. (2006). Effect of action video games on the spatial distribution of visuospatial attention. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 32(6), 1465–1478. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.32.6.1465>
- Green, C. S., Bavelier, D. (2012). Learning, attentional control, and action video games. *Current Biology*, 22(6), R197–206. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2012.02.012>
- Hwa, S. P. (2018). Pedagogical change in mathematics learning: Harnessing the power of digital game-based learning. *Journal of Educational Technology & Society*, 21(4), 259–276.
- Griffin, S. A. (2004). Building number sense with Number Worlds: A mathematics program for young children. *Early Childhood Research Quarterly*, 19(1), 173–180. <https://doi.org/10.1016/j.ecresq.2004.01.012>
- Gut, M., Matulewski, J., Mańkowska, K., Goraczewski, Ł., Finc, K. (2019). *Move your body and learn math! The effect of motor involvement in computer cognitive training on basic mathematical abilities in case of primary school children*. Poster na 21st Conference of the European Society for Cognitive Psychology, Teneryfa, Hiszpania.
- Irons, J. L., Remington, R. W., McLean, J. P. (2011). Not so fast: Rethinking the effects of action video games on attentional capacity. *Australian Journal of Psychology*, 63(4), 224–231. <https://doi.org/10.1111/j.1742-9536.2011.00001.x>

- Johann, V. E., Karbach, J. (2018). Validation of new online game-based executive function tasks for children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 176, 150–161. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2018.07.009>
- Lampit, A., Hallock, H., Valenzuela, M. (2014). Computerized cognitive training in cognitively healthy older adults: A systematic review and meta-analysis of effect modifiers. *PLoS Medicine*, 11(11), e1001756. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1001756>
- Libertus, M. E., Liu, A., Pikul, O., Jacques, T., Cardoso-Leite, P., Halberda, J., Bavelier, D. (2017). The impact of action video game training on mathematical abilities in adults. *AERA Open*, 3(4), 1–13. <https://doi.org/10.1177/2332858417740857>
- Klingberg, T., Fernell, E., Olesen, P., Johnson, M., Gustafsson, P., Dahlstrom, K., ..., Westerberg, H. (2005). Computerized training of working memory in children with ADHD – A randomized, controlled, trial. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 44(2), 177–186. <https://doi.org/10.1097/00004583-200502000-00010>
- Klinberg, T., Forssberg, H., Westerberg, H. (2002). Training of working memory in children with ADHD. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 24(6), 781–791. <https://doi.org/10.1076/jcen.24.6.781.8395>
- Kowalczyk, N., Brzezicka, A. (2020). Gry wideo a zmiany strukturalne mózgu. *Kosmos. Problemy Nauk Biologicznych*, 69(1), 233–241.
- Kucian, K., Grond, U., Rotzer, S., Henzi, B., Schönmann, C., Plangger, F., ..., von Aster, M. G. (2011). Mental number line training in children with developmental dyscalculia. *Neuroimage*, 57(3), 782–795. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.01.070>
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex „frontal lobe” tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41(1), 49–100. <https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734>
- Moeller K., Fischer, U., Nuerk, H.-C., Cress, U. (2015). Computers in mathematics education – Training the mental number line. *Computers in Human Behavior*, 48, 597–607. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.01.048>
- Montani, V., De Filippo De Grazia, M., Zorzi, M. (2014). A new adaptive videogame for training attention and executive functions: Design principles and initial validation. *Frontiers in Psychology*, 5, 409. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00409>
- Moradi, R. (2017). The effect of educational computer games on learning of mathematics concepts among students with autism spectrum disorder. *Journal of Fundamentals of Mental Health*, 19(2), 90–95.
- Murphy, K. (2009). Playing video games does not make for better visual attention skills. *Journal of Articles in Support of the Null Hypothesis*, 6(1), 1–20.
- Nagle, A., Riener, R., Wolf, P. (2018). Personality-based reward contingency selection: A player-centered approach to gameplay customization in a serious game for

- cognitive training. *Entertainment Computing*, 28, 70–77. <https://doi.org/10.1016/j.entcom.2017.10.005>
- Plass, J. L., Homer, B. D., Pawar, S., Brenner, C., MacNamara, A. P. (2019). The effect of adaptive difficulty adjustment on the effectiveness of a game to develop executive function skills for learners of different ages. *Cognitive Development*, 49, 56–67. <https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2018.11.006>
- Räsänen, P., Salminen, J., Wilson, A., Aunio, P., Dehaene, S. (2009). Computer-assisted intervention for children with low numeracy skills. *Cognitive Development*, 24(4), 450–472. <https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2009.09.003>
- Redick, T. S., Shipstead, Z., Harrison, T. L., Hicks, K. L., Fried, D. E., Hambrick, D. Z., ..., Engle, R. W. (2013). No evidence of intelligence improvement after working memory training: A randomized, placebo-controlled study. *Journal of Experimental Psychology. General*, 142(2), 359–379. <https://doi.org/10.1037/a0029082>
- Rello, L., Bayarri, C., Otal, Y., Pielot, M. (2014). A computer-based method to improve the spelling of children with dyslexia. *Proceedings of the 16th International ACM SIGACCESS Conference on Computers & Accessibility*, 153–160. Nowy Jork: ACM. <https://doi.org/10.1145/2661334.2661373>
- Sella, F., Tressoldi, P., Lucangeli, D., Zorzi, M. (2016). Training numerical skills with the adaptive video game „The Number Race”. A randomized controlled trial on preschoolers. *Trends in Neuroscience and Education*, 5, 20–29. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2016.02.002>
- Toril, P., Reales, J. M., Ballesteros, S. (2014). Video game training enhances cognition of older adults: A meta-analytic study. *Psychology and Aging*, 29(3), 706–716. <https://doi.org/10.1037/a0037507>
- Vernadakis, N., Avgerinos, A., Tsitskari, E., Zachopoulou, E. (2005). The use of computer assisted instruction in preschool education: Making teaching meaningful. *Early Child Education Journal*, 33(2), 99–104. <https://doi.org/10.1007/s10643-005-0026-2>
- Wilson, A. J., Dehaene, S., Dubois, O., Fayol, M. (2009). Effects of an adaptive game intervention on accessing number sense in low-socioeconomic-status kindergarten children. *Mind, Brain, and Education*, 3(4), 224–234. <https://doi.org/10.1111/j.1751-228X.2009.01075.x>
- Wilson, A. J., Dehaene, S., Pinel, P., Revkin, S. K., Cohen, L., Cohen, D. (2006). Principles underlying the design of „The Number Race”, an adaptive computer game for remediation of dyscalculia. *Behavioral and Brain Functions*, 2, 19. <https://doi.org/10.1186/1744-9081-2-19>
- Wilson, A. J., Revkin, S. K., Cohen, D., Cohen, L., Dehaene, S. (2006). An open trial assessment of „The Number Race”, an adaptive computer game for remediation of dyscalculia. *Behavioral and Brain Functions*, 2, 20. <https://doi.org/10.1186/1744-9081-2-20>

- Wouters, P., van Nimwegen, C., van Oostendorp, H., van der Spek, E. D. (2013). A meta-analysis of the cognitive and motivational effects of serious games. *Journal of Educational Psychology*, 105(2), 249–265. <https://doi.org/10.1037/a0031311>
- Zarzycka-Piskorz, E. (2016). Kahoot it or not? Can games be motivating in learning grammar? *Teaching English with Technology*, 16(3), 17–36.

KAMILA ŁASZEWSKA

Instytut Psychologii, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

**Odpowiednie światło w odpowiednim miejscu
o odpowiedniej porze.
Wyzwania związane z prozdrowotnym oświetleniem**

Sposób cytowania: Łaszewska, K. (2020). Odpowiednie światło w odpowiednim miejscu o odpowiedniej porze. Wyzwania związane z prozdrowotnym oświetleniem. W: M. Trojan, M. Gut (red.), *Nowe technologie i metody w psychologii* (s. 99–115). Warszawa: Liberi Libri. <https://doi.org/10.47943/lib.9788363487430.rozdzial04>

Dostępność elektrycznego oświetlenia zmieniła życie ludzi na całym świecie. Jednak wpływ światła stał się obiektem wnikliwych badań dopiero na przestrzeni ostatnich lat. Warto zrozumieć, dlaczego badania nad oddziaływaniem światła zostały w ogóle podjęte. Do progu XXI wieku dotyczyły one ergonomii widzenia oraz wpływu na środowisko. Przełom przyszedł wraz z odkryciem światłoczułych komórek zwojowych (*intrinsically photosensitive retinal ganglion cells*, ipRGCs; Berson, Dunn, Takao, 2002; Hattar, Liao, Takao, Berson, Yau, 2002), kiedy to okazało się, że oko pełni podwójną funkcję: poza tą związaną ze zdolnością widzenia, uczestniczy także w kontroli wielu behawioralnych i fizjologicznych czynności. Ten tzw. niewzrokowy układ fotodetekcji obejmuje oddziaływanie światła na szereg fizjologicznych procesów, takich jak m.in. synchronizacja rytmów okołodobowych, wydzielanie hormonów (np. melatoniny), redukcja wolnofalowej aktywności podczas snu, ekspresja genów, regulacja temperatury ciała (Brainard i in., 2001; Cajochen i in., 2005; Chellappa i in., 2011; Dijk, Lockley, 2002; Lockley, Brainard, Czeisler, 2003; Lockley, Gooley, 2006). Związany jest jednak też z wpływem na procesy mentalne i obejmuje np. wzrost poziomu czujności i poprawę funkcji poznawczych. Jak dynamiczny jest rozwój badań nad światłem, ilustruje fakt, że dziś staje się już realne to, co jeszcze w 2004 r. redaktor *Lighting Research & Technology* Peter Boyce przewidywał na temat ich przyszłości (Boyce, 2004). Nastąpiło bowiem przesunięcie zainteresowania z zagadnień związanych z widocznością i wizualnym komfortem do tematów poruszających wpływ światła na funkcje psychofizjologiczne, nastrój, zachowanie, zdrowie i wykonywanie zadań.

Zanieczyszczenie światłem

Życie na Ziemi podlega rytmowi światło-ciemność. Rośliny i zwierzęta wyposażone są w zegar biologiczny generujący okołodobowe rytmy wspomnianych procesów fizjologicznych, które dostrajają się do rytmów obecnych w środowisku (Ganong, 1994). Charakterystykę bliską 24-godzinnemu cyklowi wykazuje m.in. rytm syntezy hormonów, rytm sen-czuwanie czy zmiany poziomu temperatury głębokiej. Jak ważne są to procesy, potwierdza fakt, że w 2017 r. nagrodę Nobla z medycyny i fizjologii roku otrzymali autorzy badań nad molekularnym mechanizmem kontrolującym rytmy okołodobowe: Jeffrey C. Hall, Michael Rosbash i Michael W. Young (<https://www.nobelprize.org/prizes/medicine/2017/press-release>). Rytmy biologiczne organizmu podlegają

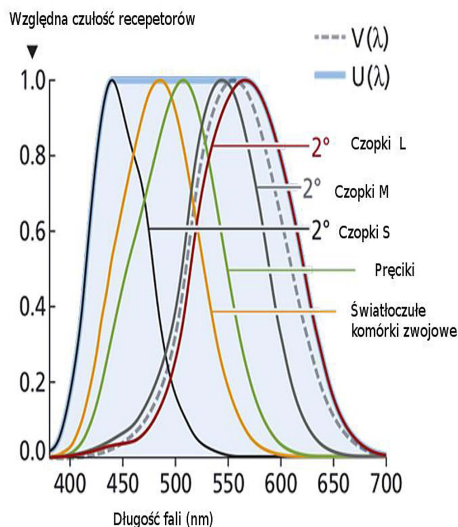
wpływowi zewnętrznych czynników, spośród których najsilniejszym jest naturalny cykl światło-ciemność. Ich synchroniczne działanie niezbędne jest do sprawnego funkcjonowania organizmu. Bodziec świetlny wzbudza niewzrokową odpowiedź, której charakterystyka różni się od wzrokowej odpowiedzi. Światłoczułe komórki zwojowe rozpoznają poziom oświetlenia, są bowiem wrażliwe na irradiancję (czyli moc promieniowania przypadającą na jednostkę powierzchni). Kierują reakcjami organizmu na światło, włączając synchronizację zegara biologicznego z cyklem światło-ciemność, kontrolę rozmiaru źrenic, zachowania lokomocyjnego, wydzielania melatoniny i inne niewzrokowe reakcje na światło (Graham i in., 2008). Do tej odpowiedzi światłoczułych komórek zwojowych dochodzi informacja z pręcików i czopków, z którymi mają one niebezpośrednie połączenia.

Spektrum absorpcyjne niewzrokowego układu fotodetekcji jest znacznie węższe niż układu wzrokowego i przesunięte w kierunku krótkich fal światła (~480 nm: 482–484 nm) (Brainard i in., 2001; Cajochen i in., 2006; Cajochen i in., 2005; Lockley i in., 2003; Lockley, Gooley, 2006), co zilustrowano na rysunku 1. Oznacza to, że niewzrokowa odpowiedź następuje w odpowiedzi na światło widziane jako niebieskie. Wzrastająca obecnie zależność człowieka od sztucznego oświetlenia zmienia zatem wspomniane rytmy. Dlaczego badania w zakresie oddziaływania sztucznego oświetlenia są tak ważne?

Jedną z najpoważniejszych form następstw urbanizacji, która zaburza naturalny ekosystem, jest zjawisko „zanieczyszczenia światłem”. Definiowane jest jako nadmierne i nieodpowiednie używanie światła sztucznego, np. w warunkach, które powinny być naturalnie ciemne (Verheijen, 1985). Jego głównymi przyczynami są uliczne światła oraz ogromne reflektory budynków (Walker, 1977). Niesie ono ze sobą szereg poważnych zagrożeń. Wzrost jasności nocnego nieba zmniejsza widoczność obiektów astronomicznych, co utrudnia bądź uniemożliwia obserwacje astronomiczne (Faid, Shariff, Hamidi, 2019). Ponadto zbyt jasne bądź nieodpowiednio skierowane światło wiąże się z dużymi stratami energii, a wywołując zjawisko olśnienia, prowadzi do słabszej widoczności, powodując zagrożenia w ruchu drogowym. Wreszcie zakłóca naturalny przebieg rytmów okołodobowych żywych organizmów, w tym człowieka (Azman, Dalimin, Mohamed, Abu Bakar, 2019). Otóż zarówno światło, jak i ciemność są konieczne dla funkcjonowania systemów biologicznych. Zmiana naturalnego cyklu dobowego negatywnie wpływa na istotne zachowania i procesy organizmów żywych, w tym człowieka. Obserwacje ostatnich dekad wskazują, że nie tylko w niedostatecznym stopniu doświadczamy ciemności,

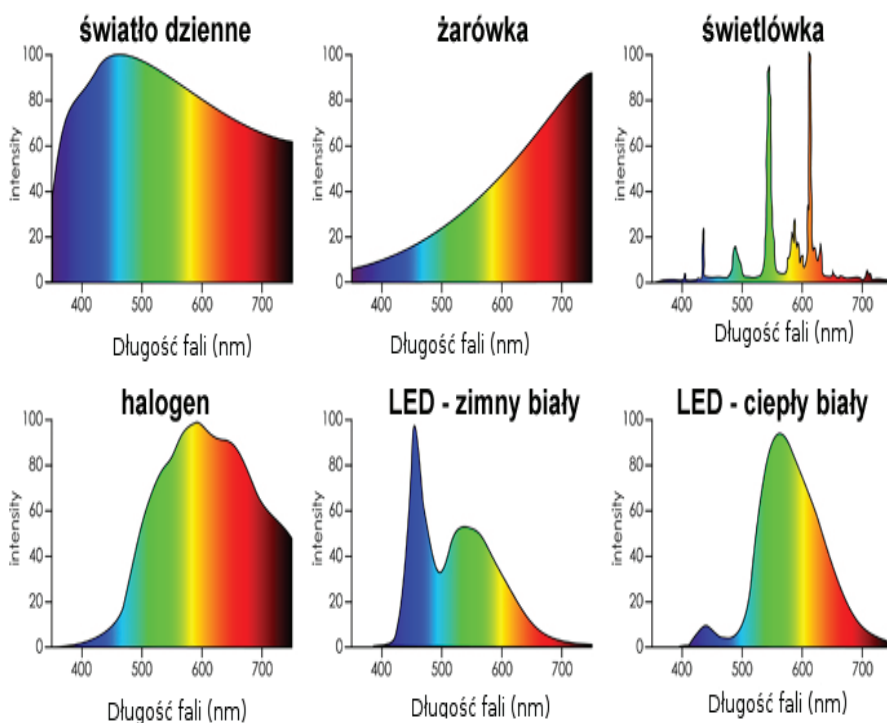
ale i nie jesteśmy eksponowani na wystarczającą „ilość” naturalnego światła o spektrum odpowiednim dla właściwego działania rytmów okołodobowych. Jesteśmy za to nadmiernie „bombardowani” wysokimi natężeniami światła sztucznego, które różni się ilościowo i jakościowo od światła dziennego (rysunek 1). Przez ponad stulecie w powszechnym użyciu były lampy żarowe (*incandescent lamps*). Miały liczne zalety: niskie koszty produkcji i użytkowania, łatwość przyciemniania, a przede wszystkim ciągłe spektrum, które zawierało wszystkie długości fal światła naturalnego (rysunek 2). Ich wadą było jednak przyczynianie się, poprzez ich użytkowanie, do globalnego ocieplenia ze względu na wysoką konsumpcję energii. W samym 2005 r. stanowiła ona aż 22% całkowitego zużycia energii elektrycznej (FrondeL, Lohman, 2011). Unia Europejska zaleciła w związku z tym wycofywanie lamp żarowych z produkcji i użycia. Jako zamienniki wprowadzono dwa rodzaje lamp: kompaktową lampę fluorescencyjną (światłówka kompaktowa, *compact fluorescent lamps*, CFL) oraz diodę elektroluminescencyjną (dioda świecąca/dioda emitująca światło, *light-emitting diode*, LED). Charakterystyka tych lamp stoi jednak w konflikcie z zasadami koncepcji *Human Centric Lighting* (HCL). Spektrum światła emitowanego przez światłówki i lampy LED nie jest tak bliskie światłu naturalnemu, jak to w lampach żarowych, zawiera bowiem więcej fal krótkich niż naturalne światło. Ponadto światłówki kompaktowe zawierają toksyczne substancje, emitują fale w zakresie UV (Wagner, 2011) oraz produkują migotania o częstotliwości 100–120 Hz, które wywołują bóle głowy i męczliwość wzroku (Wilkins, Nimmo-Smith, Slater, Bedocs, 1989). Lampy LED, mimo że wydają się bardziej obiecujące, ponieważ pozbawione są wad światłówek, mają także swoje ograniczenia. Niektóre z nich zawierają metale ciężkie oraz trucizny, takie jak arszenik (Behar-Cohen i in., 2011). Słabej jakości lampy LED mogą także generować migotania i wywoływać efekty stroboskopowe (Perz, Sekulowski, Vogels, Heynderickx, 2018). W związku z pewnym ryzykiem zagrożenia dla żywych istot, jakie niosą zarówno lampy kompaktowe, jak i lampy LED, istnieje potrzeba stworzenia biologicznie przyjaznych form energooszczędnego oświetlenia. Problem ten jest na tyle poważny, że coraz więcej aktywności zostaje przeniesionych do przestrzeni w pełni oświetlonych lub doświetlonych sztucznym światłem, np. miejsca pracy, zakupy w centrach handlowych, zwłaszcza w sezonie jesienno-zimowym. Ponadto człowiek jest otoczony urządzeniami emitującymi światło monochromatyczne LED, np. z urządzeń codziennego użytku, takich jak smartfony, komputery, diody w urządzeniach AGD itd., na które jesteśmy eksponowani nie tylko w ciągu

dnia, ale i nocą (Łaszewska, 2014). Tym samym dostarczamy sobie światło o nieodpowiednim spektrum i o nieodpowiedniej porze. Naturalna równowaga wynikająca z przebiegu naszych rytmów biologicznych została zachwiana. Ma to swoje konsekwencje – m.in. problemy ze snem, koncentracją i gorsze samopoczucie.



Rysunek 1. Widma względnej absorpcji światła pięciu fotoreceptorów w siatkówce człowieka.
Zaadaptowane za zgodą właściciela.

Adnotacja. nm – nanometry; $V(\lambda)$ – funkcja względnej czułości widmowej dla widzenia fotopowego, obecnie używana do definicji lumenu; $U(\lambda)$ – uniwersalna funkcja czułości świetlnej zaproponowana jako zastąpienie (Rea, Freyssinier, 2016).



Rysunek 2. Spektra między nowoczesnymi źródłami światła sztucznego a stale zmieniającym się światłem naturalnym. Tłumaczenie własne (Trykowska, 2018). Zaadaptowane za zgodą właściciela.

Koncepcja Human Centric Lighting

Odpowiedzią na te problemy jest wciąż formułująca się koncepcja prozdrowotnego oświetlenia pomieszczeń, zorientowana na wspieranie dobrostanu człowieka (Juslen, 2016). Problem ten został podjęty przez Komisję Europejską, która powołała w tym celu projekt SSL-erate (*Solid State Lighting*), realizowany w latach 2013–2016. Obok szeregu działań zmierzających do wprowadzania innowacyjnego, prozdrowotnego oświetlenia, efektem tej pracy jest platforma internetowa innowacji naukowych dotyczących tej kwestii (<http://ssl-erate.eu>; <http://lightingforpeople.eu>) oraz sformułowanie zaleceń dla projektantów instalacji. Koncepcja HCL polega na wykorzystaniu takich systemów

oświetlenia, które są sterowalne i naśladują naturalne światło dzienne. Jedno z podstawowych założeń to maksymalne wykorzystanie światła dziennego w miejscach, w których go brakuje oraz uzupełnianie sztucznym światłem, imitującym naturalne światło słoneczne.

Próbuje się to osiągnąć poprzez przyciemnianie oraz zmiany temperatury barwowej źródeł oświetlenia tak, by stworzyć w ciągu dnia odpowiednie poziomy irradiancji i spektrum naturalnego światła. Rekomenduje się więc w ten sposób stosowanie oświetlenia adekwatnego do przebiegu rytmu dobowego sen-czuwanie, a ściślej:

- podczas dnia: stosowanie większej „ilości” światła widzianego jako niebieskie, co umożliwia sekrecję neurotransmiterów: serotoniny i dopaminy oraz hormonu kortyzolu;
- wczesnym popołudniem: ekspozycję na zimne światło o temperaturze barwowej poniżej 3000 K z możliwie najmniejszą ilością światła widzianego jako niebieskie (krótkofalowe) w stosowanym spektrum (Zielińska-Dąbkowska, 2019) na rzecz przyciemnionych, cieplejszych czerwonych barw, tak by melatonina mogła się wydzielać, wspierając zasypianie;
- nocą: ograniczenie światła do niezbędnego minimum, z zastosowaniem jedynie barw ze spektrum fal dłuższych niż 600 nm (amber, czerwony kolor), by mógł zająć proces odnowy komórkowej. Światło powinno być emitowane z opraw niebezpośrednio, a te umieszczone na jak najniższej wysokości. Pozbawione też powinno być migotań, możliwe do ściemniania, aż do całkowitej redukcji, a jego spektrum powinno być ciągłe (Zielińska-Dąbkowska, 2019).

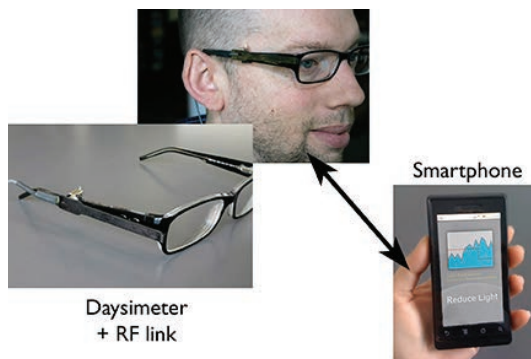
Stosowanie koncepcji HCL. Zastosowanie założeń koncepcji HCL jest jednak złożone. Według raportu SSL, wykraczają one znacznie poza obowiązujące dziś zapisy. Ponadto trzeba pamiętać, że wspomniane pozawzrokowe efekty światła zależą nie tylko od spektrum, natężenia światła, pory ekspozycji, ale i historii ekspozycji na światło oraz minionego rytmu snu-czuwania danej osoby. Stąd optymalizacja powyżej opisanego rozwiązania jest możliwa tylko pod warunkiem, że zostanie dopasowana do użytkownika.

Trzeba do tego jeszcze dodać problem oświetlenia emitowanego z urządzeń z ekranami podświetlanymi lampami LED, takich jak telefony komórkowe, komputery, tablety, czytniki i telewizory (Chang, Aeschbach, Duffy, Czeisler, 2014). Rzecz w tym, że aby możliwe było oddanie wrażenia barwy białej (nie-

możliwej do uzyskania za pomocą monochromatycznych lamp LED), stosuje się chłodne światło widziane jako niebieskie, co w efekcie daje w emitowanym spektrum duże dawki światła krótkofalowego. Problem ten ma miejsce także w przypadku używania okularów Google Glass, w których źródło światła jest umieszczone zaraz przy gałce ocznej, oraz w przypadku fleszy aparatów fotograficznych smartfonów.

Umożliwienie każdej osobie ekspozycji na odpowiednie światło o odpowiedniej porze stanowi duże wyzwanie. Godne uwagi rozwiązanie wypracował zespół z Lighting Research Centre z Rensselaer Polytechnic w Troy. Jedną z ich interesujących propozycji jest *Circadian Stimulus Calculator*, czyli kalkulator pomagający projektantom wybrać odpowiednie źródła oświetlenia oraz obliczyć poziomy emitowanego światła, które będzie w efektywny sposób wspierać optymalny przebieg rytmów okołodobowych (<https://www.lrc.rpi.edu/cscalcuator>).

Innym wartościowym narzędziem jest *Daysimeter* (Bierman, Klein, Rea, 2005). Jego prototyp (rysunek 3) posiada wykalibrowany detektor światła i aktywności, który w trybie ciągłym zapisuje i przechowuje dane (Figueiro, Hamner, Bierman, Rea, 2013). Następnie komunikuje się z systemem kontroli oświetlenia w budynku, aby dostarczyć wymagane oszacowane ilości światła. Jest to jednak dopiero początek generowania rozwiązań.



Rysunek 3. *Daysimeter* (Figueiro, Hamner, Bierman, Rea, 2013). Zaadaptowane za zgodą właściciela.

Podnoszony jest także aspekt wpływu światła krótkofalowego *per se* na zdrowie. Badania na zwierzętach pokazują jego szkodliwy wpływ na funkcjonowanie oczu (Rukmini i in., 2015; Seiler i in., 2000; Tosini, Ferguson, Tsubota, 2016). Zaobserwowano uszkodzenia nabłonka barwnikowego siatkówki po

12-godzinnej ekspozycji na światło krótkofalowe (Zhou, Xie, Lei, Ji, Yang, 2018). Znany jest także mechanizm degeneracji plamki żółtej pod wpływem ekspozycji na fale z tego zakresu, w której zmiany przypominają te, do których dochodzi w procesie starzenia się (Ratnayake, Payton, Lakmal, Karunarathn, 2018). Otóż ekspozycja skóry, nawet krótka, na światło emitowane z urządzeń podświetlanych lampami LED może powodować wzrost produkcji reaktywnych form tlenu. Proces starzenia się jest natomiast powiązany ze zjawiskiem stresu oksydacyjnego (Arjmandi, Mortazavi, Zarei, Faraz, Mortazavi, 2018).

Zastosowanie HCL. Koncepcja HCL może być stosowana w szeregu obszarów życia codziennego, m.in. w edukacji, projektowaniu miejsc pracy, domów i miejsc odpoczynku, a także w służbie zdrowia i planowaniu systemów oświetlenia miast (Cupkova i in., 2019). Jakkolwiek obszary jej zastosowania są bardzo obiecujące i pozostają wciąż w obszarze planów wdrażania, to niezbędne jest uzupełnienie wiedzy w zakresie wykorzystania odpowiedniego światła sztucznego. W oparciu o ograniczenia obecnie dostępnych technologii prowadzone są prace nad stworzeniem takiego źródła światła, które byłoby prozdrowotne, ale równocześnie korzystne ze względów wizualnych i wykonywania przy nim codziennych czynności.

Wraz z wiekiem coraz mniej światła dociera do tylnej części oka, gdzie sygnały świetlne są przetwarzane. Dlatego osoby starsze potrzebują więcej światła, by utrzymać na optymalnym poziomie wzrokowe, percepcyjne i biologiczne reakcje. Obliczono, że z tego samego źródła światła do siatkówki osoby 60-letniej dociera tylko 30–40% ilości światła docierającego do siatkówki 20-latka (Figueiro, 2008). Światło u osób starszych ma szczególne znaczenie w przypadku szeregu aspektów funkcjonowania: efektywnego wykonywania codziennych czynności, koordynacji ruchowej w prewencji przed upadkami, poprawie jakości snu, obniżaniu poziomu senności i zmęczenia, poprawie funkcji poznawczych, zapobieganiu pojawianiu się agresji oraz w regulacji pobudzenia i nastroju. Odgrywa ono też kluczową rolę we wsparciu zaburzonej – w związku ze zmianami przychodzącymi wraz z wiekiem – synchronizacji rytmu biologicznego z 24-godzinnyim dniem solarnym, czyli utrzymywaniu regularności rytmu sen-czuwanie (Łaszewska, 2017). Znaczenie rytmów okołodobowych w funkcjonowaniu osób starszych zostało udowodnione w trzy-letnim badaniu podłużnym, w którym wykazano ujemny związek między dostępnością do naturalnego światła a nocną aktywnością motoryczną (Wahnschaffe i in., 2017). Dlatego, korzystając z możliwości, jakie daje sterowanie

sztucznym oświetleniem, osobom starszym proponuje się schematy świetlne (*lighting scheme*) wbudowane w pomieszczenia przez nie zamieszkane (np. domy seniora). Parametry oświetlenia, zgodnie z zasadami koncepcji HCL, są tak dobierane, by wspierać wysoką stymulację aktywności w ciągu dnia i niską nocą. W nocy stosuje się w związku z tym tzw. „świetlne wskazówki”, które umożliwiają nocną aktywność (np. lampy o niskim natężeniu światła długofalowego prowadzące do toalety) (Figueiro, 2008), co przedstawiono na rysunku 4. Stosuje się też specjalnie zaprojektowane oprawy oświetleniowe, którymi sterować mogą opiekunowie osób starszych, zgodnie z opracowanymi schematami dziennymi, popołudniowymi oraz nocnymi. Dla osób z demencją, u których poważnym problemem jest rozregulowany rytm sen-czuwanie, podwyższony poziom agitacji oraz depresji (Yaffe, Falvey, Hoang, 2014), wyzwanie stanowi sposób dostarczania sztucznego światła. Praktycznym rozwiązaniem dla nich jest propozycja specjalnie zaprojektowanego stołu (rysunek 5) przeznaczonego dla osób, które mieszkają w domach opieki, emitującego światło o odpowiednich parametrach (Figueiro, Plitnick, Rea, 2016). Jak istotnym jest wpływ otaczającego nas światła, potwierdzają m.in. ostatnie badania, wskazujące, że wywołuje ono zmiany neuroplastyczne w obrębie struktur hipokampa (Soler, Robison, Núñez, Yan, 2018). To może stanowić punkt wyjścia dla badań nad włączeniem światła do efektywnego zapobiegania i leczenia zaburzeń poznawczych. Wdrożenie w odpowiednich instytucjach prozdrowotnego działania sztucznego oświetlenia w opiece nad osobami starszymi będzie jednak możliwe dopiero po opracowaniu nowego źródła takiego oświetlenia, co jest przedmiotem prac Łaszewskiej i współpracowników. Musi ono uwzględniać ograniczenia obecnie stosowanych źródeł światła oraz możliwie najdokładniej odzwierciedlać spektrum światła naturalnego.



*Rysunek 4. Świetlna „wskazówka” przy wejściu do toalety jako element *lighting scheme* dla osób starszych (Figueiro, 2008). Zaadaptowane za zgodą właściciela.*



Rysunek 5. Stół emitujący światło i Mariana Figueiro. Wykorzystany został telewizor podświetlany lampami LED wbudowany w ramę stołu (Figueiro i in., 2015). Zaadaptowane za zgodą właściciela.

Przyszłość badań nad światłem

Po latach od wspomnianego wcześniej wniosku Petera Boyce'a o kierunku rozwoju badań nad światłem obecnie największy potencjał widzi on w badaniach nad współdziałaniem człowieka z oświetleniem w zakresie zdrowia i bezpieczeństwa (Boyce, 2018, doniesienie ustne, Society of Light and Lighting LR&T Symposium). Odwołując się do jednej z naczelnych zasad etyki w medycynie, *primum non nocere*, niezbędne jest, by – zanim entuzjastycznie zacznie się wprowadzać zalecenia prozdrowotne oświetlenia – uzupełnić wiedzę w tym obszarze, a następnie ustalić adekwatne do nich standardy. Niemiecka Komisja Arbeitsschutz und Normung (KAN) wskazuje bowiem na poważne wątpliwości i ograniczenia dotyczące wdrażania do praktyki obecnych ustaleń (Kommission Arbeitsschutz und Normung, 2017). Uważa się, że rozwinięcie koncepcji HCL dopiero wtedy będzie możliwe, gdy będzie znana charakterystyka oddziaływania światła na psychofizjologię człowieka w trakcie dnia, jak i w nocy (Zielińska-Dąbkowska, 2019). Co więcej, wciąż zbyt mało wiadomo na temat powiązania między bodźcem świetlnym a pozawzrokową odpowiedzią. Jeśli chodzi o dalsze kierunki badań, dotyczą one szeregu zagadnień. I tak na przykład nie została poznana właściwa liczba i lokalizacja ipRGCs. Wiadomo, że krótkofalowe światło wywołuje pobudzający efekt, jednak okazuje się, że długofalowe światło podane nocą także wywołuje pobudzenie (Figueiro, Bierman, Plitnick, Rea, 2009). W ciągu dnia natomiast efekty są zależne od pory (Łaszewska i in., 2017; Sahin, Figueiro, 2013) i natężenia światła (Łaszewska, Goroncy, Weber, Pracki, Tafil-Klawe, 2018). Można więc wnioskować o istnieniu różnych mechanizmów wywoływania odpowiedzi niewzrokowej. Istnieje zatem potrzeba poznania następstw ekspozycji na światło w zależności od dokładnego spektrum światła, czasu trwania ekspozycji i jej pory. Nie opisano jednak dobrze długoterminowych efektów krótkiej ekspozycji, zarówno na krótko-, jak i długofalowe światło (Cajochen, 2007).

Mimo wiedzy, że światło istotnie wpływa na ludzi, widoczna jest wyraźna potrzeba dalszych badań nad tym, jak oddziałuje ono w różnych grupach wiekowych oraz jak różny jest ten wpływ zależnie od chronotypu. Natomiast gdy chodzi o efekty uboczne, to znana jest jedynie hiperaktywność przy nieodpowiedniej aplikacji fototerapii. Czy są jeszcze inne jej efekty? Wreszcie istnieje potrzeba wdrażania nowych technologii, odpowiednich systemów oświetleniowych, w przypadku gdy ograniczeniu ulega liczba tętnień światła emitowanych przez lampy.

Choć wiele zagadnień jest jeszcze niezbadanych, to każdy z nas już teraz może odpowiednio korzystać z oświetlenia. Wielu ogólnych zasad koncepcji HCL można przestrzegać w codziennym życiu. Warto pamiętać, by spać w kompletnej ciemności i spędzać przynajmniej jedną godzinę każdego ranka w świetle naturalnym, by „nastawić” biologiczny zegar okołodobowy. Przy używaniu urządzeń podświetlanych lampami LED można stosować aplikacje z filtrem spektrum światła, przy niektórych opcja jest już w ustawieniach, ograniczać ich użycie po godzinie 21:00 do niezbędnego minimum, zwłaszcza nocą, a jeśli tak się zdarzy, to przyciemniać ekran. Ważne jest natomiast, by potem wrócić do cyklu jasnego dnia i ciemnej nocy, do którego, w procesie ewolucji, jesteśmy przystosowani.

Literatura cytowana

- Arjmandi, N., Mortazavi, G., Zarei, S., Faraz, M. Mortazavi, S. (2018). Can light emitted from smartphone screens and taking selfies cause premature aging and wrinkles? *Journal of Biomedical Physics and Engineering*, 8(4), 447–452. <https://doi.org/10.31661/jbpe.v0i0.599>
- Azman, M. I., Dalimin, M. N., Mohamed, M., Abu Bakar, M. F. A. A. (2019). Brief overview on light pollution. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 269, 012014. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/269/1/012014>
- Behar-Cohen, F., Martinsons, C., Viénot, F., Zissis, G., Barlier-Salsi, A., Cesarini, J. P., ..., Attia, D. (2011). Light-emitting diodes (LED) for domestic lighting: Any risks for the eye? *Progress in Retinal and Eye Research*, 30(4), 239–257. <https://doi.org/10.1016/j.preteyeres.2011.04.002>.
- Berson, D. M., Dunn, F. A., Takao, M. (2002). Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. *Science*, 295(5557), 1070–1073. <https://doi.org/10.1126/science.1067262>.
- Bierman, A., Klein, T. R., Rea, M. S. (2005). The Daysimeter: A device for measuring optical radiation as a stimulus for the human circadian system. *Measurement Science and Technology*, 16(11), 2292–2299. <https://doi.org/10.1088/0957-0233/16/11/023>
- Boyce, P. R. (2004). Lighting research for interiors: The beginning of the end or the end of the beginning. *Lighting Research and Technology*, 36(4), 283–294. <https://doi.org/10.1191/11477153504li118oa>
- Brainard, G. C., Hanifin, J., Greeson, J., Byrne, B., Glickman, G., Gerner, E., Rollag, M. (2001). Action spectrum for melatonin regulation in humans: Evidence

- for a novel circadian photoreceptor. *Journal of Neuroscience*, 21(16), 6405–6412. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.21-16-06405.2001>
- Cajochen, C. (2007). Alerting effects of light. *Sleep Medicine Reviews*, 11(6), 453–464. <https://doi.org/10.1016/j.smrv.2007.07.009>
- Cajochen, C., Jud, C., Münch, M., Kobińska, S., Wirz-Justice, A., Albrecht, U. (2006). Evening exposure to blue light stimulates the expression of the clock gene PER2 in humans. *European Journal of Neuroscience*, 23(4), 1082–1086. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2006.04613.x>
- Cajochen, C., Münch, M., Kobińska, S., Krauchi, K., Steiner, R., Oelhafen, P., ..., Wirz-Justice, A. (2005). High sensitivity of human melatonin, alertness, thermoregulation and heart rate to short wavelength light. *Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 90(3), 1311–1316. <https://doi.org/10.1210/jc.2004-0957>
- Chang, A. M., Aeschbach, D., Duffy, J. F., Czeisler, C. A. (2014). Evening use of light-emitting eReaders negatively affects sleep, circadian timing, and next-morning alertness. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(4), 1232–1237. <https://doi.org/10.1073/pnas.1418490112>
- Chellappa, S. L., Steiner, R., Blattner, P., Oelhafen, P., Götz, T., Cajochen, C. (2011). Non-visual effects of light on melatonin, alertness and cognitive performance: Can blue-enriched light keep us alert? *PLoS ONE*, 6(1), e16429. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0016429>
- Cupkova, D., Kajati, E., Mocnej, J., Papcun, P., Koziorek, J., Zolotova, I. (2019). Intelligent human-centric lighting for mental wellbeing improvement. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 15(9). <https://doi.org/10.1177/1550147719875878>
- Dijk, D. J., Lockley, S. W. (2002). Integration of human sleep-wake regulation and circadian rhythmicity. *Journal of Applied Physiology*, 92(2), 852–8562. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00924.2001>
- Faid, M. S., Shariff, N. N. M., Hamidi, Z. S. (2019). The risk of light pollution on sustainability. *ASM Science Journal*, 12(Special Issue 2), 134–142.
- Figueiro, M. G. (2008). A proposed 24-h lighting scheme for older adults. *Light Research and Technology*, 40(2), 153–160. <https://doi.org/10.1177/1477153507087299>
- Figueiro, M. G., Bierman, A., Plitnick, B., Rea, M. S. (2009). Preliminary evidence that both blue and red light can induce alertness at night. *BMC Neuroscience*, 10(1), 105. <https://doi.org/10.1186/1471-2202-10-105>
- Figueiro, M. G., Hamner, R., Bierman, A., Rea, M. S. (2013). Comparisons of three practical field devices used to measure personal light exposures and activity levels. *Light Research and Technology*, 45(4), 421–434. <https://doi.org/10.1177/1477153512450453>
- Figueiro, M. G., Plitnick, B., Rea, M. S. (2016). A self-luminous light table for persons with Alzheimer's disease. *Lighting Research and Technology*, 48(2), 253–259. <https://doi.org/10.1177/1477153515603881>

- FrondeL, M., Lohman, S. (2011). The European Commission's light bulb decree: Another costly regulation? *Ruhr Economic Papers*, 245. Pobrane z: http://www.rwi-essen.de/media/content/pages/publikationen/ruhr-economic-papers/REP_11_245.pdf
- Ganong, W. F. (1994). *Fizjologia: Podstawy fizjologii lekarskiej*. Warszawa: PZWL.
- Graham, D. M., Wong, K. Y., Shapiro, P., Frederick, C., Pattabiraman, K., Berson, D. M. (2008). Melanopsin ganglion cells use a membrane associated rhabdomic phototransduction cascade. *Journal of Neurophysiology*, 99(5), 2522–2532. <https://doi.org/10.1152/jn.01066.2007>
- Hattar, S., Liao, H. W., Takao, M., Berson, D. M., Yau, K. W. (2002). Melanopsin-containing retinal ganglion cells: Architecture, projections, and intrinsic photosensitivity. *Science*, 295(5557), 1065–1070. <https://doi.org/10.1126/science.1069609>
- Juslen, H. (2016). *Human Centric Lighting*. Pobrane z: https://helvar.com/wp-content/uploads/2019/01/Helvar-Human-Centric-Lighting_Whitepaper_EN.pdf
- Kommission Arbeitsschutz und Normung. (2017). *KAN position paper on artificial, biologically effective lighting and standardization*. Sankt Augustin: Association for the Promotion of Occupational Safety in Europe (VFA). Pobrane z: https://www.kan.de/fileadmin/Redaktion/Dokumente/Basisdokumente/en/Deu/KAN-Position_Lighting_2017-en.pdf
- Lockley, S. W., Brainard, G. C., Czeisler, C. A. (2003). High sensitivity of the human circadian melatonin rhythm to resetting by short wavelength light. *Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 88(9), 4502–4505. <https://doi.org/10.1210/jc.2003-030570>
- Lockley, S. W., Gooley, J. J. (2006). Circadian photoreception: Spotlight on the brain. *Current Biology*, 16(18), 795–797. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2006.08.039>
- Łaszewska, K. (2014). Zanieczyszczenie środowiska światłem jako jedna z przyczyn chorób cywilizacyjnych. Co warto wiedzieć o niewzrokowej wrażliwości na światło. W: K. Skwarło-Siońta (red.), *W krainie snu. Kosmos. Problemy nauk biologicznych* (s. 211–222). Toruń: Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Mikołaja Kopernika.
- Łaszewska, K. (2017). Znaczenie odpowiedniego źródła światła w różnych subpopulacjach. Osoby starsze. *Polish Journal for Sustainable Development*, 21(2), 83–90. <https://doi.org/10.15584/pjsd.2017.21.2.9>
- Łaszewska, K., Goroncy, A., Weber, P., Pracki, T., Tafil-Klawe, M. (2018). Influence of the spectral quality of light on daytime alertness levels in humans. *Advances in Cognitive Psychology*, 14(4), 1–17. <https://doi.org/10.5709/acp-0250-0>
- Łaszewska, K., Goroncy, A., Weber, P., Pracki, T., Tafil-Klawe, M., Pracka, D., Złomańczuk, P. (2017). Daytime acute non-visual alerting response in brain activity occurs as a result of short- and long-wavelengths of light. *Journal of Psychophysiology*, 32(4), 202–226. <https://doi.org/10.1027/0269-8803/a000199>
- Perz, M., Sekulovski, D., Vogels, I., Heynderickx, I. (2018). Stroboscopic effect: Contrast threshold function and dependence on illumination level. *Journal of the Optical*

- Society of America A – Optics Image Science Vision*, 35(2), 309–319. <https://doi.org/10.1364/JOSAA.35.000309>
- Ratnayake, K., Payton, J. L., Lakmal, O. H., Karunarathn, A. (2018). Blue light excited retinal intercepts cellular signaling. *Scientific REPORTs*, 8(1), 10207. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-28254-8>
- Rea, M., Freyssinier, J. P. (2016). CRI should never be used in efficacy regulations but a new lumen definition should. *LEDs Magazine*. Pobrane z: <https://www.ledsmagazine.com/manufacturing-services-testing/article/16696051/cri-should-never-be-used-in-efficacy-regulations-but-a-new-lumen-definition-should-magazine>
- Rukmini, A. V., Milea, D., Baskaran, M., How, A. C., Perera, S. A., Aung, T., Gooley, J. J. (2015). Pupillary responses to high-irradiance blue light correlate with glaucoma severity. *Ophthalmology*, 122(9), 1777–1785. <https://doi.org/10.1016/j.opthta.2015.06.002>
- Sahin, L., Figueiro, M. G. (2013). Alerting effects of short-wavelength (blue) and long-wavelength (red) lights in the afternoon. *Physiology & Behavior*, 116–117, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh>
- Seiler, M. J., Liu, O. L., Cooper, N. G., Callahan, T. L., Petry, H. M., Aramant, R. B. (2000). Selective photoreceptor damage in albino rats using continuous blue light. A protocol useful for retinal degeneration and transplantation research. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, 238(7), 599–607. <https://doi.org/10.1007/s004170000143>
- Soler, J. E., Robison, A. J., Núñez, A. A., Yan, L. (2018). Light modulates hippocampal function and spatial learning in a diurnal rodent species: A study using male Nile grass rat (*Arvicanthis niloticus*). *Hippocampus*, 28(3), 189–200. <https://doi.org/10.1002/hipo.22822>
- Tosini, G., Ferguson, I., Tsubota, K. (2016). Effects of blue light on the circadian system and eye physiology. *Molecular Vision*, 22, 61–72.
- Trykowska, N. (2018). Źródło światła do domu – ekologia, ekonomia i przyzwyczajenie [Wpis na blogu]. Pobrane z: <https://www.trykowskastudio.pl/zrodlo-swiatla-do-domu-ekologia-ekonomia-i-przyzwyczajenie/>
- Verheijen, F. J. (1985). Photopollution: Artificial light optic spatial control systems fail to cope with. Incidents, causation, remedies. *Experimental Biology*, 44(1), 1–18.
- Wagner, T. P. (2011). Compact fluorescent lights and the impact of convenience and knowledge on household recycling rates. *Waste Management*, 31(6), 1300–1306. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.01.01>
- Wahnschaffe, A., Nowozin, C., Hädel, S., Rath, A., Appelhoff, S., Münch, M., Kunz, D. (2017). Implementation of dynamic lighting in a nursing home: Impact on agitation but not on rest-activity patterns. *Current Alzheimer Research*, 14(10), 1076–1083. <https://doi.org/10.2174/1567205014666170608092411>

- Walker, M. F. (1977). The effects of urban lighting on the brightness of the night sky. *Astronomical Society of the Pacific*, 89, 405–440. <https://doi.org/10.1086/130142>
- Wilkins, A. J., Nimmo-Smith, I., Slater, A. I., Bedocs, L. (1989). Fluorescent lighting, headaches and eyestrain. *Lighting Research and Technology*, 21(1), 11–18. <https://doi.org/10.1177/096032718902100102>
- Yaffe, K., Falvey, C. M., Hoang, T. (2014). Connections between sleep and cognition in older adults. *The Lancet. Neurology*, 13(10), 1017–1028. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(14\)70172-3](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(14)70172-3)
- Zhou, J., Xie, J., Lei, J., Ji, X., Yang, Q. (2018). Effect of mobile phone light for human retinal pigment epithelium cells. *Guoji Yanke Zazhi*, 18(7), 1188–1191. <https://doi.org/10.3980/j.issn.1672-5123.2018.7.05>
- Zielińska-Dąbkowska, K. (2019). Human Centric Lighting. The new X Factor? *ARC Lighting In Architecture*, 108, 081–086.

EWA SZEREMETA, MACIEJ TROJAN

Instytut Psychologii, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

Metody badania długości, przebiegu i jakości snu używane w psychologii sportu

Sposób cytowania: Szeremeta, E., Trojan, M. (2020). Metody badania długości, przebiegu i jakości snu używane w psychologii sportu. W: M. Trojan, M. Gut (red.), *Nowe technologie i metody w psychologii* (s. 117–136). Warszawa: Liberi Libri. <https://doi.org/10.47943/lib.9788363487430.rozdzial05>

Najczęściej stosowana w literaturze definicja snu, w uproszczeniu, określa go jako naturalne zjawisko biologiczne, cechujące się zmniejszeniem ruchów wolicjonalnych i reaktywności na bodźce (Fuller, Gooley, Saper, 2006). Sen jest naturalnym, fizjologicznym stanem zmienionej świadomości, który w odróżnieniu od patologicznych stanów (np. śpiączki) jest łatwo odwracalny. Składają się na niego faza NREM (*non-rapid eye movement*) oraz REM (*rapid eye movement*), następujące po sobie cyklicznie po kilka razy, w zależności od całkowitego czasu snu. Fazę NREM dzieli się na cztery stadia, a każdą charakteryzuje obecność w zapisie EEG fal o określonej częstotliwości. Podczas stadium 1 zapis EEG zwalnia, świadomość otoczenia powoli zanika, aby zniknąć całkowicie w stadium 2. W stadium 3 i 4 obecne są, wolniejsze niż theta, fale delta. Stadium 4 nazywane jest snem wolnofalowym i przeplata się z fazą REM, charakteryzującą się szybkimi ruchami gałek ocznych, największym zwiotczeniem mięśni oraz występowaniem marzeń sennych (Fuller i in., 2006).

Pomimo tego, że sen jest absolutnie niezbędny dla funkcjonowania organizmu, bagatelizujemy jego znaczenie. Jest on jedną z pierwszych rzeczy, z których jesteśmy skłonni zrezygnować, chcąc zwiększyć swoją wydajność. W żadnym razie nie jest to pożądana strategia. Gdy jesteśmy pozbawieni snu, spada poziom, szybkość i dokładność wykonywania zadań, maleje sprawność poznawcza oraz upośledzona zostaje zdolność do podejmowania decyzji (Troynikov, Watson, Nawaz, 2018). Sen pozwala na rekonwalescencję układu nerwowego i przywrócenie jego normalnych funkcji. Zatrzymuje i odwraca niekorzystne zmiany w mózgu, które w przeciwnym razie mogą spowodować tak poważne problemy, jak np. wyczerpanie zapasów energii i śmierć neuronów (Green, Nutt, 2018).

Jedna bezsenna noc nie wpłynie negatywnie na siłę i wydolność beztlenową sportowca¹, zarówno maksymalną, jak i średnią, ale jej efekty będą już widoczne w przypadku zdolności poznawczych, przejawiając się w takich ich miarach, jak np. czas reakcji (Taheri, Arabameri, 2012). Bardziej brzemienne w skutkach będzie natomiast notoryczna deprywacja snu (Mônico-Neto i in., 2017). Pozbawienie organizmu możliwości odpowiedniej regeneracji jest wysoce szkodliwe, zwłaszcza jeśli w trakcie dnia jest on poddawany intensywnemu wysiłkowi fizycznemu. Podczas snu wolnofalowego hormon wzrostu (somatotropina, GH) wydzielany jest najintensywniej. Ponieważ działa on pobudzająco na syntezę białek, jest kluczowy przy regeneracji tkanek, np. w trakcie naprawy

1 Zdolność do krótkotrwałego wysiłku o maksymalnej intensywności.

mikrouszkodzeń powstałych w tkance mięśniowej podczas intensywnego wysiłku fizycznego. Badania z udziałem szczurów pokazały, że pozbawienie ich snu znacząco pogorszyło zdolność do regeneracji uszkodzonych tkanek mięśniowych, a także spowodowało istotny spadek masy ciała. Po umożliwieniu zwierzętom uzyskania odpowiedniej dawki snu, masa ciała, podstawowe czynniki wzrostu oraz poziom kortykosteronu powróciły do normy, choć nie wystarczyło to do normalizacji procesu regeneracji mięśni.

Brak odpowiedniej regeneracji jest związany z ryzykiem wystąpienia zespołu przetrenowania (*overtraining syndrome*, OTS). Powoduje on przede wszystkim znaczne obniżenie formy zawodnika. Zaburzenia snu oraz funkcjonowania psychicznego również uznawane są za jego symptomy (Lastella i in., 2018).

Wpływ zaburzeń snu na funkcjonowanie sportowców

Badania przeprowadzone przez Estivill-Domènech i in. (2018) pokazały, że biorący w nich udział sportowcy (trenujący na wysokim, profesjonalnym poziomie) wykazywali istotne braki, jeśli chodzi o sen i związane z nim nawyki. Badani spali mniej, niż jest to konieczne, jakość snu była niska z powodu zmęczenia mięśni oraz nieodpowiedniej higieny snu. Nieregularny harmonogram treningowy odbijał się też negatywnie na ich cyklu okołodobowym sen-czuwanie. Wszystko to pogarszało ich sprawność fizyczną i psychiczną.

Inne badania (Hoshikawa, Uchida, Hirano, 2018) również wskazują na zaniedbania dotyczące snu wśród sportowców. Jedną z zastosowanych metod był kwestionariusz *Pittsburgh Sleep Quality Index* (PSQI). Wykazano związek złej jakości snu z pięcioma czynnikami: „czas w łóżku”, „jedzenie śniadania każdego ranka”, „unikanie korzystania z urządzeń elektronicznych (komputer, smartfon itp.) tuż przed snem”, „obniżony nastrój” i „niemyślenie o problemach w łóżku”. Sugeruje to nieodpowiednią higienę snu u sportowców, ponieważ pozycje te związane są z odpowiednimi nawykami mającymi poprawić jego jakość. Dane z badań przy użyciu pozostałych metod samoopisowych również to potwierdzały.

Zaleca się, aby trenerzy dbali o odpowiednią edukację zawodników w obszarze higieny snu. Badania (Caia, Scott, Halson, Kelly, 2018) pokazują, że może to skutkować istotną poprawą jego jakości, choć jednorazowa interwencja może nie być wystarczająca. Aby uzyskać trwałe efekty, sportowcy powinni otrzymywać stałe wsparcie. Konieczne jest podniesienie świadomości na te-

mat znaczenia snu, a także ważne jest rozpoznanie ewentualnych zaburzeń snu oraz ich leczenie. W tym celu należy zwrócić się o pomoc do specjalisty.

Świadomość na temat istotności dbania o odpowiednią długość i jakość snu wśród sportowców wydaje się wzrastać. Do zestawu suplementów coraz częściej dołączane są substancje mające poprawić sen. Przykładem takiego suplementu jest *ashwagandha*, która działa uspokajająco i ułatwia zasypianie. Badania wydają się potwierdzać jej pozytywny wpływ na sen (Kaushik, Kaul, Wadhwa, Urade, 2015). Ekstrakt wodny WEX-P2 i składnik oczyszczony WEX-T indukują NREM po doustnym podaniu myszom oraz zwiększają całkowitą ilość snu REM w ciągu następnego dnia. Kulturyści wiedzą już, że aby skutecznie zwiększyć masę mięśniową, nie wystarczy tylko dużo jeść, lecz trzeba jeszcze dużo spać. Nadal jednak dbanie o właściwy, regularny sen pozostaje obszarem wymagającym zwiększenia świadomości sportowców.

Zachowanie odpowiedniej równowagi pomiędzy treningiem a regeneracją jest bardzo ważne, tak samo jak odpowiednia higiena snu. Higiena snu to zalecenia odnośnie zachowań i warunków środowiskowych, które mogą poprawić jego jakość i wydłużyć jego czas. Godziny treningów często determinują pory wstawania i zasypiania. Treningi o późnych porach oraz przy sztucznym oświetleniu nie pozostają bez wpływu. Światło jest istotnym czynnikiem regulującym rytm okołodobowy (zob. też: Łaszewska, w tym tomie). Stymulując jądra nadskrzyżowaniowe, wpływa na wytwarzanie melatoniny przez szyszynkę. Hormon ten odgrywa znaczącą rolę w regulacji cyklu snu i czuwania (Berg, Martin, Solomon, 2016). Pierwszym krokiem do zadbania o sen sportowca może być więc odpowiednie ułożenie harmonogramu treningów. O ile jest to możliwe, warto także wziąć pod uwagę indywidualne preferencje dotyczące rytmu okołodobowego, ponieważ niektórzy funkcjonują lepiej rano, zaś inni wieczorem (Brunner i in., 2020; Merrow i in., 2003).

Czytając ogólne zalecenia dotyczące higieny snu, dość powszechny wydaje się być pogląd, że nie należy wykonywać ćwiczeń fizycznych późnym wieczorem ze względu na możliwe negatywne efekty pobudzenia organizmu. Przeprowadzono jednak szereg badań, których wyniki podważają prawdziwość tego twierdzenia. Grupa zdrowych dorosłych, nie będących sportowcami, wykazała poprawę jakości snu po wprowadzeniu do ich życia aktywności fizycznej (Flausino, Da Silva Prado, Queiroz, Tufik, de Mello, 2012). Zbadany został także wpływ ćwiczeń na aktywność autonomicznego układu nerwowego (Myllymäki i in., 2012). Pomiary modulacji sercowo-autonomicznej podczas snu wykazały kontynuację aktywacji fizjologicznej po intensywnych

lub długich sesjach ćwiczeń. Zwiększona intensywność i czas trwania wysiłku wpłynęły na modulację autonomiczną serca podczas snu, przy czym obiektywna jakość snu oceniana na podstawie aktyigrafii lub subiektywnych ocen badanych nie uległa zmianie. Nie zaobserwowano różnic w zakresie oceny jakości snu pomiędzy dniami o różnej intensywności lub czasie trwania ćwiczeń. Można więc stwierdzić, że pomimo powszechnego poglądu zwiększona intensywność lub czas wysiłku nie musi mieć negatywnego wpływu na jakość snu. Osoby biorące udział we wspomnianym badaniu nie zgłaszały zaburzeń snu, nawet przy najbardziej wymagającym, według protokołu, wysiłku, a zatem dobroczynny wpływ ćwiczeń na sen mógł przewyciężyć potencjalnie niepokojące.

Ćwiczenia fizyczne same w sobie są uznawane za sposób na poprawę subiektywnie, ale także obiektywnie, ocenianej jakości snu. Mogą nawet stanowić nefarmakologiczną alternatywę lub istotną pomoc w terapii zaburzeń snu. Osoby z przewlekłymi zaburzeniami snu wykazują poprawę po wprowadzeniu do ich codziennych zajęć aktywności fizycznej (Erlacher, Erlacher, Schredl, 2015). W innych badaniach z kolei wprowadzenie aktywności fizycznej jako elementu leczenia pacjentów z depresją (*major depressive disorder*, MDD) spowodowało złagodzenie jej objawów występujących pod postacią zaburzeń snu. Zaobserwowano poprawę w przypadku pokonywania całkowitej bezsenności oraz dwóch jej odmian (bezsenność w środku nocy i wczesnym rankiem) po 12-tygodniowej interwencji (Rethorst i in., 2013).

Istnieją różne alternatywne strategie mające na celu poprawę snu sportowca. Jedną z nich zaprezentowano w badaniu pilotażowym Abeln, Kleinerta, Strüdera i Schneidera (2014). Polegała ona na neurostymulacji mózgu za pomocą dźwięku. Metoda ta opiera się na hipotezie, zgodnie z którą mózg zdolny jest do synchronizowania częstości fal EEG z rytmem zewnętrznego bodźca. Jak wiadomo, poszczególne fazy snu charakteryzują się swoistą częstością sygnału (Chouvarda, Diamantaras, Timplalexis, 2019). Cały cykl faz snu trwa ok. 90 minut i powinien wystąpić kilka razy od czasu zaśnięcia do obudzenia, aby odpoczynek mógł być uznany za wartościowy. Mając tę wiedzę, badacze odpowiednio pobudzali mózg śpiącego dźwiękami o częstotliwościach od 1 do 9 Hz, w sekwencji naśladującej cykl zdrowego ludzkiego snu. Metoda ta wymaga jednak dalszych badań m.in. dlatego, że mechanizm stanowiący jej podstawę nie jest do końca wyjaśniony.

Klasyczne metody badania snu używane w psychologii sportu

Polisomnografia nie bez powodu określana jest w kontekście badań snu mianem złotego standardu (Rundo, Downey, 2019). Metoda jest stosunkowo dokładna ze względu na liczbę parametrów, które mierzy. Ma jednak pewną wadę – badanie musi zostać wykonane w warunkach laboratoryjnych. Pacjent zostaje podłączony do odpowiednich urządzeń i spędza noc w szpitalu lub innym ośrodku badania snu. Sprawdza się za to doskonale w przypadku zaburzeń oddychania związanych ze snem, takich jak np. bezdech senny. Jednak w sytuacji, gdy interesują nas nawyki dotyczące snu czy cykl dobowy snu/czuwania, konieczne jest poszukiwanie alternatyw, które pozwolą na mniej angażujące badanie podłużne.

Do rejestracji parametrów fizjologicznych podczas snu polisomnografia wykorzystuje: elektroencefalografię, elektrookulografię, elektromiografię, elektrokardiografię i pulsoksymetrię. Do tego rejestrowane są ruchy oddechowe, ruchy kończyn, pozycja ciała oraz przepływ powietrza przez drogi oddechowe. Badanie wykonywane jest w laboratorium pod stałym nadzorem odpowiednio wyszkolonego specjalisty.

Tabela 1

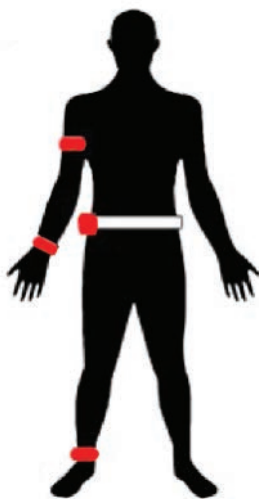
Sposoby pomiaru badanych zmiennych w polisomnografii

Badana zmienna	Sposób pomiaru
1. Fazy snu	Do wyszczególnienia faz snu służą informacje z EEG, EOG oraz EMG. Podstawą do określenia pięciu następujących po sobie etapów snu (<i>wake</i> [W], <i>stage 1</i> [N1], <i>stage 2</i> [N2], <i>stage 3</i> [N3], REM) służy sygnał EEG rejestrowany z czołowych, centralnych i potylicznych lokalizacji elektrod oraz ruchy gałek ocznych i sygnał EMG z elektrod umieszczonych na brodzie.
2. Przepływ powietrza i ruchy oddechowe	Przepływ powietrza jest mierzony poprzez rejestrowanie zmian temperatury oddechu (za pomocą termistoru) oraz ciśnienia nosowego (przez kaniulę nosową). Oprócz tego, dwa pasy, wykorzystujące metodę indukcyjną, monitorują ruchy klatki piersiowej i brzucha.
3. Nasylenie krwi tlenem	Pomiar ten jest dokonywany za pomocą pulsoksymetru, który w sposób nieinwazyjny mierzy przezskórnie wysycenie hemoglobiny tlenem.
4. Praca serca	Do rejestrowania pracy serca podczas trwania badania służy elektrokardiograf (analizuje się elektrokardiogram, będący zapisem sygnału).
5. Ruchy kończyn	Pomiar jest dokonywany przy użyciu elektromiografii (EMG). Elektrody EMG umieszcza się na skórze nad mięśniami piszczelowymi przednimi, aby umożliwić wykrywanie ruchów nóg podczas snu (rejestruje się aktywność tych mięśni widoczną w zapisie elektromiogramu). Opcjonalnie – elektrody umieszcza się także na przedramionach, nad prostownikami mięśni palców.
6. Pozycja ciała	Pozycja ciała jest dokumentowana przez kamerę umieszczoną w laboratorium oraz specjalistę nadzorującego badanie.

Metody alternatywne pomiaru snu

Aktygrafia (ACTG – Actigraphy). Szeroko stosowaną alternatywą dla badania polisomnograficznego jest aktygrafia, czyli pomiar długości snu oraz zapis jego faz przy pomocy aktygrafu (Fuller, Gore, Halson, Juliff, Peiffer, 2017). Urządzenie to, często przypominające zegarek, badany nosi według wskazań, najczęściej na nadgarstku, kostce lub przypięte do ciała w talii (zob. rysunek 2) przez okres 1–2 tygodni. Osoba badana funkcjonuje przez ten czas według swojego stałego trybu. Aktygraf w tym czasie zbiera dane dotyczące aktywności ruchowej. Na ich podstawie możliwe jest sporządzenie wykazu rodzaju i poziomu aktywności i spoczynku. Można w ten sposób określić średni czas snu, jego ciągłość, rytm funkcjonowania w czasie dnia – drzemki, poziom aktywności. Jest to metoda bardziej przystępna i pozwalająca na nieinwazyjne

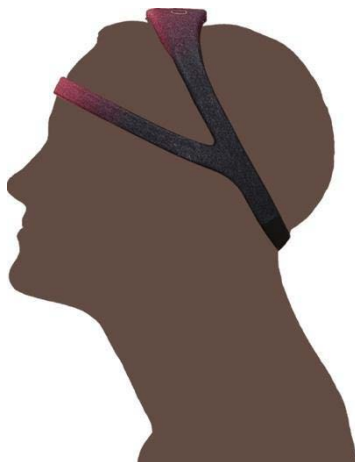
badanie podłużne w porównaniu z wyżej wspomnianą, ale ma też swoje wady. Aktygrafia jest mało precyzyjna. Zdarza się, że czas snu jest przeszacowywany, ponieważ pomiary fizjologiczne nie są uwzględniane. Parametry fizjologiczne pozwalają bowiem na określenie etapów snu, np. na podstawie aktywności mózgu, EOG czy EMG, co w przypadku tej metody jest niemożliwe. Aktygraf bazuje na ruchach ciała, co wprowadza ryzyko, że nieruchome leżenie będzie mierzone jako sen, nawet jeśli osoba jest w pełni przebudzona. Spowoduje to mniej dokładne oszacowanie przebudzenia, a w konsekwencji snu (Van De Water, Holmes, Hurley, 2001). Główną zaletą jest jednak wygoda stosowania oraz dostępność – urządzenie oferowane jest w wielu wersjach pod różnymi nazwami rynkowymi oraz nie wymaga obecności specjalisty przez cały okres badania.



Rysunek 2. Najczęściej spotykane miejsca umocowania aktygrafu oznaczono kolorem czerwonym (opracowanie własne).

Opaska *The Dreem Headband*. Jest to bezprzewodowa opaska, noszona podczas snu. Rejestruje pięć rodzajów sygnałów fizjologicznych:

- aktywność kory mózgowej za pomocą pięciu elektrod EEG,
- ruch ciała, zmiany pozycji i częstotliwość oddychania za pomocą akcelerometru,
- częstość akcji serca za pomocą pulsoksymetru.



Rysunek 3. Sposób zakładania opaski *The Dreem Headband* (opracowanie własne).

Zebrane dane są przechowywane i automatycznie analizowane w czasie rzeczywistym. Po zakończonym pomiarze, *The Dreem Headband* łączy się z urządzeniem mobilnym, np. smartfonem (przez Bluetooth), aby przesłać zagregowane dane do dedykowanej aplikacji mobilnej, oraz przez Wi-Fi, aby przesłać dane surowe na serwery. Badanie Arnala i in. (2019) pokazało, że jakość sygnału EEG zapewnianego przez urządzenie jest wystarczająca do badania snu. Ponadto częstotliwość oddychania i częstość akcji serca mierzona za pomocą akcelerometru mają doskonałą zgodność ze złotym standardem. Na podstawie zebranych danych możliwa jest także klasyfikacja poszczególnych faz snu. Dodatkową zaletą jest czas przygotowania urządzenia do badania – ok. 5 min, podczas gdy w przypadku polisomnografii czas ten wydłuża się do ok 45 min.

WatchPAT (PAT – peripheral arterial tonometry). Jest to urządzenie dostępne do użytku domowego i może być używane bez nadzoru badacza. Składa się z zasilanej baterijnie jednostki przymocowanej do przedramienia, umieszczonej tuż nad nadgarstkiem, oraz dwóch przymocowanych do palca czujników: pulsoksymetru i sondy PAT. Sygnał PAT jest miarą pulsacyjnych zmian objętości tętniczej na czubku palca. Osoba umieszcza urządzenie na nadgarstku, a sygnały biologiczne mówiące o saturacji, tętnie, tonometrii, aktygrafii, chrapaniu, pozycji ciała i ruchach klatki piersiowej są zbierane przez nieinwazyjne

czujniki. Pozyskane dane są przechowywane na kompaktowym dysku typu *flash*. Korzystanie z urządzenia z czujnikami umieszczonymi tylko na palcach i przedramieniu ułatwia samodzielną obsługę. Automatyczny algorytm urządzenia służący do oceny danych pozwala na obiektywizm i oszczędza czas (Bar i in., 2003). Dzięki stworzonemu w tym celu specjalnemu algorytmowi, urządzenie WatchPAT100 jest zdolne do wykrycia fazy czuwania, fazy snu NREM i REM (Bresler, Herscovici, Pillar, Preiszler, Sheffy, 2008).

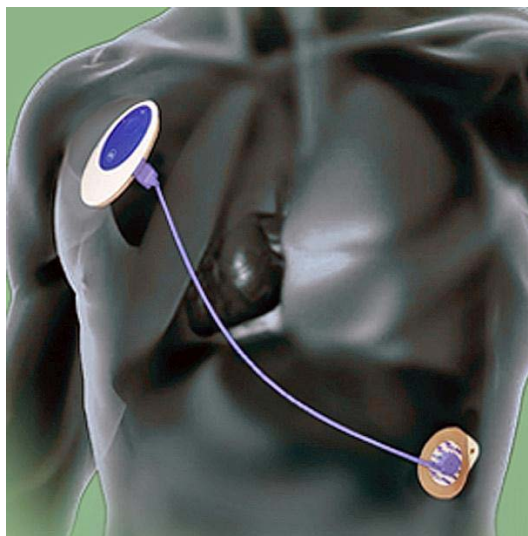


Rysunek 4. Zestaw sensorów WatchPAT (na podstawie materiałów producenta).

System monitorowania snu *Nightcap*. *Nightcap* to system monitorowania snu przyjazny użytkownikowi. Pozwala on odróżnić czuwanie, fazę NREM i REM z ogólną zgodnością z polisomnografią na poziomie 86%. To dwukanałowe urządzenie za pomocą dwóch niezależnych czujników rejestruje ruchy górnych powiek, a także ruchy ciała i na tym opiera analizy. Ruch powiek jest wykrywany, gdy sygnał piezoelektryczny przekroczy 10 mV w czasie 250 ms. Urządzenie to jest wrażliwe na drżenie mięśni powieki i szybkie ruchy oka, ale niezdolne do rejestrowania powolnych ruchów gałek ocznych charakterystycznych dla początku snu. Badania wskazują jednak, że początek snu może być określony przez system *Nightcap* jako pierwsza z czterech kolejnych 30-sekundowych faz z nie więcej niż pięcioma ruchami powiek (Cantero, Atienza, Stickgold, Hobson, 2002).

Analiza sprzężenia układów krążenia i oddechowego (*cardiopulmonary coupling, CPC*).

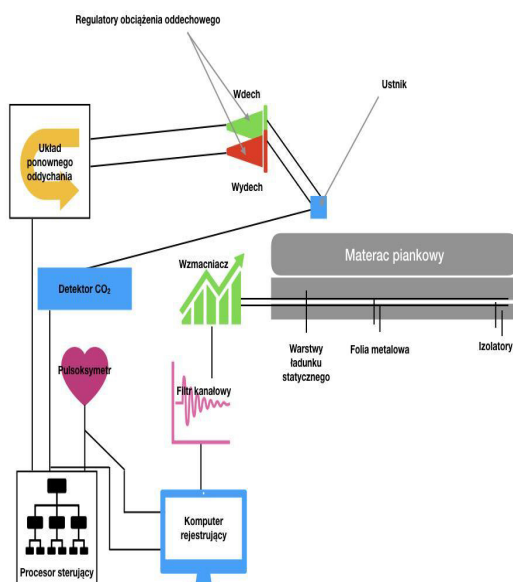
Jeszcze inny interesujący sposób badania snu został opatentowany pod nazwą rynkową *SleepImage*. Oparty jest na analizie sprzężenia układów krążenia i oddechowego (*cardiopulmonary coupling, CPC*). Jakość snu ustalana jest na podstawie analizy związku między zmiennością rytmu serca i objętości oddechowej. Sprzężenie to będzie wyższe lub niższe w zależności od ich względnej stabilności. System wykorzystuje dane z EKG oraz trójosiowego, precyzyjnego akcelerometru. Uzyskiwane są w ten sposób dane dotyczące pracy serca, chrapania, pozycji ciała oraz aktygrafia, przy użyciu opatentowanych algorytmów. Dane zostają przesłane i zapisane na serwerze w chmurze, a na ich podstawie sporządzany jest raport *SleepImage*. Tak uzyskany raport nie wymaga interpretowania przez specjalistę od snu i może być analizowany przez dowolnego lekarza prowadzącego w celu oceny klinicznej pod kątem jakości snu, czasu jego trwania oraz ewentualnych patologii. Badanie może być przeprowadzone wielokrotnie w domu osoby badanej (zob. sleepimage.com, 2020).



Rysunek 5. Sposób umieszczenia sensorów *SleepImage* (na podstawie materiałów producenta).

Bed ACTG, *static charge sensitive bed (SCSB)*, *non-contact sheet-type sensors (SS)*. Istnieje szereg metod, w przypadku których urządzenie nie jest umieszczane na badanym, ale stanowi element łóżka, na którym śpi. Wśród nich znajdziemy Bed

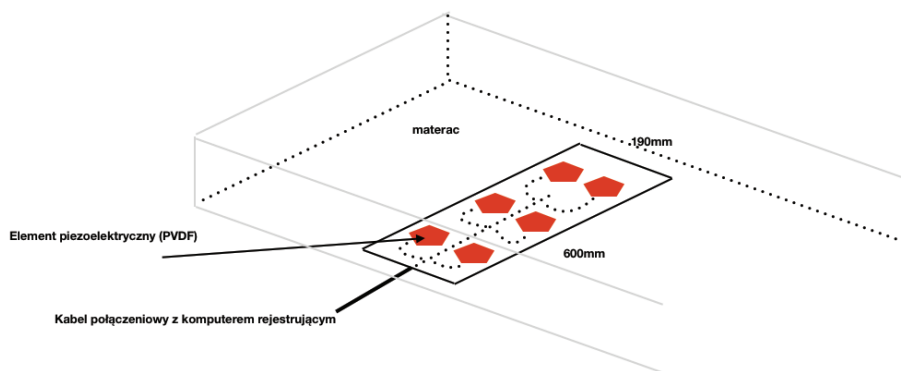
ACTG, czyli aktygraf wykorzystujący czujniki ruchu umieszczone pod nogami łóżka, dzięki którym możliwe jest wyodrębnienie ruchów ciała, parametrów pracy serca i układu oddechowego. Próba wykorzystania czujników umieszczonych w pościeli nastąpiła już niespełna ćwierć wieku temu (Kirjavainen, Polo, McNamara, Vaahtoranta, Sullivan, 1996), kiedy do wykrywania bezdechu sennego zastosowano tzw. *static charge sensitive bed* (SCSB).



Rysunek 6. Zestaw do badania jakości snu typu Bed ACTG (opracowanie własne na podstawie: Kirjavainen i in., 1996).

Nowszą metodą jest *non-contact sheet-type sensors* (SS). Stanowią ją bezdotykowe czujniki arkuszowe, które można umieścić nawet pod grubym materacem. Tym sposobem metoda nie jest w żaden sposób inwazyjna. Metoda SS składa się z sześciu małych, płaskich elementów piezoelektrycznych, wykonanych z czujników z difluorku poliwinylidenu (PVDF), które generują ładunek elektryczny pod wpływem mechanicznego ucisku. Na podstawie powstających w ten sposób zmian napięcia można oszacować siłę nacisku. Stosując tę metodę, możliwe jest przeprowadzenie badania trwającego nawet miesiąc lub dłużej i określenie parametrów naturalnego snu oraz jego rytmu. Zaletą tej metody stanowi fakt, że urządzenie może zostać umieszczone w domu

osoby badanej i pomiar nie musi odbywać się w laboratorium. Zapewnia to bardziej naturalne warunki badania (Uchida i in., 2011).



Rysunek 7. Zestaw do badania jakości snu z matą piezoelektryczną umieszczaną pod matercem łóżka (opracowanie własne na podstawie: Uchida i in., 2011).

Ambulatory Circadian Monitoring (ACM) i zmienna TAP. Metoda ta polega na opracowaniu zintegrowanej zmiennej, opartej na temperaturze nadgarstka, aktywności ruchowej i pozycji ciała (TAP – *wrist Temperature, motor Activity, body Position*) przy pomocy algorytmów opisanych przez Ortiz-Tudela i in. (2014). Z punktu widzenia fizjologii, spadek centralnej temperatury ciała (wewnątrz organizmu) związany jest z początkiem snu. W badaniu przeprowadzonym w celu sprawdzenia trafności tej metody temperatura wydawała się wskazywać na lekki sen, ponieważ jej wartości zaczynały wzrastać około 10 minut przed stadiem 1 i 2. Temperatura zaczynała spadać ponownie na początku fazy REM (która wykazuje pewne podobieństwa do stanu czuwania). Ponadto temperatura wykazała najwyższą swoistość spośród badanych zmiennych, a także była jedyną zmienną, której wartości różniły się znacznie między fazami snu (Ortiz-Tudela i in., 2014). Zmienna TAP służy do oceny funkcjonowania rytmu okołodobowego oraz rytmu snu i czuwania w warunkach ambulatoryjnych. Poziom niezawodności tej metody jest szacowany na wyższy niż w przypadku aktyigrafii. Pozwala także na badanie pacjenta w jego normalnym środowisku domowym i przy znacznie niższym koszcie niż ten, którego wymaga polisomnografia.

Kwestionariuszowe metody badań jakości snu

Obok wymienionych wyżej metod w badaniach snu korzysta się także z metod samoopisowych. Należy do nich m.in. *Skala senności dziennej* (*Epworth Sleepiness Scale*, ESS), kwestionariusz badający senność w czasie dnia, oraz standaryzowany *Pittsburgh Sleep Quality Index* (PSQI), który skupia się na ocenie parametrów świadczących o jakości snu. Zarówno ESS, jak i PSQI mierzą odmienne wymiary snu i czuwania. Oba te wymiary różnią się także od obiektywnych miar snu, czyli tego, co jest mierzone za pomocą PSG czy ACTG (Buysse i in., 2008).

Epworth Sleepiness Scale (ESS). Kwestionariusz składa się z ośmiu pytań. Badany jest w nim proszony o ocenę na czteropunktowej skali (od 0 do 3) swojej skłonności do zasypiania podczas wykonywania ośmiu różnych czynności. Wybrane zostały aktywności o różnym stopniu usypiania, a im wyższy uzyska się wynik, tym większa jest skłonność badanego do senności dziennej. Wynik może być interpretowany w następujący sposób:

- 0–5 to niska/normalna senność dzienna
- 6–10 – podwyższona normalna senność dzienna
- 11–12 – łagodna nadmierna senność dzienna
- 13–15 – umiarkowana nadmierna senność dzienna
- 16–24 – silna nadmierna senność dzienna.

Kwestionariusz ESS nie jest sam w sobie narzędziem diagnostycznym, nie rozróżnia bowiem, jakie czynniki lub zaburzenia snu spowodowały konkretny poziom senności. Nie dostarcza także informacji na temat nawyków związanych ze snem (*The Epworth Sleepiness Scale*, b.d.).

Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI). Narzędzie to służy do pomiaru jakości oraz wzorców snu. Różnicuje sen „zły” od „dobrego”. Mierzy siedem obszarów:

- subiektywną jakość snu
- czas zasypiania (*sleep latency*)
- czas trwania snu
- nawykową wydajność snu
- zaburzenia snu
- stosowanie leków nasennych
- dysfunkcje w ciągu dnia na przestrzeni ostatniego miesiąca.

Badany ustosunkowuje się do stwierdzeń dotyczących każdego z nich na czterostopniowej skali (od 0 do 3), przy czym 3 na skali Likerta oznacza

skrajność negatywną. Całościowy wynik 5 lub więcej interpretowany jest jako wyznacznik „złego” snu.

Wydaje się jednak, że metody kwestionariuszowe w przypadku badań nad jakością snu mają mniejsze znaczenie i mogą być stosowane jako uzupełnienie metod bardziej obiektywnych, zwłaszcza że te ostatnie dają się zastosować także poza laboratorium.

Podsumowanie

Psychologia sportu w dużej mierze skupia się na propagowaniu zdrowia i zdrowych nawyków. Z tego powodu oprócz diagnozy zaburzeń snu, psychologa sportowego powinien interesować poziom higieny snu sportowca oraz to, czy zachowuje on odpowiedni cykl dobowy aktywności. Odnotowanie nieprawidłowości i praca ze sportowcem nad ich wyeliminowaniem może mieć istotny wpływ na poprawę jego wyników w sporcie. Aby odpowiednio to zbadać, metody samoopisowe warto uzupełnić o pomiar obiektywny. Każde z zaprezentowanych wyżej rozwiązań ma swoje wady i zalety (por. tabela 2).

Tabela 2

Porównanie omówionych metod i urządzeń

Metoda	Zalety	Wady
Polisomnografia	- liczba mierzonych zmiennych (EEG, EOG, EMG, EKG, pulsoksymetr, ruchy oddechowe, ruchy kończyn, pozycja ciała, przepływ powietrza przez drogi oddechowe) - duża dokładność - przydatna w diagnozie zaburzeń oddychania związanych ze snem - stosowana od długiego czasu, istnieje obszerna literatura na jej temat	- badanie może być przeprowadzone jedynie w warunkach laboratoryjnych - nie może być wykorzystane w badaniu zaburzeń snu, takich jak np. bezsenność - niepraktyczna w przypadku badania nawyków dotyczących snu i cyklu dobowego - skomplikowana procedura wymagająca obecności specjalisty oraz licznych urządzeń - ze względu na formę (warunki laboratoryjne, wiele urządzeń umieszczanych na osobie badanej) może powodować dyskomfort u badanego

Ciąg dalszy tabeli na następnej stronie

Ciąg dalszy tabeli z poprzedniej strony

Metoda	Zalety	Wady
Aktygrafia (ACTG)	- możliwość przeprowadzenia badania w warunkach domowych - nie wymaga obecności specjalisty - szeroko dostępna - pozwala na badanie podłużne, więc możliwe jest badanie nawyków związanych ze snem oraz cyklu dobowego - bezprzewodowe, wygodne urządzenie - samodzielna obsługa przez badanego	- mierzy tylko jedną zmienną (ruchy ciała) - nie mierzy parametrów fizjologicznych - mała precyzja metody, ryzyko niedokładnego szacowania czasu snu
<i>The Dreem Headband</i>	- liczba mierzonych zmiennych (sygnał dostarczany przez EEG, pomiar przy pomocy akcelerometru oraz pulsoksymetru) - możliwość przeprowadzenia badania w warunkach domowych - nie wymaga obecności specjalisty - pozwala na badanie podłużne, więc możliwe jest badanie nawyków związanych ze snem oraz cyklu dobowego - bezprzewodowe, wygodne urządzenie - dane są przechowywane i automatycznie analizowane w czasie rzeczywistym - dedykowana aplikacja mobilna - krótki czas przygotowania badania - samodzielna obsługa przez badanego	- istnieje stosunkowo niewiele badań z wykorzystaniem urządzenia - istnieją wątpliwości co do trafności pomiaru EEG przez urządzenie
WatchPAT	- liczba mierzonych zmiennych (saturacja, tętno, tonometria, aktygrafia, chrapanie, pozycja ciała, ruchy klatki piersiowej) - możliwość przeprowadzenia badania w warunkach domowych - nie wymaga obecności specjalisty - niewielki rozmiar urządzenia - pozwala na badanie podłużne, więc możliwe jest badanie nawyków związanych ze snem oraz cyklu dobowego - samodzielna obsługa przez badanego - automatyczny algorytm urządzenia służący do oceny danych pozwala na obiektywizm i oszczędza czas	- istnieje stosunkowo niewiele badań z wykorzystaniem urządzenia

Ciąg dalszy tabeli na następnej stronie

Ciąg dalszy tabeli z poprzedniej strony

Metoda	Zalety	Wady
<i>Nightcap</i>	- możliwość przeprowadzenia badania w warunkach domowych - pozwala na badanie podłużne, więc możliwe jest badanie nawyków związanych ze snem oraz cyklu dobowego - ogólna zgodność z polisomnografią na poziomie 86%	- mierzy tylko jedną zmienną (ruch górnych powiek) - urządzenie jest niezdolne do rejestrowania powolnych ruchów gałek ocznych charakterystycznych dla początku snu
<i>Cardiopulmonary Coupling (CPC)</i>	- liczba mierzonych zmiennych (EKG, trójosiowa akcelerometria) - możliwość przeprowadzenia badania w warunkach domowych - pozwala na badanie podłużne, więc możliwe jest badanie nawyków związanych ze snem oraz cyklu dobowego - raport nie wymaga oka specjalisty od snu i może być interpretowany przez dowolnego lekarza prowadzącego w celu oceny klinicznej pod kątem jakości snu, czasu jego trwania oraz ewentualnych patologii - częstotliwość sprzężenia pozwala na ocenę efektywności snu	- czułość technologii CPC u pacjentów z chorobami układu krążenia jest niewystarczająca - metoda jest niewystarczająco dobra do badania adaptacyjnej wentylacji serwow mechanicznej w centralnym bezdechu sennym
<i>Bed ACTG, static charge sensitive bed (SCSB), non-contact sheet-type sensors (SS)</i>	- możliwość przeprowadzenia badania w warunkach domowych - pozwala na badanie podłużne, więc możliwe jest badanie nawyków związanych ze snem oraz cyklu dobowego	- mierzy tylko jedną zmienną (ruchy ciała)
<i>Ambulatory Circadian Monitoring (ACM) i zmienna TAP</i>	- liczba mierzonych zmiennych (bazuje na zintegrowanej zmiennej, opartej na temperaturze nadgarstka, aktywności ruchowej i pozycji ciała) - możliwość przeprowadzenia badania w warunkach domowych - pozwala na badanie podłużne, więc możliwe jest badanie nawyków związanych ze snem oraz cyklu dobowego - niższy koszt niż polisomnografia - poziom niezawodności tej metody jest szacowany na wyższy niż w przypadku aktyigrafii	- zmiany temperatury ciała mogą być wywołane także innymi czynnikami niż tymi związanymi z właściwościami snu

Należy zwrócić uwagę na olbrzymi postęp techniczny, jaki odnotowano w ostatniej dekadzie w zakresie metodologii badań opisanych tu procesów.

Miniaturyzacja urządzeń mobilnych – których ciężar i wielkość nie przeszkadzają w normalnej, codziennej aktywności i treningach – daje nadzieję, że wkrótce pomiary długości i jakości snu nie będą ustępować technikom laboratoryjnym. Obniżające się koszty urządzeń i oprogramowania umożliwiają zarówno sportowcom zawodowym, jak i amatorom wybrać metodę i urządzenie (lub też ich kombinację) w celu zapewnienia sobie jak najlepszej wiedzy na temat długości i jakości własnego snu. W przyszłości należy spodziewać się, że będą możliwe analizy obejmujące całe populacje użytkowników danego typu urządzeń na podstawie gromadzonych systematycznie danych.

Literatura cytowana

- Abeln, V., Kleinert, J., Strüder, H. K., Schneider, S. (2014). Brainwave entrainment for better sleep and post-sleep state of young elite soccer players – A pilot study. *European Journal of Sport Science*, 14(5), 393–402. <https://doi.org/10.1080/17461391.2013.819384>
- Arnal, P. J., Thorey, V., Ballard, M. E., Hernandez, A. B., Guillot, A., Jourde, H., ..., Sauvet, F. (2019). The Dreem Headband as an alternative to polysomnography for EEG signal acquisition and sleep staging. *BioRxiv*, 662734. <https://doi.org/10.1101/662734>
- Bar, A., Dvir, I., Lavie, P., Pillar, G., Sheffy, J., Schnall, R. P. (2003). Evaluation of a portable device based on peripheral arterial tone for unattended home sleep studies. *Chest*, 123(3), 695–703. <https://doi.org/10.1378/chest.123.3.695>
- Berg, L. R., Martin, D. W., Solomon, E. P. (2016). *Biologia*. Warszawa: Multico.
- Bresler, M., Herscovici, S., Pillar, G., Preiszler, M., Sheffy, K. (2008). Differentiating between light and deep sleep stages using an ambulatory device based on peripheral arterial tonometry. *Physiological Measurement*, 29(5), 571–584. <https://doi.org/10.1088/0967-3334/29/5/004>
- Brunner, M., Fischbach, A., Lipnevich, A. A., Preckel, F., Roberts, R. D., Scherrer, V., Ugen, S. (2020). Circadian preference as a typology: Latent-class analysis of adolescents' morningness/eveningness, relation with sleep behavior, and with academic outcomes. *Learning and Individual Differences*, 78, 101725. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2019.03.007>
- Buysse, D. J., Hall, M. L., Strollo P. J., Kamarck T. W., Owens, J., Lee, L., ..., Matthews, K. A. (2008). Relationships between the Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI), Epworth Sleepiness Scale (ESS), and clinical/polysomnographic measures in a community sample. *Journal of Clinical Sleep Medicine*, 4(6), 563–571.
- Caia, J., Scott, T. J., Halson, S. L., Kelly, V. G. (2018). The influence of sleep hygiene education on sleep in professional rugby league athletes. *Sleep Health*, 4(4), 364–368. <https://doi.org/10.1016/j.sleh.2018.05.002>

- Cantero, J. L., Atienza, M., Stickgold, R., Hobson, J. A. (2002). Nightcap: A reliable system for determining sleep onset latency. *Sleep*, 25(2), 238–245. <https://doi.org/10.1093/sleep/25.2.238>
- Chouvarda, I., Diamantaras, K., Timplalexis, C. (2019, październik). *Classification of sleep stages for healthy subjects and patients with minor sleep disorders*. Referat na 19th International Conference on Bioinformatics and Bioengineering (BIBE), Ateny, Grecja.
- The Epworth Sleepiness Scale* (b.d.). Pobrane z: <https://epworthsleepinessscale.com/about-the-ess/>
- Erlacher, C., Erlacher, D., Schredl, M. (2015). The effects of exercise on self-rated sleep among adults with chronic sleep complaints. *Journal of Sport and Health Science*, 4(3), 289–298. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2014.01.001>
- Estivill-Domènech, C., Galilea, B., Rodríguez-Morilla, B., de Yzaguirre, I., Estivill, E., López, E., ..., Segarra, F. (2018). Do elite athletes sleep well? *Apunts. Medicina de l'Esport*, 53(198), 47–54. <https://doi.org/10.1016/j.apunts.2017.10.002>
- Flausino, N. H., Da Silva Prado, J. M., Queiroz, S. S., Tufik, S., de Mello, M. T. (2012). Physical exercise performed before bedtime improves the sleep pattern of healthy young good sleepers: Exercising before bedtime and sleep pattern. *Psychophysiology*, 49(2), 186–192. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2011.01300.x>
- Fuller, P. M., Gooley, J. J., Saper, C. B. (2006). Neurobiology of the sleep-wake cycle: Sleep architecture, circadian regulation, and regulatory feedback. *Journal of Biological Rhythms*, 21(6), 482–493. <https://doi.org/10.1177/0748730406294627>
- Fuller, K. L., Gore, C. J., Halson, S. L., Juliff, L., Peiffer, J. J. (2017). Software thresholds alter the bias of actigraphy for monitoring sleep in team-sport athletes. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 20(8), 756–760. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2016.11.021>
- Green, A., Nutt, D. (red.). (2018). *Sen. Perspektywa multidyscyplinarna*. Warszawa: Me-Komp.
- Hoshikawa, M., Uchida, S., Hirano, Y. (2018). A subjective assessment of the prevalence and factors associated with poor sleep quality amongst elite Japanese athletes. *Sports Medicine – Open*, 4(1), 10. <https://doi.org/10.1186/s40798-018-0122-7>
- Kaushik, M., Kaul, S., Wadhwa, R., Urade, Y. (2015). Identification of somnogenic component of ashwagandha (*Withania somnifera*) leaf. *Sleep Medicine*, 16(1), S242. <https://doi.org/10.1016/j.sleep.2015.02.1520>
- Kirjavainen, T., Polo, O., McNamara, S., Vaahtoranta, K., Sullivan, C. E. (1996). Respiratory challenge induces high frequency spiking on the static charge sensitive bed (SCSB). *European Respiratory Journal*, 9(9), 1810–1815. <https://doi.org/10.1183/09031936.96.09091810>
- Lastella, M., Vincent, G. E., Duffield, R., Roach, G. D., Halson, S. L., Heales, L. J., Sargent, C. (2018). Can sleep be used as an indicator of overreaching and overtraining in athletes? *Frontiers in Physiology*, 9, 436. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00436>

- Merrow, M., Roenneberg, T., Wirz-Justice, A. (2003). Life between clocks: Daily temporal patterns of human chronotypes. *Journal of Biological Rhythms*, 18(1), 80–90. <https://doi.org/10.1177/0748730402239679>
- Mónico-Neto, M., Dáttilo, M., Ribeiro, D. A., Lee, K. S., de Mello, M. T., Tufik, S., Antunes, H. K. M. (2017). REM sleep deprivation impairs muscle regeneration in rats. *Growth Factors*, 35(1), 12–18. <https://doi.org/10.1080/08977194.2017.1314277>
- Myllymäki, T., Rusko, H., Syväoja, H., Juuti, T., Kinnunen, M.-L., Kyröläinen, H. (2012). Effects of exercise intensity and duration on nocturnal heart rate variability and sleep quality. *European Journal of Applied Physiology*, 112(3), 801–809. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-2034-9>
- Ortiz-Tudela, E., Martinez-Nicolas, A., Albares, J., Segarra, F., Campos, M., Estivill, E., ..., Madrid, J. A. (2014). Ambulatory Circadian Monitoring (ACM) based on Thermometry, motor Activity and body Position (TAP): A comparison with polysomnography. *Physiology & Behavior*, 126, 30–38. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2013.12.009>
- Rethorst, C. D., Sunderajan, P., Greer, T. L., Grannemann, B. D., Nakonezny, P. A., Carmody, T. J., Trivedi, M. H. (2013). Does exercise improve self-reported sleep quality in non-remitted major depressive disorder? *Psychological Medicine*, 43(4), 699–709. <https://doi.org/10.1017/S0033291712001675>
- Rundo, J. V., Downey, R. (2019). Polysomnography. *Handbook of Clinical Neurology*, 160, 381–392. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64032-1.00025-4>
- Taheri, M., Arabameri, E. (2012). The effect of sleep deprivation on choice reaction time and anaerobic power of college student athletes. *Asian Journal of Sports Medicine*, 3(1), 15–20. <https://doi.org/10.5812/asjms.34719>
- Troynikov, O., Watson, C. G., Nawaz, N. (2018). Sleep environments and sleep physiology: A review. *Journal of Thermal Biology*, 78, 192–203. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.09.012>
- Uchida, S., Endo, T., Suenaga, K., Iwami, H., Inoue, S., Fujioka, E., ..., Kamei, A. (2011). Sleep evaluation by a newly developed PVDF sensor non-contact sheet: A comparison with standard polysomnography and wrist actigraphy. *Sleep and Biological Rhythms*, 9(3), 178–187. <https://doi.org/10.1111/j.1479-8425.2011.00506.x>
- Van De Water, A. T. M., Holmes, A., Hurley, D. A. (2011). Objective measurements of sleep for non-laboratory settings as alternatives to polysomnography – a systematic review. *Journal of Sleep Research*, 20(1 Pt 2), 183–200. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2869.2009.00814.x>

NATALIA SOBOLEWSKA, MAŁGORZATA GUT

Instytut Psychologii, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

Nowoczesne metody wykorzystujące ruch w terapii ruchowej, poznawczej oraz w edukacji

Sposób cytowania: Sobolewska, N., Gut, M. (2020). Nowoczesne metody wykorzystujące ruch w terapii ruchowej, poznawczej oraz w edukacji. W: M. Trojan, M. Gut (red.), *Nowe technologie i metody w psychologii* (s. 137–158). Warszawa: Liberi Libri. <https://doi.org/10.47943/lib.9788363487430.rozdzial06>

W schorzeniach o podłożu neurologicznym, oprócz zastosowania farmakoterapii, niezbędne jest prowadzenie z pacjentem różnych form rehabilitacji, między innymi takiej opartej na ruchu. Lata badań i obserwacji udowodniły na przykład, że wykonywanie regularnych ćwiczeń fizycznych prowadzi do zwiększenia produkcji czynników neurotroficznych czy czynników wzrostu fibroblastów, odpowiedzialnych za regulację procesów istotnych dla funkcjonowania i rozwoju komórek nerwowych (Park i in., 2015).

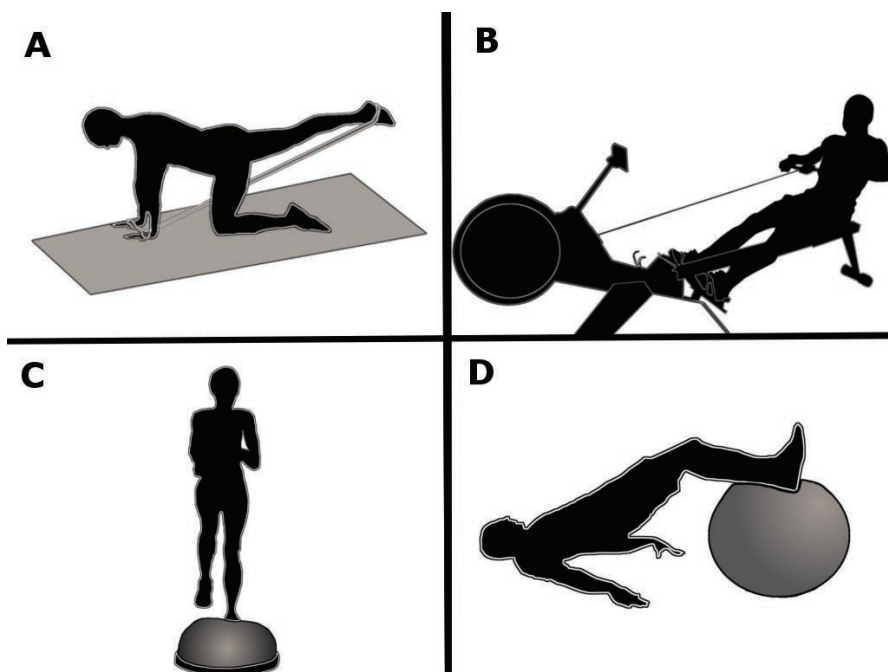
Pomimo dowiedzionych korzystnych rezultatów różnych form rehabilitacji bywa, że są one niewystarczające lub ich rezultaty są dalekie od spektakularnych (Daly, Wolpaw, 2008). Badania wskazują, że włączenie w proces terapii zaangażowania ruchu przyczynia się do poprawy nie tylko w zakresie funkcji ruchowych, ale – co ważne – także poznawczych. W celu znalezienia sposobów na przywracanie pacjentom możliwie najbardziej realnej do osiągnięcia sprawności, należy dalej rozwijać alternatywne (mniej oczywiste) metody rehabilitacji.

Znaczenie ruchu w rehabilitacji i proponowane metody prowadzenia treningów

Odzyskiwanie funkcji motorycznych. Choć początki fizjoterapii mogą sięgać nawet kilku tysięcy lat wstecz (Chipchase i in., 2006), ta forma rehabilitacji nadal cieszy się dużą popularnością, o czym mogą świadczyć liczni pacjenci poddawani efektywnym ćwiczeniom gimnastycznym oraz zabiegom masażu. Zastosowanie terapii ruchowej jest istotną formą leczenia dla wielu osób cierpiących wskutek urazowego uszkodzenia mózgu (*traumatic brain injury*, TBI). Ćwiczenia fizyczne, oprócz przywracania sprawności motorycznej, przyczyniają się do poprawy koordynacji ruchowej, a także zapobiegają różnym powikłaniom powstającym m.in. w układzie krążeniowym i oddechowym (Lendraitienė, Petruševičienė, Savickas, Žemaitienė, Mingaila, 2016).

Jedne z najnowszych badań (Hugentobler, Vegh, Janiszewski, Quatman-Yates, 2015) przeprowadzonych z grupą pacjentów z TBI świadczą na korzyść dodatkowych zajęć fizjoterapeutycznych, dzięki którym udało się zredukować odczuwany przez badanych trwały ból głowy, ale też badania kontrolne wykazały, że większość z badanych po zakończeniu terapii powróciła do aktywności wykonywanych przed doznaniem urazu. Treningi ruchowe, w których brali udział uczestnicy badania, zostały podzielone na bloki tematyczne (zob. rysunek 1): ćwiczenia wspierające układ mięśniowo-szkieletowy, układ serco-

wo-naczyniowy, układ przedsionkowy oraz trening wspomagający kontrolę postawy. Były to na przykład rozciąganie, ćwiczenia z piłką stabilizacyjną, pilates, jazda na rowerze, pływanie, ćwiczenia z użyciem drabinki zręcznościowej czy platformy dynamometrycznej.



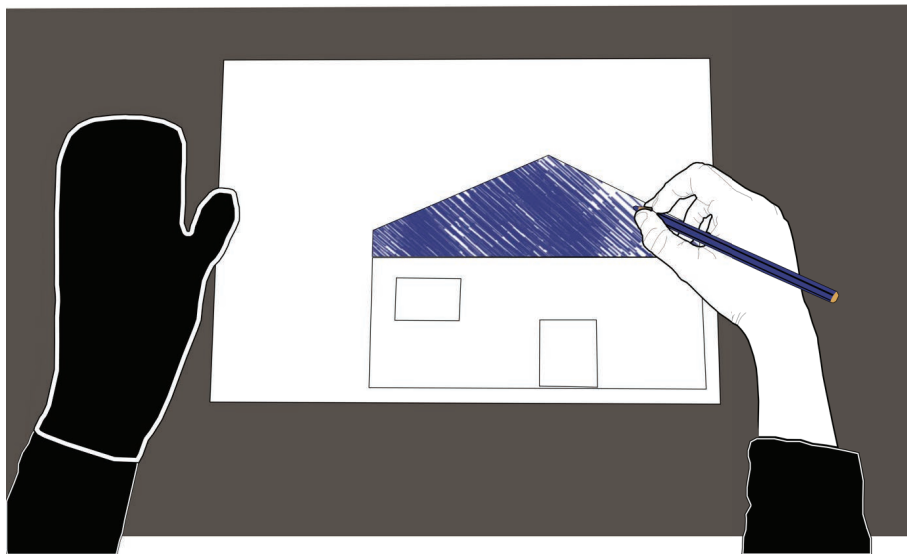
Rysunek 1. A – ćwiczenie wykorzystane w treningu oporowym z użyciem taśmy Thera Band w pozycji klęku podpartego na przedramionach. Osoba badana ma za zadanie trzymać w tej pozycji końcówki taśmy w dłoniach, zaś jej środek umieścić na stopie, by następnie próbować wyprostować dolną kończynę. B – trening poprawiający wydolność z wykorzystaniem ergometru wioślarskiego. C – stymulacja układu przedsionkowego polegająca na stawaniu, skakaniu oraz wykonywaniu przysiadów na piłce BOSU. D – trening stabilizacji centralnej przy użyciu piłki stabilizacyjnej, w którym badany w pozycji leżącej opiera stopy o piłkę stabilizacyjną, by następnie unieść biodra i próbować zginać i prostować nogi, utrzymując tę samą pozycję.

Hugentobler i in. (2015) korzystali także ze strategii rehabilitacyjnej przeznaczonej dla pacjentów z chorobami układu oddechowego, krążenia, ale także z metod wykorzystywanych w przywracaniu funkcji poznawczych. Zagadnienia te zostaną szerzej omówione w dalszych podrozdziałach.

Z kolei w badaniu przeprowadzonym przez Leecha, Kinnaird, Holleran, Kahn i Hornby'ego (2016) z pacjentami z niepełnym uszkodzeniem rdzenia kręgowego oceniano wpływ intensywnego treningu na usprawnienie motoryki dużej. Uczestnicy mieli za zadanie przez 45 minut trzy razy w tygodniu intensywnie maszerować po bieżni rehabilitacyjnej z uprzężą. Wyniki badań w post-teście wykazały, że trening taki doprowadził do znacznej aktywności mięśni oraz wpłynął na poprawę koordynacji ruchowej pacjentów, jak również do znacznego wzrostu szczytowej prędkości chodu (0,64–0,80 m/s).

Oprócz opracowywania tradycyjnych treningów ruchowych przy użyciu aparatury i akcesoriów do ćwiczeń, niektórzy badacze stosują alternatywne metody, do których należy między innymi Terapia Wymuszonego Ruchu (*Constraint-Induced Movement Therapy*, CIMT; Taub, Uswatte, Pidikiti, 1999). Oparta jest ona na celowym ograniczaniu używania nienaruszonej (sprawnej) kończyny górnej poprzez noszenie rękawicy lub specjalnego nosidełka (zob. rysunek 2) (Claflin, Krishnan, Khot, 2015), aby niejako „zmobilizować” drugą, niewłaдную, kończynę do aktywności. Choć technika ta wywodzi się z początków lat '90 XX w., nadal nie jest ona powszechnie stosowana, co wynika z kosztów terapii oraz potrzeby posiadania stałej opieki medycznej w trakcie jej przechodzenia. Jednak Souza, Conforto, Orsini, Stern i André (2015) postanowili zmodyfikować tę metodę tak, aby mogła być stosowana przez pacjentów po udarze mózgu bez ciągłego nadzoru fizjoterapeutów. Uczestników badania podzielono na dwie grupy, z których jedna wykonywała ćwiczenia przez trzy godziny dziennie pod pełnym nadzorem rehabilitanta. Druga grupa zaś spędzała na ćwiczeniach z opiekunem wyłącznie półtorej godziny, jednakże taką samą ilość czasu musieli poświęcać na odbywanie ćwiczeń w domu. W obu grupach pacjenci zostali zobowiązani do noszenia unieruchamiacza na sprawnej ręce. Ćwiczenia dla uczestników obejmowały baterię zadań składającą się z: chwytania i uwalniania przedmiotów o różnicowanych wielkości i kształcie, grania w karty oraz w gry planszowe, lepienia z gliny, malowania i rysowania. W trakcie trwania badania pacjenci przy użyciu unieruchamiacza musieli także uczyć się wykonywać takie czynności, jak: przygotowywanie posiłków, układanie naczyń i sztućców przy stole oraz ich mycie.

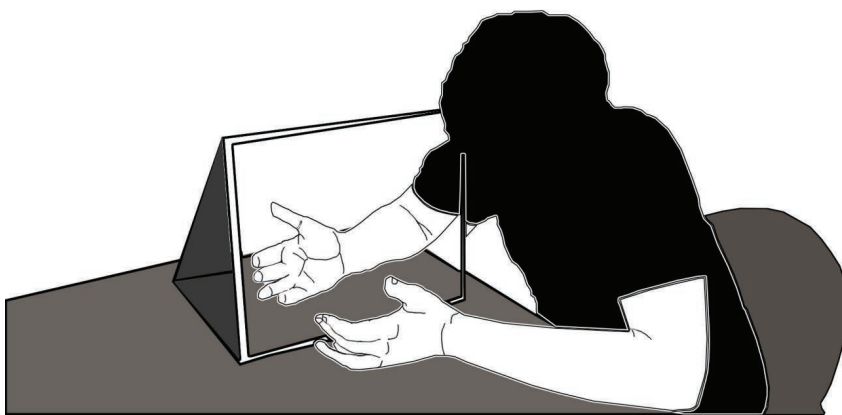
Wyniki z pomiarów nie wykazały istotnych różnic pomiędzy grupami bezpośrednio po terapii, co wskazuje na podobny jej wpływ na funkcje ruchowe. Wykazano zatem możliwość zmniejszenia generowanych kosztów poniesionych z tytułu rehabilitacji, poprzez wprowadzanie do rehabilitacji samodzielnych treningów w domu przy użyciu metody CIMT.



Rysunek 2. Przykład zastosowania Terapii Wymuszonego Ruchu w ćwiczeniu rysowania sparaliżowaną ręką.

Z kolei w leczeniu bólu fantomowego skuteczną metodą wydaje się być terapia lustrzana (*mirror therapy*, MT; Claflin, Krishnan, Khot, 2015). Polega ona na wywoływaniu za pomocą lustra iluzji istnienia amputowanej kończyny, dzięki czemu w mózgu pacjenta aktywowane są neurony pozwalające zmniejszyć wrażenia fantomowe. Terapię lustrzaną można stosować jednak także przy rehabilitacji pacjentów z niedowładem kończyn po udarze lub uszkodzeniach rdzenia kręgowego (zob. rysunek 3).

Najnowsze badania prowadzone z udziałem pacjentów po udarze mózgu potwierdzają skuteczność tej metody (Lim, Lee, Yoo, Yun, Hwang, 2016; Park, Chang, Kim, Kim, 2015), a badacze, którzy zaczęli udoskonalać tę technikę (Ambron, Miller, Kuchenbecker, Buxbaum, Coslett, 2018; Chau i in., 2017), wykazali nawet, że można ją stosować z pomocą wirtualnej rzeczywistości (*virtual reality*, VR). Warto tu zaznaczyć, że granie w gry w immersyjnym środowisku przyczynia się do podniesienia atrakcyjności takich zajęć terapeutycznych (zob. też: podrozdział *Oddziaływanie na procesy poznawcze*).



Rysunek 3. Ćwiczenie polegające na wykonywaniu ruchów zdrową ręką i obserwowanie ich w lustrze. W tym samym czasie chorą ręką pacjent próbuje wykonywać te same ruchy poza polem widzenia.

Warto dodać na marginesie, że regularne ćwiczenia ruchowe oddziałują korzystnie nie tylko na funkcje motoryczne, ale też – jak wykazano w badaniu przeprowadzonym z grupą pacjentów z przewlekłą obturacyjną chorobą płuc (*chronic obstructive pulmonary disease*, COPD) – trening niskooporowy oraz obejmujący ćwiczenia aerobowe wpływa pozytywnie także na zdolność naczyń do zmiany swojej objętości pod wpływem działania ciśnienia krwi (Aldabayan i in., 2019; Pehlivan, Niksarlioğlu, Balci, Kılıç, 2019; Sovová i in., 2015). Badania prowadzone w tym zakresie (Aldabayan i in., 2019) wykazały, że zmniejszenie sztywności aorty utrzymuje się u uczestników jeszcze przez sześć tygodni po ukończeniu treningu ruchowego, zaś badania Pehlivan i in. (2019) wykazały, że dysfunkcja mięśni szkieletowych odgrywa ważną rolę w rehabilitacji osób z COPD i że są to strategie treningowe, dzięki którym osoby chore na tę przypadłość mogą poprawić swoją wytrzymałość, a także sami mogą wpływać na odczucia braku tchu.

Równie obiecujące są wyniki badań z pacjentami ze zwłóknieniem oskrzeli, którzy uczestniczyli w programie rehabilitacji płucnej (Vainshelboim i in., 2014), obejmującej ćwiczenia oddechowe rozszerzające, trening klatki piersiowej oraz trening wzmacniający mięśnie nóg.

Oddziaływanie na procesy poznawcze. W rehabilitacji chorób neurologicznych, oprócz ponownego zapewnienia aktywności fizycznej, niezwykle ważnym

aspektem pozostaje przywracanie do pełnej sprawności funkcji poznawczych. Rehabilitacja poznawcza polegać może na różnorodnych formach interwencji, jednakże istnieje powszechna zgoda w literaturze, że trening poznawczy musi być dostosowany do indywidualnych potrzeb pacjenta (Barman, Chatterjee, Bhide, 2016). Oprócz trudności w opracowywaniu jednolitych terapii dla osób zmagających się m.in. z TBI, gdzie uszkodzenia powstałe w wyniku doznanych urazów są bardzo zróżnicowane (Barman i in., 2016), powstaje także pytanie o formę terapii poznawczej, która mogłaby przynosić najlepsze rezultaty w rehabilitacji. Z badań Lauenrotha, Anestisa i Teichmann (2016) wynika, że jednoczesny trening fizyczny i poznawczy jest bardziej skuteczny niż wykonywanie tych ćwiczeń (poznawczych lub fizycznych) pojedynczo. Najnowsze badania z dziedziny rehabilitacji neurologicznej wykorzystujące metodę poznawczo-ruchową (Choi, Kim, Han, Kim, 2015; Kayama i in., 2014; Liao, Chen, Lin, Chen, Hsu, 2019) rzeczywiście potwierdzają te doniesienia.

Na przykład w dziedzinie medycyny można coraz częściej spotkać się z wykorzystaniem wspomnianej już wyżej techniki VR w celach fizjoterapeutycznych. Metoda ta pełniła taką funkcję w badaniu Liao i in. (2019), w którym dokonano oceny wpływu treningu poznawczo-ruchowego z wykorzystaniem VR na zaburzenia funkcji wykonawczych i motorycznych u osób starszych. Uczestnicy zostali przydzieleni do jednej z dwóch grup. Jedna z nich wykonywała trening fizyczny połączony z poznawczym. Schemat ich treningu zawierał ćwiczenia aerobowe (np. stąpanie w pozycji siedzącej i stojącej), oporowe (np. ćwiczenia z taśmą *Thera Band*) i równoważące (np. stanie na stabilnej piankowej macie w różnych pozycjach oraz chodzenie do przodu i do tyłu z otwartymi i zamkniętymi oczami). Terapia poznawcza natomiast polegała na recytowaniu wierszy podczas chodzenia, nazywaniu kwiatów i zwierząt podczas pokonywania przeszkód czy rozwiązywaniu prostych działań matematycznych podczas treningu oporowego. Druga grupa odbywała swoją rehabilitację przy użyciu VR. Trening poznawczy wymagał noszenia okularów VR z kontrolerem motorycznym, co umożliwiło sterowanie kończynami. Zarówno ćwiczenia aerobowe, jak i oporowe były wykonywane w postaci przygotowanych w formie gry zadań. Wcielając się w postaci z gry, uczestnicy m.in. gotowali, czyścili okna, poruszali się po stacji metra, robili zakupy, czy grali w piłkę nożną. Choć obydwie grupy po zakończeniu badań wykazały znaczną poprawę funkcji motorycznych, to jednak grupa trenująca z użyciem technologii VR osiągnęła lepsze wyniki w testach zdolności poznawczych.

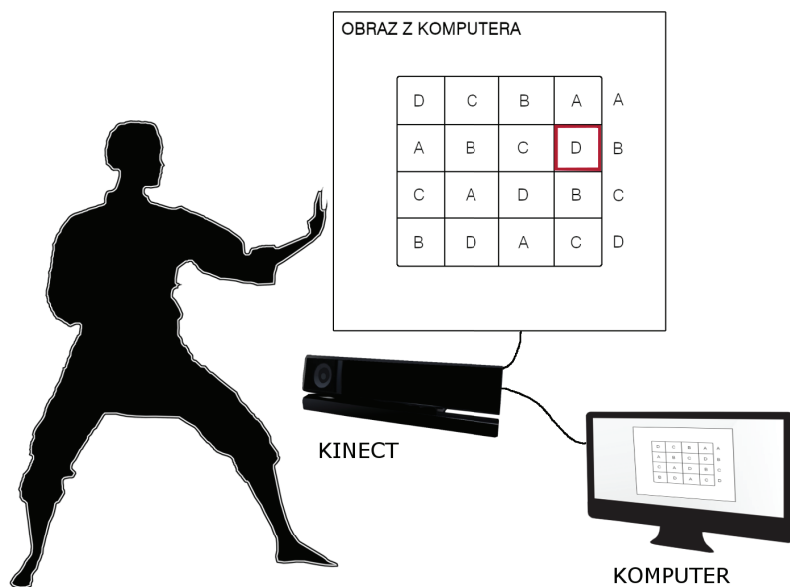
W innym badaniu, z jednoczesnym użyciem dwóch zadań treningowych, testowano ich wpływ na zdolność równowagi oraz funkcji poznawczych, a rehabilitacją zostali objęci pacjenci z niedokrwinnym udarem mózgu (Choi i in., 2015). Uczestnicy zostali podzieleni na dwie grupy. W pierwszej przeprowadzano trening poznawczo-ruchowy, a druga stanowiła grupę kontrolną, w której przeprowadzano wyłącznie ćwiczenia ruchowe. Pacjenci biorący udział w treningu przy jednoczesnym wykonywaniu dwóch zadań korzystali z platformy baropodometrycznej *BioRescue* (rysunek 4).



Rysunek 4. Urządzenie zawierające platformę stabilometryczną, służące do biofeedbacku ruchowego oraz analizy ruchu.

Specjalne oprogramowanie pozwoliło przeprowadzić trening *biofeedback*, a także posłużyło do analizy ruchu uczestników. Badani w trakcie treningów grali na platformie w gry zorientowane na terapię zaburzeń równowagi, poruszając całym ciałem oraz przenosząc ciężar ciała z jednej kończyny na drugą. Poszczególne zadania obejmowały gry pamięciowe (np. szukanie i dopasowywanie par kart czy zapamiętywanie listy zakupów i odnajdywanie poszczególnych produktów w sklepie). W przeprowadzonych następnie testach grupa z treningiem poznawczo-ruchowym okazała się być lepsza od grupy kontrolnej pod względem przyjmowania prawidłowej postawy ciała, ale też niektóre parametry funkcji poznawczych, takie jak uwaga słuchowa oraz koordynacja wzrokowo-ruchowa, okazały się być wyższe u tych badanych.

W jeszcze innym badaniu (Kayama i in., 2014) testowano wpływ innowacyjnego połączenia sztuki Tai Chi z jednoczesnym wykonywaniem zadań poznawczych (*Dual-Task Tai Chi*, DTTC). Terapią objęto osoby powyżej 65. roku życia, zaś sam trening trwał 12 tygodni. Trening DTTC odbywał się przy użyciu czujnika ruchu Kinect, który pozwalał użytkownikowi na interakcję z konsolą bez konieczności używania kontrolera, poprzez interfejs wykorzystujący ruchy kończyn. Gra wymagała od użytkowników rozwiązywania sudoku za pomocą ruchu całego ciała, rejestrowanego i przekładanego za pomocą kontrolera Kinect na ruch sylwetki postaci widniejącej na ekranie (rysunek 5). Zadaniem poznawczym było uzupełnianie trzech pól wybranych losowo z matrycy o powierzchni 4x4, która była wypełniona cyframi od 1 do 4. Ruchy gracza w trakcie wybierania oraz przesuwania cyfr były bardzo podobne do ruchów wykorzystywanych w Tai Chi Chuan.



Rysunek 5. Ćwiczenie wykorzystane w badaniu z użyciem techniki DTTC (Kayama i in., 2014).

Oprócz korzystnego wpływu na funkcje poznawcze (np. złagodzenie objawów zaburzeń adaptacyjnych, poprawa płynności werbalnej czy zwiększenie ogólnej wydajności umysłowej), trening DTTC przyczynił się również do

poprawy zdolności równowagi oraz do wzmocnienia układu krążeniowego u badanych seniorów.

Wpływ stymulacji słuchowo-ruchowej

W odpowiedzi na potrzebę coraz bardziej skutecznych metod rehabilitacji sięga się po techniki wywołujące zmiany neuroplastyczne. Szczególnym zainteresowaniem badaczy cieszą się np. zajęcia muzyczne (zob. też: Szymańska, Gut, w tym tomie). Stało się to za sprawą multimodalności tego rodzaju oddziaływania na aktywność różnych obszarów mózgu, związanych z sensomotoryką, procesami poznawczymi czy emocjonalnymi (Dhami, Moreno, DeSouza, 2014). Udało się już udowodnić, że muzykoterapia ma korzystny wpływ na pacjentów m.in. z demencją, u których terapia taka poprawia jakość ich życia (Cho, 2018; Ridder, Stige, Qvale, Gold, 2013) czy skuteczność przetwarzania poznawczego (Li i in., 2015; Satoh i in., 2015). W celu poprawy rezultatów uzyskanych z prowadzenia oddzielnie terapii ruchowych i muzycznych powstał pomysł ich połączenia. Wyniki zastosowania tej metodologii zostały opisane w raporcie z badań przeprowadzonym z osobami powyżej 65. roku życia, w których testowano wpływ programu treningowego z wykorzystaniem akompaniamentu muzycznego. Sesje treningowe odbywały się przez cały rok, a spotkania z trenerami personalnymi trwały godzinę raz w tygodniu. Uczestnicy zostali podzieleni na dwie grupy, w których schemat ćwiczeń był prawie identyczny, jednakże w jednej z grup muzyka była odtwarzana zgodnie z rytmem ćwiczeń ruchowych, podczas gdy w drugiej grupie słyszalne były tylko dźwięki perkusji, które wyznaczały rytm. Tabela 1 przedstawia plan takiego treningu. Warto zaznaczyć, że w punkcie 8., w którym uczestnicy mieli śpiewać piosenki, druga grupa czytała tylko na głos ich teksty bez podkładu melodii.

Wyniki tych badań wykazały, że choć sprawność psychomotoryczna uległa poprawie w obu grupach, to jednak znacząca poprawa funkcji wzrokowo-przestrzennych została odnotowana tylko w grupie z akompaniamentem muzycznym.

Innym sposobem łączenia terapii muzycznej z ruchową jest taniec, który stymuluje zarówno fizycznie, jak i poznawczo (Earhart, 2009; Kattenstroth, Kalisch, Kolankowska, Dinse, 2011). Obecnie naukowcy starają się zmodyfikować terapię tańcem i ruchem, dodając do niej elementy rozrywki opartej na działaniu elektroniki. Stworzono np. programy taneczne, w które można zagrać przy użyciu VR lub czujnika ruchu Kinect (Lee, Lee, Song, 2015;

Neves i in., 2015; Sampaio, Subramaniam, Arena, Bhatt, 2016). W badaniach z ich wykorzystaniem wykazano m.in. poprawę parametrów sercowo-naczyniowych (Neves i in., 2015; Sampaio i in., 2016), koordynacji ruchowej oraz złagodzenie objawów depresyjnych występujących u pacjentów z chorobą Parkinsona (Lee i in., 2015).

Tabela 1

Zestaw ćwiczeń wykorzystany w badaniach Satoh i in. (2014)

Etap	Czas trwania (min.)	Ćwiczenie
1	3	Rozgrzewka
2	10	Rytmiczne chodzenie (marsz)
3	5	Klaskanie w różnych rytmach
4	8	Trening mięśni lędźwiowych, kończyn i ścięgien
5	5	Rozciąganie stawów
6	10	Trening mięśni oddechowych (trening oddychania), trening mięśni twarzy i mowy
7	5	Ćwiczenie rytmicznych kroków tańca
8	10	Śpiewanie na głos znanych piosenek
9	2	Uspokajanie i rozluźnienie pod koniec treningu

Wspomaganie edukacji i rozwoju dziecka poprzez zastosowanie technik poznawczo-ruchowych

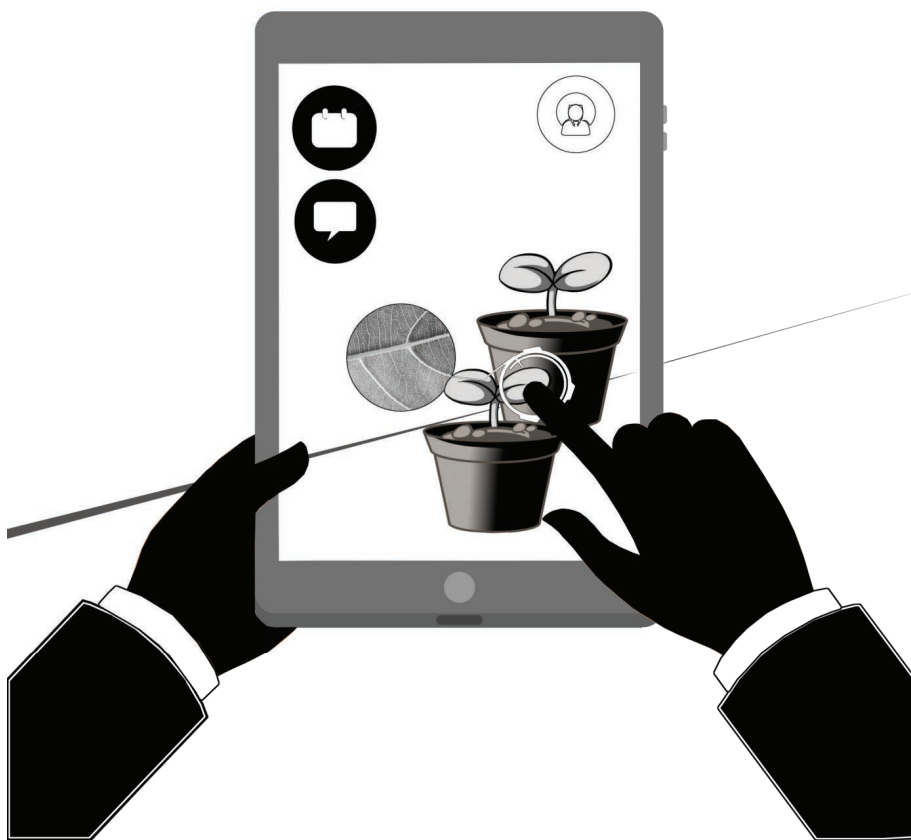
Jak pokazano wyżej, trening motoryczny może bardzo korzystnie wpływać nie tylko na funkcje ruchowe, ale także na funkcjonowanie poznawcze. Nie dziwi więc, że tego rodzaju metody znalazły swoje zastosowanie w edukacji i terapii deficytów poznawczych u dzieci. Intensywne wspomaganie jest niezwykle potrzebne szczególnie dzieciom z zaburzeniami rozwojowymi.

Skoro aktywność ruchowa może sprzyjać nie tylko kondycji fizycznej, ale też rozwojowi intelektualnemu (Kohl, Cook, 2013), a zdolności poznawcze, m.in. uwaga i pamięć, odgrywają istotną rolę w procesie uczenia się, wzmacniać je można poprzez regularne wykonywanie ćwiczeń fizycznych. Co więcej, z najnowszych badań (Chen, Zhu, Yan, Yin, 2016; Mandolesi i in., 2018) wynika, że wysiłek ruchowy prowadzi do zmian strukturalnych i funkcjonalnych mózgu (m.in. zwiększa objętość istoty szarej w obszarach

czołowych i hipokampowych, poprawia wydajność pamięci przestrzennej i roboczej oraz wpływa pozytywnie na szybkość wykonywania zadań poznawczych). W ramach połączenia treningu ruchowego i poznawczego sprawdzano (Chiang, Yang, Hwang, 2014; Khan, Johnston, Ophoff, 2019; Xiong, Zhang, Gao, 2019), czy niektóre gry komputerowe mogą stanowić narzędzie realnie pomocne we wspomaganiu funkcjonowania poznawczego dzieci i młodzieży. Przykładem zastosowania takich metod może być badanie z udziałem dzieci w wieku 4–5 lat, które miało na celu ocenić wpływ grania w gry na konsoli z wykrywaczem ruchu na poziom funkcji wykonawczych (Xiong i in., 2019). Dzieci zostały podzielone na dwie grupy. W jednej z nich odbywał się zwykły trening ruchowy (m.in. przeprowadzanie zajęć na placu zabaw czy granie w piłkę nożną), zaś w drugiej – z wykorzystaniem konsoli Wii Nintendo. Do dyspozycji uczestników korzystających z konsoli były gry symulujące taniec oraz różne aktywności sportowe, np. granie w piłkę nożną. Pomiary funkcji poznawczych po treningu wykazały, że dzieci z grupy grającej w gry uzyskiwały o wiele lepsze wyniki w *Teście sortowania kart dla dzieci* (*Dimensional Change Card Sort*, DCCS), który mierzy funkcje wykonawcze. Warto także zaznaczyć, że całe badanie odbyło się na terenie przedszkola, gdzie dzieci w trakcie wyznaczonych dla nich przerw same spontanicznie podchodziły do konsoli, by na niej zagrać. Wydaje się więc, że zastosowanie tego rodzaju gier wideo jest bardzo atrakcyjną i wartościową formą spędzania czasu dla najmłodszych.

Innym przykładem nowoczesnych technologii coraz częściej wykorzystywanym w badaniach nad edukacją oraz osiągnięciami akademickimi są aplikacje rzeczywistości rozszerzonej (*augmented reality*, AR; Khan i in., 2019). Umożliwia ona łączenie świata rzeczywistego z tym generowanym komputerowo w celu uzyskania interakcji użytkownika z nałożonymi na obraz z kamery modelami 3D w czasie rzeczywistym. Rzeczywistość rozszerzona staje się bardziej dostępna, ponieważ nie wymaga już specjalistycznego sprzętu i może być łatwo stosowana w urządzeniach mobilnych. W badaniach Chianga i in. (2014) zaproponowano uczniom szkoły podstawowej system mobilnego uczenia się opartego na zastosowaniu AR (rysunek 6). Dzieci przemieszczając się i eksplorując przestrzeń wokół nich, mogły zapoznawać się z obiektami edukacyjnymi, otrzymując (dzięki mobilnej aplikacji AR zainstalowanej na iPadzie) informacje o obserwowanym obiekcie. Uczniowie dokonując obserwacji terenu, mogli, za pośrednictwem otrzymanego urządzenia, zadawać pytania, pogłębiając tym swoją wiedzę, a nawet dodawać adnotacje i komentować wpisy

swoich rówieśników, które wyświetlały się na ogólnodostępnym dla całej grupy czacie online. Badacze wykazali, że ten innowacyjny sposób nauczania wpłynął korzystnie na motywację dzieci w takich wymiarach, jak zdobywanie wiedzy, zaś sama eksploracja terenu z zastosowaniem AR umożliwiała uczniom lepsze skupienie uwagi na oglądanym materiale (np. na cechach roślin, o których uzyskiwali automatycznie informacje).

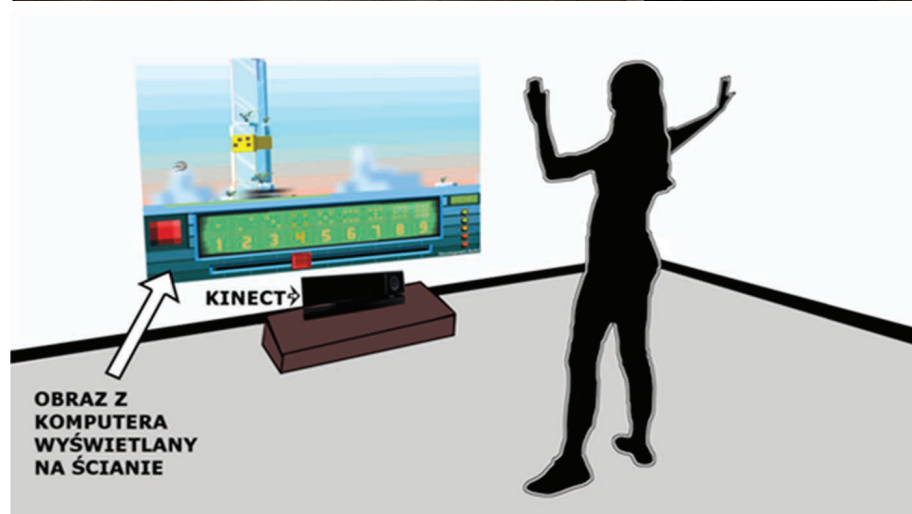


Rysunek 6. Metoda nauczania oparta na zastosowaniu AR w badaniu Chianga i in. (2014).

Technologia AR może zatem w świetny sposób posłużyć do zapewnienia informacji i wskazówek uczniom z uwzględnieniem ich lokalizacji, dodatkowo umożliwiając im przebywanie na świeżym powietrzu i bycie w ciągłym ruchu. Ze względu na swoją popularność wśród najmłodszych użytkowników,

gry komputerowe odgrywają obecnie jedną z kluczowych ról w badaniach nad najbardziej przystępnymi i nowoczesnymi sposobami nauczania dzieci (Habgood, Ainsworth, 2011; zob. też: Słupczewski, Gut, w tym tomie). Wykorzystanie gier w edukacji może przysłużyć się wzmocnieniu motywacji wśród dzieci, ponieważ stanowią one formę zabawy, w której dziecko może wcielać się w różne role, niedostępne mu na co dzień (Rizzi, Woźniakiewicz, 2008). Gry mogą zatem być wykorzystywane m.in. w edukacji przyrodniczej (Hawkins, Mendes-Ferreira, Williams, 2019; Mostowfi, Mamaghani, Khorramar, 2016), nauce słownictwa (Dejnaka, 2012; Peña-Miguel, Sedano, 2014) czy historii (Burges-Watson, Adams, Azevedo, Haighton, 2016). Tego rodzaju gry znalazły również zastosowanie w edukacji matematyki. Ze względu na koncentrację w niniejszym rozdziale na metodach wykorzystujących ruch, przybliżone zostaną wyniki niektórych badań z wykorzystaniem treningu poznawczo-ruchowego w edukacji matematycznej. Warto przy tym wspomnieć o obserwacji poczynionej przez niektórych badaczy (np. Cameron i in., 2012; Reikerås, Moser, Tønnessen, 2017), wskazującej, że sprawność ruchowa dzieci idzie w parze ze sprawnością w zakresie matematyki. Wykazano nawet, że gestykulacja pomaga w rozwiązywaniu matematycznych problemów przez uczniów (Goldin-Meadow, Alibali, 2001). Ponadto zależność między aktywnością ruchową i przetwarzaniem liczb okazała się obustronna (Shaki, Fischer, 2014). A ponieważ badania wskazują, że pewne typy zależności numeryczno-przestrzennych (mentalna oś liczbowa) podlegają oddziaływaniu ruchów ciała, opracowuje się metody treningu poznawczo-ruchowego do zastosowania w rozwijaniu podstawowych kompetencji matematycznych (Moeller, Fischer, Nuerk, Cress, 2015). Coraz częściej w badaniach nad skutecznością gier matematycznych można więc przeczytać o wykorzystaniu m.in. czujników ruchu (Gut, Matulewski, Mańkowska, Goraczewski, Finc, 2019; Link, Moeller, Huber, Fischer, Nuerk, 2013) czy innych technologii związanych z motoryką, np. mat tanecznych. Dackermann, Fischer, Nuerk, Cress i Moeller (2017) dokonali przeglądu i dyskusji wyników badań uzyskanych w serii ich eksperymentów z opracowanymi przez nich programami do usprawniania przestrzennych reprezentacji liczb oraz bazowych kompetencji matematycznych. W jednym z ich badań Fischer, Moeller, Bientzle, Cress i Nuerk (2011) użyli maty tanecznej do wykonywania przez dzieci w wieku przedszkolnym zadania trenującego mentalną oś liczbową, polegającego na porównywaniu prezentowanych liczb z liczbą referencyjną poprzez skakanie w lewo/prawo. Dzieci z grupy kontrolnej wykonywały podobne zadanie z użyciem tabletu. To jednak trening z matą

taneczną skutkowało w post-teście bardziej dokładnym szacowaniem miejsca liczb na osi oraz w przeliczaniu (mimo że ta druga umiejętność ta nie była trenowana). W innym ich badaniu (Link i in., 2013) dzieci wykonywały zadanie szacowania miejsca liczb na osi poprzez angażowanie ruchów całego ciała (rejestrowanych przez czujnik ruchu) wzdłuż osi liczbowej umieszczonej na podłodze. Skutkowało to poprawą wykonania trenowanego zadania oraz transferem tego efektu również na umiejętność dodawania. Z kolei w badaniach Gut i in. (2019) z zastosowaniem gry *Kalkulilo* i sensora ruchu Kinect, wykazano, że trening poznawczo-ruchowy wpłynął korzystniej na kształtowanie się umysłowych reprezentacji liczb (szczególnie mentalnej osi liczbowej) niż trening za pomocą tej samej gry, ale na laptopie (zob. rysunek 7). Dzieci po przejściu treningu poznawczo-ruchowego z większą precyzją wykonywały zadanie szacowania miejsca liczb na osi bez podziałki niż przed treningiem. Korzystny efekt zaangażowania ruchu w trening z grą *Kalkulilo* na poznawcze reprezentacje liczb zaobserwowano nie tylko w badaniach z dziećmi z ogólnej populacji, ale także np. w badaniach z udziałem dzieci z diagnozą Płodowego Zespołu Alkoholowego (Sobolewska, Goraczewski, Matulewski, Gut, 2019). Uczestnicy dwukrotnie (przed i po treningu z grą i czujnikiem ruchu) wykonywali baterię zadań mierzących m.in. umiejętność porównywania liczb, szacowania liczebności i szacowania miejsca liczb na osi. Wyniki wskazują, że trening poznawczo-ruchowy poprawił u dzieci w istotny sposób poziom wykonania wielu zadań, w szczególności tych opartych na operowaniu mentalną osią liczbową. Korzystny efekt odnotowano nawet w zakresie tak podstawowych umiejętności, jak rozróżnianie stron (prawa od lewej) czy czas reakcji prostej.



Rysunek 7. Trening z wykorzystaniem Kalkulilo i czujnika ruchu Kinect (fot. M. Gut).

Podsumowanie

Raczej mało kto ma obecnie wątpliwości, czy prawdą jest, że „ruch to zdrowie”. Najczęściej jednak to popularne hasło promujące zdrowy tryb życia większości odbiorców kojarzy się przede wszystkim z dobroczynnym wpływem ruchu na kondycję zdrowotną w obszarze sprawności fizycznej. Trening ruchowy korzystnie wpływa na sprawność motoryczną poprzez oddziaływanie na układ mięśniowy, sercowo-naczyniowy czy oddechowy. To oczywiste bowiem, że ruszamy się, aby być sprawnym ruchowo. Mniejsza jest natomiast świadomość, w jak dużym stopniu ruch – poprzez oddziaływanie na funkcjonowanie mózgu – poprawia sprawność umysłową. Jak pokazują wyniki licznych badań, na przykład te przywołane w dokonanym tu przeglądzie literatury, ruch jest ważnym czynnikiem podnoszącym efektywność ćwiczeń funkcjonowania poznawczego. Włączanie ruchu w terapię poznawczą wynika nie tylko z chęci zmotywowania pacjentów, wprowadzenia atrakcyjnej formy do procesu rehabilitacji, ale też opiera się na udowodnionej naukowo zależności między procesami motorycznymi i poznawczymi oraz ucieleśnieniem tych drugich. Intuicja niektórych terapeutów i nauczycieli, podpowiadająca im od dawna, że zaangażowanie ruchu całego ciała w ćwiczenia umysłowe daje najlepsze rezultaty, znalazła więc poparcie w twardych danych naukowych. Skoro aktywność ruchowa połączona z umysłową sprzyja pokonywaniu deficytów poznawczych, powinna też wzmacniać naturalne procesy rozwoju zdolności poznawczych, co sugerują np. przywołane tu wyniki badań nad zastosowaniem tego rodzaju metod w kształtowaniu umiejętności szkolnych u dzieci. Korzystne rezultaty treningów poznawczo-ruchowych dowiedzione w badaniach naukowych są zatem istotną wskazówką w tworzeniu kolejnych nowoczesnych metod terapii poznawczych i edukacji.

Podziękowania

Rozdział został przygotowany w ramach grantu Narodowego Centrum Nauki SONATA BIS, pt. *Kompleksowe badanie neuronalnego podłoża trudności w nauce matematyki oraz zmian behawioralnych i neuroplastycznych wywołanych trenin-
giem zależności liczbowo-przestrzennej* (umowa nr: UMO-2017/26/E/HS6/00033).

Część ilustracji została zaprojektowana przy użyciu zasobów z portalu Freepik.com.

Literatura cytowana

- Aldabayan, Y. S., Ridsdale, H. A., Alrajeh, A. M., Aldhahir, A. M., Lemson, A., Alqah-tani, J. S., ..., Hurst, J. R. (2019). Pulmonary rehabilitation, physical activity and aortic stiffness in COPD. *Respiratory Research*, 20(1), 166. <https://doi.org/10.1186/s12931-019-1135-6>
- Ambron, E., Miller, A., Kuchenbecker, K. J., Buxbaum, L. J., Coslett, H. B. (2018). Immersive low-cost virtual reality treatment for phantom limb pain: Evidence from two cases. *Frontiers in Neurology*, 9, 67. <https://doi.org/10.3389/fneur.2018.00067>
- Barman, A., Chatterjee, A., Bhide, R. (2016). Cognitive impairment and rehabilitation strategies after traumatic brain injury. *Indian Journal of Psychological Medicine*, 38(3), 172–181. <https://doi.org/10.4103/0253-7176.183086>
- Burges-Watson, D., Adams, J., Azevedo, L. B., Haighton, C. (2016). Promoting physical activity with a school-based dance mat exergaming intervention: Qualitative findings from a natural experiment. *BMC Public Health*, 16, 609. <https://doi.org/10.1186/s12889-016-3308-2>
- Cameron, C. E., Brock, L. L., Murrah, W. B., Bell, L. H., Worzalla, S. L., Grissmer, D., Morrison, F. J. (2012). Fine motor skills and executive function both contribute to kindergarten achievement. *Child Development*, 83(4), 1229–1244. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2012.01768.x>
- Chau, B., Phelan, I., Ta, P., Humbert, S., Hata, J., Tran, D. (2017). Immersive virtual reality therapy with myoelectric control for treatment-resistant phantom limb pain: Case report. *Innovations in Clinical Neuoscience*, 14(7–8), 3–7.
- Chen, A. G., Zhu, L. N., Yan, J., Yin, H. C. (2016). Neural basis of working memory enhancement after acute aerobic exercise: fMRI study of preadolescent children. *Frontiers in Psychology*, 7, 1804. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01804>
- Chiang, T. H. C., Yang, S. J. H., Hwang, G. J. (2014). Students' online interactive patterns in augmented reality-based inquiry activities. *Computer & Education*, 78, 97–108. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2014.05.006>
- Chipchase, L. S., Galley, P., Jull, G., McMeeken, J. M., Refshauge, K., Nayler, M., Wright, A. (2006). Looking back at 100 years of physiotherapy education in Australia. *The Australian Journal of Physiotherapy*, 52(1), 3–7. [https://doi.org/10.1016/S0004-9514\(06\)70055-1](https://doi.org/10.1016/S0004-9514(06)70055-1)
- Claflin, E. S., Krishnan, C., Khot, S. P. (2015). Emerging treatments for motor rehabilitation after stroke. *Neurohospitalist*, 5(2), 77–88. <https://doi.org/10.1177/1941874414561023>
- Cho, H. K. (2018). The effects of music therapy-singing group on quality of life and affect of persons with dementia: A randomized controlled trial. *Frontiers in Medicine*, 5, 279. <https://doi.org/10.3389/fmed.2018.00279>

- Choi, J. H., Kim, B. R., Han, E. Y., Kim, S. M. (2015). The effect of dual-task training on balance and cognition in patients with subacute post-stroke. *Annals of Rehabilitation Medicine*, 39(1), 81–90. <https://doi.org/10.5535/arm.2015.39.1.81>
- Dackermann, T., Fischer, U., Nuerk, H.-C., Cress, U., Moeller, K. (2017). Applying embodied cognition: From useful interventions and their theoretical underpinnings to practical applications. *ZDM Mathematics Education*, 49(3), 545–557. <https://doi.org/10.1007/s11858-017-0850-z>
- Daly, J. J., Wolpaw, J. R. (2008). Brain-computer interfaces in neurological rehabilitation. *The Lancet Neurology*, 7(11), 1032–1043. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(08\)70223-0](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(08)70223-0)
- Dejnaka, A. (2012). Rzeczywistość rozszerzona i jej zastosowanie w edukacji. *E-mentor*, 2(44), 30–36.
- Dhami, P., Moreno, S., DeSouza, J. F. (2014). New framework for rehabilitation – fusion of cognitive and physical rehabilitation: The hope for dancing. *Frontiers in Psychology*, 5, 1478. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01478>
- Earhart, G. M. (2009). Dance as therapy for individuals with Parkinson disease. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*, 45(2), 231–238.
- Fischer, U., Moeller, K., Bientzle, M., Cress, U., Nuerk, H.-C. (2011). Sensori-motor spatial training of number magnitude representation. *Psychonomic Bulletin & Review*, 18(1), 177–183. <https://doi.org/10.3758/s13423-010-0031-3>
- Goldin-Meadow, S., Alibali, W. M. (2001). Gesture's role in speaking, learning, and creating language. *Annual Review Psychology*, 64, 257–283. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143802>
- Gut, M., Matulewski, J., Mańkowska, K., Goraczewski, Ł., Finc, K. (2019). Move your body and learn math! The effect of motor involvement in computer cognitive training on basic mathematical abilities in case of primary school children. Poster na 21st Conference of the European Society for Cognitive Psychology, Teneryfa, Hiszpania.
- Habgood, M. P. J., Ainsworth, S. E. (2011). Motivating children to learn effectively: Exploring the value of intrinsic integration in educational games. *Journal of the Learning Sciences*, 20(2), 169–206. <https://doi.org/10.1080/10508406.2010.508029>
- Hawkins, R., Mendes-Ferreira, G. A. R., Williams, J. (2019). The development and evaluation of „Farm Animal Welfare” an educational computer game for children. *Animals*, 9(3), 91. <https://doi.org/10.3390/ani9030091>
- Hugentobler, J. A., Vegh, M., Janiszewski, B., Quatman-Yates, C. (2015). Physical therapy intervention strategies for patients with prolonged mild traumatic brain injury symptoms: A case series. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 10(5), 676–689.
- Kattenstroth, J. C., Kalisch, T., Kolankowska, I., Dinse, H. R. (2011). Balance, sensorimotor, and cognitive performance in long-year expert senior ballroom dancers. *Journal of Aging Research*, 2011(4), 176709. <https://doi.org/10.4061/2011/176709>

- Kayama, H., Okamoto, K., Nishiguchi, S., Yamada, M., Kuroda, T., Aoyama, T. (2014). Effect of a Kinect-based exercise game on improving executive cognitive performance in community-dwelling elderly: Case control study. *Journal of Medical Internet Research*, 16(2), 61. <https://doi.org/10.2196/jmir.3108>
- Khan, T., Johnston, K., Ophoff, J. (2019). The impact of an augmented reality application on learning motivation of students. *Advances in Human-Computer Interaction*, 2019, 7208494. <https://doi.org/10.1155/2019/7208494>
- Kohl, H. W., Cook, H. D. (red.). (2013). *Educating the student body: Taking physical activity and physical education to school*. Waszyngton: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/18314>
- Lauenroth, A., Anestis, E., Teichmann, B. (2016). Influence of combined physical and cognitive training on cognition: A systematic review. *BMC Geriatrics*, 16, 141. <https://doi.org/10.1186/s12877-016-0315-1>
- Lee, N. Y., Lee, D. K., Song, H. S. (2015). Effect of virtual reality dance exercise on the balance, activities of daily living, and depressive disorder status of Parkinson's disease patients. *Journal of Physical Therapy Science*, 27(1), 145–147. <https://doi.org/10.1589/jpts.27.145>
- Leech, K. A., Kinnaird, C. R., Holleran, C. L., Kahn, J., Hornby, T. G. (2016). Effects of locomotor exercise intensity on gait performance in individuals with incomplete spinal cord injury. *Physical Therapy*, 96(12), 1919–1929. <https://doi.org/10.2522/ptj.20150646>
- Lendraitienė, E., Petruševičienė, D., Savickas, R., Žemaitienė, I., Mingaila, S. (2016). The impact of physical therapy in patients with severe traumatic brain injury during acute and post-acute rehabilitation according to coma duration. *The Journal of Physical Therapy Science*, 28(7), 2048–2054. <https://doi.org/10.1589/jpts.28.2048>
- Li, C. H., Liu, C. K., Yang, Y. H., Chou, M. C., Chen, C. H., Lai, C. L. (2015). Adjunct effect of music therapy on cognition in Alzheimer's disease in Taiwan: A pilot study. *Neuropsychiatric Disease and Treatment*, 11, 291–296. <https://doi.org/10.2147/NDT.S73928>
- Liao, Y. Y., Chen, I. H., Lin, Y. J., Chen, Y., Hsu, W. C. (2019). Effects of virtual reality-based physical and cognitive training on executive function and dual-task gait performance in older adults with mild cognitive impairment: A randomized control trial. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 16(11), 162. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2019.00162>
- Lim, K. B., Lee, H. J., Yoo, J., Yun, H. J., Hwang, H. J. (2016). Efficacy of mirror therapy containing functional tasks in poststroke patients. *Annals of Rehabilitation Medicine*, 40(4), 629–636. <https://doi.org/10.5535/arm.2016.40.4.629>
- Link, T., Moeller, K., Huber, S., Fischer, U., Nuerk, H.-C. (2013). Walk the number line – An embodied training of numerical concepts. *Trends in Neuroscience & Education*, 2(2), 74–84. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2013.06.005>
- Mandolesi, L., Polverino, A., Montuori, S., Foti, F., Ferraioli, G., Sorrentino, P., Sorrentino, G. (2018). Effects of physical exercise on cognitive functioning and

- wellbeing: Biological and psychological benefits. *Frontiers in Psychology*, 9, 509. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00509>
- Moeller, K., Fischer, U., Nuerk, H.-C., Cress, U. (2015). Computers in mathematics education – Training the mental number line. *Computers in Human Behavior*, 48, 597–607. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2015.01.048>
- Mostowfi, S., Mamaghani, N. K., Khorramar, M. (2016). Designing playful learning by using educational board game for children in the age range of 7–12: (A case study: Recycling and waste separation education board game). *International Journal of Environmental & Science Education*, 11(12), 5453–5476. <https://doi.org/ijese.2016.405>
- Neves, L. E., Cerávolo, M. P., Silva, E., De Freitas, W. Z., Da Silva, F. F., Higino, W. P., ..., De Souza, R. A. (2015). Cardiovascular effects of Zumba performed in a virtual environment using XBOX Kinect. *Journal of Physical Therapy Science*, 27(9), 2863–2865. <https://doi.org/10.1589/jpts.27.2863>
- Park, J. Y., Chang, M., Kim, K. M., Kim, H. J. (2015). The effect of mirror therapy on upper-extremity function and activities of daily living in stroke patients. *Journal of Physical Therapy Science*, 27(6), 1681–1683. <https://doi.org/10.1589/jpts.27.1681>
- Park, K., Lee, S., Hong, Y., Park, S., Choi, J., Chang, K. T., ..., Hong, Y. (2015). Therapeutic physical exercise in neural injury: Friend or foe? *The Journal of Physical Therapy Science*, 27(12), 3933–3935. <https://doi.org/10.1589/jpts.27.3933>
- Pehlivan, E., Niksarlıoğlu, E. Y., Balcı, A., Kılıç, L. (2019). The effect of pulmonary rehabilitation on the physical activity level and general clinical status of patients with bronchiectasis. *Turkish Thoracic Journal*, 20(1), 30–35. <https://doi.org/10.5152/TurkThoracJ.2018.18093>
- Peña-Miguel, N., Sedano, H. M. (2014). Educational games for learning. *Universal Journal of Educational Research*, 2(3), 230–238. <https://doi.org/10.13189/ujer.2014.020305>
- Reikerås, E., Moser, T., Tønnessen, F. E. (2017). Mathematical skills and motor life skills in toddlers: Do differences in mathematical skills reflect differences in motor skills? *European Early Childhood Education Research Journal*, 25(1), 72–88. <https://doi.org/10.1080/1350293X.2015.1062664>
- Ridder, H. M., Stige, B., Qvale, L. G., Gold, C. (2013). Individual music therapy for agitation in dementia: An exploratory randomized controlled trial. *Aging & Mental Health*, 17(6), 667–678. <https://doi.org/10.1080/13607863.2013.790926>
- Rizzi, P., Woźniakiewicz, J. (2008). Perspektywy zastosowania gier symulacyjnych w edukacji – teoria i praktyka. *Homo Communicativus*, 3(5), 57–63.
- Sampaio, L. M., Subramaniam, S., Arena, R., Bhatt, T. (2016). Does virtual reality-based Kinect dance training paradigm improve autonomic nervous system modulation in individuals with chronic stroke? *Journal of Vascular and Interventional Neurology*, 9(2), 21–29. <https://doi.org/10.4172/2376-0281.1000185>

- Satoh, M., Ogawa, J., Tokita, T., Nakaguchi, N., Nakao, K., Kida, H., Tomimoto, H. (2014). The effects of physical exercise with music on cognitive function of elderly people: Mihama-Kiho Project. *PLoS ONE*, 9(4), e95230. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0095230>
- Satoh, M., Yuba, T., Tabei, K., Okubo, Y., Kida, H., Sakuma, H., Tomimoto, H. (2015). Music therapy using singing training improves psychomotor speed in patients with Alzheimer's disease: A neuropsychological and fMRI study. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders Extra*, 5(3), 296–308. <https://doi.org/10.1159/000436960>
- Shaki, S., Fischer, M. H. (2014). Random walks on the mental number line. *Experimental Brain Research*, 232(1), 43–49. <https://doi.org/10.1007/s00221-013-3718-7>
- Sobolewska, N., Goraczewski, Ł., Matulewski, J., Gut, M. (2019). Jak pomóc dzieciom z FAS w rozwijaniu podstawowych umiejętności matematycznych przy pomocy gry komputerowej i czujnika ruchu Kinect? Poster na Cracow Cognitive Science Conference, Kraków.
- Souza, W. C., Conforto, A. B., Orsini, M., Stern, A., André, C. (2015). Similar effects of two modified constraint-induced therapy protocols on motor impairment, motor function and quality of life in patients with chronic stroke. *Neurology International*, 7(1), 5430. <https://doi.org/10.4081/ni.2015.5430>
- Sovová, E., Čajka, V., Pastucha, D., Malinčíková, J., Radová, L., Sovová, M. (2015). Positive effect of yoga on cardiorespiratory fitness: A pilot study. *International Journal of Yoga*, 8(2), 134–138. <https://doi.org/10.4103/0973-6131.158482>
- Taub, E., Uswatte, G., Pidikiti, R. (1999). Constraint-Induced Movement Therapy: A new family of techniques with broad application to physical rehabilitation – A clinical review. *The Journal of Rehabilitation Research and Development*, 36(3), 237–251.
- Vainshelboim, B., Oliveira, J., Yehoshua, L., Weiss, I., Fox, B. D., Fruchter, O., Kramer, M. R. (2014). Exercise training-based pulmonary rehabilitation program is clinically beneficial for idiopathic pulmonary fibrosis. *Respiration*, 88(5), 378–388. <https://doi.org/10.1159/000367899>
- Xiong, S., Zhang, P., Gao, Z. (2019). Effects of exergaming on preschoolers' executive functions and perceived competence: A pilot randomized trial. *Journal of Clinical Medicine*, 8(4), 469. <https://doi.org/10.3390/jcm8040469>

JUDYTA GULATOWSKA

Instytut Psychologii, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

Zastosowanie sensorów stanu organizmu (*wearable sensors*) do monitorowania zachowania ludzi i zwierząt

Sposób cytowania: Gulatowska, J. (2020). Zastosowanie sensorów stanu organizmu (*wearable sensors*) do monitorowania zachowania ludzi i zwierząt. W: M. Trojan, M. Gut (red.), *Nowe technologie i metody w psychologii* (s. 159–178). Warszawa: Liberi Libri. <https://doi.org/10.47943/lib.9788363487430.rozdzial07>

Sensory stanu organizmu – co to takiego?

Pojęcie to obejmuje bardzo zróżnicowaną grupę komputerowych urządzeń mobilnych, a więc – jak wszystkie komputery – posiadających procesor, pamięć i oprogramowanie (Blasco, Chen, Kupwade Patil, Wolff, 2019). Różnice dotyczą nie tylko ich możliwości pomiarowych – precyzji, mierzonych parametrów – ale również specyfiki urządzeń, sposobu, w jaki rozmieszczone są na ciele monitorowanej osoby. Posługujemy się często anglojęzycznymi określeniami: *body sensors*, *wearable sensors*, *wearables* ze względu na to, że trudno o dobry polski odpowiednik. Można spotkać się co prawda z polskim określeniem *urządzenia ubieralne*, ale nie brzmi ono najlepiej i należy je traktować raczej jako kalkę językową niż adekwatną propozycję polskojęzycznej nazwy. Niemniej ich wspólną cechą jest właśnie to, że są wkładane niczym element garderoby, a noszone w ten sposób monitorują aktywność organizmu.

Urządzenia komercyjne: opaski fitness, zegarki SmartWatch

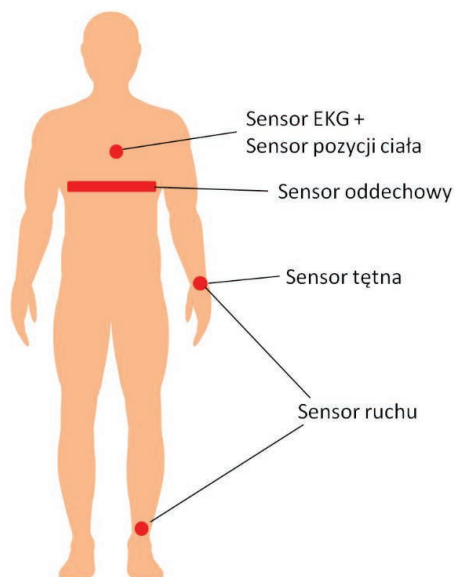
Urządzenia do monitorowania stanu organizmu stanowią dziś ogromną część rynku osobistych urządzeń elektronicznych. Wiele firm rozwija je w celach *stricto* komercyjnych. Dostępne urządzenia w postaci zegarków czy opasek mierzących intensywność poruszania się, tętno, stan snu/czuwania, szacujące liczbę spalanych kalorii, to produkty z kategorii *fitness*. Ze względu na masową produkcję, ceny tych produktów są niewielkie, co bardzo zwiększa ich rozpowszechnienie. Oprogramowanie do odczytu danych jest darmowe i można je ściągnąć w postaci aplikacji na telefon (Bunn, Navalta, Fountaine, 2018). Różny jest zakres funkcji dostępnych w poszczególnych modelach, a dokładność pomiaru nie jest duża – głównie dlatego, że czujniki nie są rozmieszczone na ciele, a jedynie znajdują się na nadgarstku. Większość tego typu urządzeń dostarcza pomiaru punktowego wybranych funkcji organizmu (Lymberis, 2003). Z drugiej strony, w wielu sytuacjach taka dokładność pomiaru jest zupełnie wystarczająca, aby dać pojęcie o aktywności danej osoby – pozwala na monitorowanie zachowania w czasie i porównywanie rezultatów. Ideą promującą tego typu urządzenia była możliwość indywidualnego kontrolowania własnej aktywności i jako efekt – zmiana przyzwyczajeń, mająca prowadzić do zdrowszego trybu życia. Producenci przewidzieli nawet pewne elementy „grywalizacji” (*gamification*), mające zwiększać motywację i czynić *feedback* bardziej zrozumiałym.

Urządzenia w związku z tym sygnalizują, czy osiągnęło się planowany limit aktywności danego dnia, przyznają „medale” za osiągnięcie kolejnych pułapów i dają możliwość łatwego podzielenia się informacjami o swoich osiągnięciach na portalach społecznościowych (Piwek, Ellis, Andrews, Joinson, 2016). Powstała nawet koncepcja odkrywania siebie poprzez osobistą analizę aktywności i stanu organizmu (*quantified self* – QS; Swan, 2012). Zgodnie z nią, taka autokontrola miałaby prowadzić do poprawy jakości snu, lepszego „zarządzania” stresem i zwiększenia produktywności (Swan, 2009). Oczywiście pozostaje pytanie, czy używanie urządzeń do monitoringu stanu własnego organizmu faktycznie wpływa na zmianę zachowań. Czy nie jest czasem tak, że to osoby które i tak są aktywne, są też skłonne mierzyć własne osiągnięcia, zaś pozostałych nie zmotywuje nawet informacja, że nie osiągnęli zakładanego celu? Są przesłanki by sądzić, że tak właśnie jest. To dość świeże zjawisko, więc liczba badań podłużnych dotyczących używania takich sprzętów jest ciągle niewielka, niemniej wynika z nich, że ludzie dość szybko rezygnują z monitorowania własnej aktywności (Herz, 2014; Piwek i in., 2016). Są jednak i takie analizy, w których wykazano, że udostępnienie w grupie starszych uczestników projektu pedometru (pomiar kroków) i konsultacji dotyczących pożądanego poziomu wysiłku fizycznego istotnie zwiększyło ich aktywność (Harris i in., 2015).

Komercyjne urządzenia ubieralne nabierają też znaczenia w sytuacjach nagłych zdarzeń, zwłaszcza w przypadku osób starszych (Patel, Park, Bonato, Chan, Rodgers, 2012; Sinnapolu, Alawneh, 2018). Mogą być wyposażone w system wykrywania upadków stworzony na podstawie danych z akcelerometru, czyli czujnika wykrywającego położenie urządzenia (Sposaro, Tyson, 2009). W połączeniu z odpowiednią aplikacją są w stanie przesłać do bliskiej osoby bądź służb medycznych komunikat alarmowy przez SMS, email lub Twitter i skrócić okres oczekiwania na pomoc. Dodatkowo, jeśli urządzenie jest wyposażone w GPS, pozwala na szybką lokalizację zdarzenia, ponieważ oznacza na mapie miejsce przebywania osoby noszącej sensor, a więc ułatwia skuteczne jej odnalezienie i udzielenie pomocy (Tartan, Ciflikli, 2018). O tym, że metoda sprawdza się w praktyce, świadczą doniesienia prasowe, w których coraz częściej pojawiają się informacje o osobach, na których wypadek udało się odpowiednio szybko zareagować dzięki temu, że ich zegarek lub inne tego typu urządzenie wysłało sygnał o stanie zagrożenia życia (Capatides, 2018; Kekatos, 2018). Dla porządku można dodać, że osobną grupą w ramach tej kategorii urządzeń są *smart glasses* (Blasco i in., 2019; Piwek i in., 2016), jednak możliwości ich wykorzystania nie będą przedmiotem tego rozdziału.

Urządzenia profesjonalne

Istnieje grupa urządzeń stworzonych do celów medycznych oraz wykorzystywanych także na potrzeby sportu wyczynowego. Oprócz tego, że rejestrują podstawowe sygnały życiowe, pozwalają także opisać kinematykę ciała podczas poszczególnych aktywności (Coyle, Morris, Lau, Diamond, Moyna, 2009). To w zasadzie układy sensorów rozmieszczone w różnych punktach dają możliwość pomiaru wskaźników fizjologicznych, biochemicznych i precyzyjny pomiar ruchu poszczególnych części ciała (Bonato, 2010a; Teng, Zhang, Poon, Bonato, 2008). U podstaw tej dziedziny leży bardzo intensywny w ostatnich latach rozwój mikroelektroniki. Wcześniej głównym problemem były zbyt duże rozmiary i waga sensorów oraz urządzeń komunikacyjnych pozwalających na przesył danych oraz okres działania baterii. Noszenie ich było zbyt niewygodne, aby nadawały się do stałego monitoringu oraz wymagały częstego ładowania lub stałego podłączenia do źródła energii. Obecnie niewielkie urządzenia zaprojektowane na zasadzie *system-on-chip* integrują funkcje związane z pomiarem, pamięcią i przesyłem danych, zaś ich wielkość pozwala „ukryć” system sensorów w elementach garderoby tak, że ich noszenie jest prawie niezauważalne i nie obniża komfortu codziennego życia (Patel i in., 2012; Roh, Hong, Yoo, 2014). W zależności od potrzeb, projektuje się elementy garderoby wyposażone w czujniki – np. rękawiczki z czujnikiem pozwalającym określać zmiany pozycji dłoni w trakcie zginania i prostowania palców i opartych o te ruchy czynności manipulacyjnych (Coyle i in., 2009). Mogą to być koszulki z umieszczonym na piersi sensorem, mierzące, na podstawie stopnia rozciągnięcia, częstość i objętość oddechu (Coyle i in., 2009; Patel i in., 2012). Również firmy komercyjne rozwijają produkcję specjalnej odzieży dla sportowców, wyposażonej w elektronikę pozwalającą monitorować stan zdrowia, wydajność podczas treningu czy rehabilitacji (Jovanov, Milenkovic, 2011).



Rysunek 1. Sposoby rozmieszczenia czujników na ciele.

W ramach prac koncepcyjnych nad sensorami dużo uwagi poświęcono analizie różnych parametrów związanych z chodzeniem – przede wszystkim stworzeniu algorytmów pozwalających na przełożenie zbieranych danych na opis ruchu (Godfrey, 2017). Analiza chodu ma zastosowania kliniczne w diagnostyce, rehabilitacji, ale także w ocenie składowych ruchu – co pozwala podnieść efektywność w niektórych dyscyplinach sportowych (Tao, Liu, Zheng, Feng, 2012). Sensory inercyjne, takie jak akcelerometry (mierzące siły przyspieszenia), żyroskopy (rejestrujące ruch obrotowy) oraz magnetometry (mierzące pole magnetyczne) stosowane łącznie są w stanie dostarczyć bardzo wielu informacji o jakości ruchu. Chód może być definiowany na dwóch poziomach. Poziom makro oznacza czas spędzony na chodzeniu i dystans, natomiast poziom mikro – przestrzenno-czasowe charakterystyki chodu (Godfrey, 2017). Wyzwaniem dla oprogramowania urządzeń ubieralnych jest wyekstrahowanie parametrów makro i mikro chodu spośród innych danych, czyli rozpoznanie, co wśród wszystkich ruchów zarejestrowanych przez czujniki jest chodem, a co nim nie jest. Aby serię danych rozpoznać jako chód makro wystarczy czujnik umieszczony punktowo – na kostce, udzie, biodrze,

ramieniu lub w talii (Mannini, Sabatini, Intille, 2015). By móc wyodrębnić wszystkie charakterystyki związane z mikro-chodem, a więc: tempo, rytm, kontrolę postawy, asymetrię, zmienność czasu lub długości kroku, potrzeba sensorów umieszczonych w wielu punktach na ciele. Można to zastosować tylko w warunkach laboratoryjnych, dlatego w urządzeniach monitorujących chód w środowisku codziennym stosuje się pewne uproszczenia (Godfrey, 2017). Badany nosi jedno urządzenie, zazwyczaj mocowane w dolnej części pleców, w okolicach kręgu L5 (Trojaniello, Cereatti, Della Croce, 2014).

Urządzenia profesjonalne mogą być wykorzystywane w diagnostyce i opiece nad chorymi, ale także w badaniach eksperymentalnych, gdy potrzebny jest pomiar danych własności. Oprócz różnorodności zbieranych danych i możliwości rejestracji zmian w czasie rzeczywistym, mają dodatkową ważną zaletę – są bezinwazyjne, małe, lekkie, pozwalają łatwo zapomnieć, że w ogóle podlega się pomiarowi. Z tego względu doskonale nadają się do monitorowania zachowania w naturalnych sytuacjach – jako wsparcie i „twarda” podbudowa badań prowadzonych w ramach podejścia ekologicznego, wcześniej bazującego głównie na obserwacjach.

Ambient sensors: sieci urządzeń monitorujących. Urządzenia monitorujące mogą być połączone w sieci dostarczające pomiarów z wielu punktów danego środowiska. Można w ten sposób stworzyć pewnego rodzaju „środowisko kontrolowane” – obszar objęty monitoringiem, z którego otrzymujemy informacje zarówno o stanie otoczenia (temperatura, wilgotność, ciśnienie), jak i parametrach organizmów w nim przebywających (funkcje życiowe, ruch, itp.). Pierwsze zastosowania sieci sensorowych wiążą się nierozłącznie z aplikacjami militarnymi. Stosowane były one jako narzędzia wykrywania ruchu jednostek nieprzyjaciela na zadanym terenie. Szybko jednak obszar zastosowań rozszerzył się o aplikacje cywilne. Łatwo sobie wyobrazić co najmniej kilka zastosowań takich rozwiązań. Obecnie bezprzewodowe sieci sensorowe stosuje się głównie w monitorowaniu parametrów środowiskowych oraz śledzeniu zwyczajów różnych gatunków zwierząt (zob. *Bezprzewodowe sieci sensorowe*, b.d.).

Takim monitorowanym „środowiskiem” może być pastwisko czy zagroda zwierząt hodowlanych, gdzie informacje z węzłów sieci mogą dotyczyć warunków zewnętrznych, tego, czy zwierzęta przebywają na wyznaczonym obszarze oraz – jeśli czujniki umieszczone są również na samych zwierzętach – ich aktywności i podstawowych funkcji fizjologicznych (Neethirajan, 2017). Siecią sensorów można jednak monitorować również mieszkanie - środowisko człowieka, który np. wymaga opieki ze względu na chorobę lub niesamodzielność (osoby starszej,

po przebytych udarach czy cierpiącej na chorobę przewlekłą). Zewnętrzne sensory zainstalowane w domu pacjenta mogą rejestrować jego zachowanie, wzorce aktywności, wychwytywać anomalie (np. upadki) i na tej podstawie formułować komunikaty o stanie pacjenta (Lo, Ip, Yang, 2016). Sieć urządzeń monitoruje, czy taka osoba wstała z łóżka, czy w pomieszczeniach jest rejestrowany ruch, a jeśli nie – to czy poprzedziło ten stan otwarcie drzwi wejściowych (które sugeruje, że ktoś opuścił mieszkanie), kiedy osoba była w toalecie itp. Jest to alternatywa dla danych zbieranych za pomocą z urządzeń ubieralnych, których dana osoba z jakichś powodów w danym momencie nie założyła (Patel i in., 2012). Wmontowane czujniki mogą wspomagać pacjenta w korzystaniu ze sprzętów domowych, np. informować, że należy zgasić światło, wyłączyć kuchenkę, czy zakręcić wodę, a w przypadku braku reakcji – wysłać komunikat alarmowy do opiekunów chorego i umożliwić im zdalne wyłączenie urządzenia (Arnrich, Mayora, Bardram, 2010). To, zwłaszcza w starzejących się społecznościach, otwiera nowe możliwości opieki nad osobami starszymi czy schorowanymi i stanowi podstawę intensywnie rozwijającej się dziedziny, jaką jest zdalna opieka nad pacjentami.



Rysunek 2. Przykładowe środowisko monitorowane za pomocą sieci sensorów.

Główne obszary praktycznego wykorzystania sensorów

Diagnoza medyczna. Wielu informacji odnośnie funkcjonowania człowieka dostarcza analiza chodu. Może być traktowana jako biomarker starzenia się i stanów patologicznych, które mogą być z tym związane. Pomiar niezbędnych

wskaźników jest możliwy dzięki zastosowaniu sensorów bazujących na inercji (Godfrey, 2017). Już sam stopień, w jakim zachowana jest szybkość chodu u osób starszych, pozwala na pewną predykcję długości życia i funkcjonowania poznawczego. Jednak to analiza parametrów mikro chodu pozwala na przewidywanie, w jakim kierunku rozwinie się patologia, jakiego rodzaju choroby zwiastunem jest pojawiające się znacznie wcześniej zaburzenie wzorca chodu (Morris, Lord, Bunce, Burn, Rochester, 2016).

Sensory znajdują więc zastosowanie w diagnozie choroby Parkinsona. Na ogół zaburzenie to diagnozowane jest na podstawie symptomów motorycznych, choć obserwowane są w nim również objawy pozamotoryczne – np. zaburzenia snu, węchu oraz demencja. Coraz częściej zwraca się uwagę, że potrzeba wyodrębnienia wczesnych symptomów choroby, bioindykatorów pozwalających wskazać ryzyko zachorowania w momencie, gdy nie są jeszcze widoczne duże objawy motoryczne (Palma, Kaufmann, 2014). Na tym właśnie polu obiecujące wydaje się zastosowanie urządzeń ubieralnych. Rovini, Maremmani i Cavallo (2017) dokonali obszernego przeglądu wyników badań z zakresu zastosowania sensorów u pacjentów cierpiących na chorobę Parkinsona i wyodrębnili kilka obszarów, w których urządzenia te mogą wspierać diagnozę. Pierwszy z nich to właśnie wczesne symptomy – akcelerometry umieszczone na miednicy i głowie pozwalają wychwytywać niestabilność postawy, pewne nieprawidłowości chodu, które odróżniają osoby we wczesnej fazie Parkinsona od zdrowych osób starszych. Pozostałe obszary to: wykrywanie drżeń, problemy z inicjacją ruchu, niestabilność postawy oraz fluktuacje motoryczne. We wszystkich tych obszarach stosowane są sensory zawierające akcelerometry i/lub żyroskopy umieszczane na różnych częściach ciała pacjenta: kostkach, podudziach i w dolnej części pleców lub na nadgarstkach i dłoniach (w postaci rękawiczek) czy na głowie – co pozwala na pomiar zmian pozycji ciała, kierunku szybkości i płynności ruchu, a dodatkowe czujniki EMG pozwalają również rejestrować siłę mięśni.

Sensory mają również zastosowanie w diagnozie demencji. Zdrowe osoby w starszym wieku i osoby cierpiące na zaburzenia demencyjne odróżnia wzorzec snu. Zaburzenia snu obejmujące aspekt zarówno ilościowy, jak i jakościowy są obserwowane i w chorobie Alzheimera i w demencji innego pochodzenia. Dlatego zaproponowano, by analizę jakości snu, którą można wykonać na podstawie danych zbieranych przez urządzenia ubieralne, włączyć do diagnostyki we wczesnych fazach demencji (Wang i in., 2010). Przeprowadzono więc badanie, w którym przez miesiąc porównywano zapis snu osoby

zdrowej i takiej z wczesnymi objawami demencji, aby zidentyfikować wzorce snu wyróżniające tę drugą grupę. Oprócz urządzenia noszonego przez osobę badaną, bazującego na czujniku podczerwieni (*Passive Infra-Red*, PIR), wykorzystywali oni system zewnętrznych sensorów zamontowanych na łóżku, które dostarczyły dodatkowych danych odnośnie spędzanego w nim czasu, latencji do zaśnięcia itp. Wykazano, że nawet wczesna faza demencji powoduje możliwe do wychwycenia przez osobiste urządzenia zmiany alteracji pomiędzy fazami snu – u osób z demencją cykle są krótsze, szybciej przechodzą z jednej fazy snu do drugiej. Metoda wydaje się obiecująca i opracowano aplikację oraz system pozwalający na wizualizację danych z monitoringu jako narzędzie dla zdalnej opieki nad chorymi, jednak niewątpliwie jest zapotrzebowanie na dalsze badania w tym zakresie, prowadzone z udziałem większej grupy (Nikamalfard i in., 2011).

Zdalna opieka nad pacjentami (*telenursing*). Jednym z obszarów aplikacyjnych, gdzie sensory stanu i aktywności organizmu mają najszersze zastosowanie jest telemedycyna. Opracowywane są rozwiązania do zdalnego monitorowania zdrowia w celach profilaktyki, wczesnej diagnozy, leczenia i rehabilitacji domowej (Bonato, 2010b; Lymberis, 2003). Nabiera to szczególnego znaczenia w sytuacji starzenia się społeczeństw zachodnich i wzrostu kosztów związanych z opieką medyczną (Patel i in., 2012). Systemy zdalnej opieki pozwalają obniżyć jej koszty poprzez skrócenie okresu pobytu w placówkach medycznych po wystąpieniu incydentów chorobowych (pacjenci mogą wrócić do domów, ponieważ pozostają pod kontrolą), a także zmniejszenie zaabsorbowania pracowników medycznych (lekarze czy pielęgniarki reagują wtedy, gdy dostaną sygnał, że coś się dzieje). Przewidywany kierunek zmian to przejście od „opieki skoncentrowanej na systemie szpitalnym” do „opieki skoncentrowanej na zdrowiu obywateli”, co oznacza również przejście od nacisku na diagnozę i leczenie do skupienia na prewencji i wczesnym wykrywaniu ryzyka (Lymberis, 2003; Tartan, Ciflikli, 2018). Oczywiście w zdalnej opiece chodzi nie tylko o redukcję kosztów. Chorzy odnoszą również korzyści emocjonalne – dłużej zachowują niezależność, samodzielność w codziennych działaniach, ale też mają zapewnione poczucie bezpieczeństwa gwarantowane przez stały monitoring kluczowych wskaźników funkcjonowania organizmu (Kim, Gollamudi, Steinhubl, 2017; Rizzo i in., 2011; Sposaro, Danielson, Tyson, 2010).

W przypadku pacjentów objętych monitoringiem po incydentach chorobowych kluczową kwestią jest zapewnienie im bezpieczeństwa. Sensory

rejestrują więc podstawowe parametry funkcji życiowych: tętno, ciśnienie krwi, aktywność elektryczną serca, częstotliwość oddechu. Czujnikiem tętna jest fotopletyzmograf (PPG), który mierzy falę pulsacyjną jako zmianę objętości krwi. Wykorzystuje właściwość krwi do absorbowania promieniowania podczerwonego. W praktyce działa to tak, że dioda LED emituje światło na powierzchnię skóry, a fotodetektor po tej samej stronie wykrywa rozproszone promieniowanie (lub fotodetektor po przeciwnej stronie wykrywa przepuszczone promieniowanie). Lokalny wzrost ciśnienia w tętnicy po skurczu serca powoduje większe pochłanianie promieniowania, co zmniejsza wskazania fotodetektora, zaś zliczenie tych cykli w ciągu minuty daje informację o tętnie (Blasco i in., 2019). Za pomocą czujników opartych na PPG można mierzyć także saturację (czyli nasycenie krwi tlenem), ciśnienie krwi oraz pojemność wyrzutową serca. Sensor umieszcza się na czubku palca, ze względu na drobne naczynia i wykorzystuje się fakt, że krew natlenowana i nienatlenowana inaczej absorbuje promieniowanie świetlne, a także różnice w absorpcji przy zmianach ciśnienia (Romano, Pistolesi, 2002). Częstość oddechu monitorują natomiast czujniki ruchu przymocowane klatce piersiowej i brzuchu (Blasco i in., 2019).

Również pomiar aktywności elektrycznej serca (EKG) jest istotnym wskaźnikiem alarmowym – jego monitoring stosuje się w przypadku chorych mających problemy z sercem, trudności z oddychaniem, napady drgawek czy doświadczających częstych omdleń. Pomiar EKG jest oparty na subtelnych zmianach napięcia na skórze, wynikających z wzorca depolaryzacji i repolaryzacji, które są efektem skurczów i rozkurczów serca (Blasco i in., 2019). Sensory pozwalają na pomiar tego wskaźnika w trybie ciągłym, a więc także na wychwytywanie nieregularności pracy serca. Jednak rejestracja czynności elektrycznej jest bardzo podatna na zakłócenia, ponieważ są również inne procesy powodujące zmiany napięcia na skórze. Można również wykorzystywać EKG do określania wskaźnika częstości oddechu, ponieważ jest to rytm skorelowany z rytmem serca. Jeśli któryś ze wskaźników wykroczy poza bezpieczny zakres, uruchamiany jest alarm – informacja trafia do osoby nadzorującej, która kontaktuje się z pacjentem, by sprawdzić, czy zły poziom wskaźników wynika faktycznie z pogorszenia stanu, czy raczej jest artefaktem powstałym np. na skutek przemieszczenia się sensora w niewłaściwe miejsce. W zależności od przyczyny objęcia pacjenta monitoringiem, sensory mogą mierzyć inne dodatkowe parametry, tzn. te najbardziej istotne w przypadku danego zaburzenia. Bazując na analizie sygnału EKG (a właściwie zmienności rytmu serca i częstości pojawiania się pików R) stworzono sensor monitorujący nasilanie się stanów depresyjnych (Roh i in., 2014).

Z kolei w przypadku osób chorujących na cukrzycę istotna jest możliwość nieinwazyjnego, ciągłego monitorowania poziomu glukozy. Można wtedy stosować sensory elektrochemiczne, ponieważ poziom glukozy można mierzyć nie tylko we krwi, ale również we łzach czy w pocie, a do wykonania testu nie jest potrzebne przebicie skóry. Zwłaszcza analiza składu potu wydaje się obecnie obiecującą ścieżką, ponieważ na tej podstawie można wyciągnąć wiele wniosków o stanie fizjologicznym organizmu: poziomie metabolitów, takich jak glukoza i mleczany, a także elektrolitów (jonów sodu i potasu), zaś urządzenia ubieralne są w stanie wykonywać takie analizy w czasie rzeczywistym (Gao i in., 2016). Co więcej, są dostępne również inne rozwiązania do pomiaru poziomu glukozy, np. oparte o stopień pochłaniania promieniowania (Blasco i in., 2019).

Innym wskaźnikiem jest reakcja skórno-galwaniczna (GSR), czyli pomiar elektrycznej przewodności skóry za pomocą określenia różnicy potencjałów dla dwóch elektrod umieszczonych w pewnej odległości od siebie. Poziom GSR zależy od potliwości i może być traktowany jako wskaźnik poziomu stresu, zwłaszcza w połączeniu z innymi wskaźnikami (Wijsman, Grundlehner, Liu, Hermens, Penders, 2011). Ciągły, nieinwazyjny pomiar tego wskaźnika może dostarczać cennych informacji o codziennym funkcjonowaniu osób z różnymi zaburzeniami psychicznymi, np. anoreksją (Crifaci i in., 2013), czy wspomagać kontrolę stanu pacjentów w terapii zaburzeń lękowych (Katsis, Katertsidis, Fotiadis, 2011).

Inny rodzaj czujników pozwala na rejestrację zmian pozycji ciała i ruchu poprzez wskazania z akcelerometru i żyroskopu, czyli czujników przyspieszenia liniowego i położenia kąтового. Sensory, odpowiednio rozmieszczone na przedramionach i rękach, pozwalają na pomiar drżenia np. w przebiegu choroby Parkinsona. Zaletą danych pochodzących z sensorów noszonych na ciele jest długotrwałość pomiaru i ciągłość sygnału, a także ocena stopnia drżenia pojawiającego się przy różnych rodzajach ruchów celowych w codziennym życiu pacjentów (Sprdlik, Hurak, Hoskocova, Ruzicka, 2009).

W przypadku pacjentów z chorobą Alzheimera kluczowa jest kontrola ich lokalizacji i zagwarantowanie opiekunom poczucia panowania nad sytuacją. Teoretycznie nie potrzeba do tego urządzeń ubieralnych – możliwość zlokalizowania daje każdy smartfon. Jednak o noszeniu przy sobie smartfona trzeba pamiętać, a ryzyko, że pacjent się oddali, zostawiając uprzednio telefon, jest zbyt duże, by promować takie rozwiązania. Dużo skuteczniejsze są urządzenia w formie zegarków, ponieważ raz założone przemieszczają się razem z wła-

ścicielem, a ponadto starsze osoby są przyzwyczajone do ich noszenia i nie odbierają tego jako dodatkowego obciążenia czy próby narzucenia im czegoś. Systemy projektowane dla chorujących na Alzheimera alarmują, gdy pacjent wyjdzie poza strefę o określonym promieniu od centralnego punktu, jakim jest jego mieszkanie. Ich lokalizację można obserwować na mapie. Dodatkowo dają możliwość dwustronnej komunikacji głosowej – tak aby opiekun mógł zapytać pacjenta, czy wszystko w porządku, oraz dać mu wskazówki, jak wrócić z miejsca, w którym się znajduje (Sposaro i in., 2010).

Rehabilitacja. Ocena skuteczności rehabilitacji, tak jak diagnoza, może być bardziej precyzyjna, jeśli dołączymy do niej informacje o funkcjonowaniu pacjenta w życiu codziennym. Dlatego noszone indywidualnie sensory znajdują praktyczne zastosowanie również w tej dziedzinie. Osobami często wymagającymi długotrwałej rehabilitacji są pacjenci po udarach, w przypadku których istotnym celem jest przywrócenie sprawności w porażonej stronie ciała. Opracowano urządzenie montowane na palcu, oparte o akcelerometr, które jest w stanie monitorować wydajność dotkniętej paraliżem kończyny w porównaniu do kończyny zdrowej. Jest w stanie wychwycić ruchy ramienia, dłoni, a także porównać użycie obu kończyn podczas ukierunkowanych aktywności wynikających z własnych potrzeb pacjenta (Liu, Rajan, Ramasarma, Bonato, Lee, 2018).

Przy wielu różnych schorzeniach pacjenci mają tendencję do ograniczania swojej aktywności, mimo że właśnie powinni ją podejmować, aby efektywniej wracać do zdrowia, albo do istniejących zaburzeń nie dokładać tych spowodowanych brakiem ruchu. Systemy zdalnego monitoringu, opartego o urządzenia ubieralne, mogą stanowić narzędzie stałej kontroli aktywności pacjentów przebywających w domu, w czasie wolnym od typowej rehabilitacji, ale mającym wpływ na przebieg całego procesu. Dodatkowo pacjenci mogą dostawać informację zwrotną, czy nie przeciążają organizmu, bądź w których momentach się tak dzieje, co przyczynia się do utrzymania zalecanych ćwiczeń na optymalnym poziomie (Patel i in., 2012). Sposobem na ocenę tego, czy pacjent samodzielnie podejmuje aktywność, może być system sensorów monitorujący postawę ciała. Odpowiednio rozmieszczone czujniki pozwolą stwierdzić, czy pacjent pozostaje w pozycji leżącej, siedzącej czy stojącej oraz sprawdzać, jak często zmienia pozycję (Miesel, Heruth, 2013).

W podnoszeniu motywacji do samodzielnej rehabilitacji w warunkach domowych wykorzystuje się również połączenie technologii sensorów i gier

interaktywnych, czasem rozszerzonych też o rzeczywistość wirtualną. Można tak dobrać gry czy zadania, żeby trenować te partie ciała, które tego wymagają, i za pomocą takich ruchów, które są dla pacjenta w danym stanie bezpieczne. System sensorów pozwala z jednej strony na interakcję, ale daje też informacje zwrotne o ruchu i poziomie wysiłku (Patel i in., 2012; Rizzo i in., 2011).

Zastosowanie sensorów w monitoringu zwierząt. Zintegrowane sieci bezprzewodowych sensorów mogą być użytecznym narzędziem w badaniach środowiskowych, jak również hodowlanych. Mogą być wykorzystywane jako źródło danych do oceny dobrostanu zwierząt, np. w wielkoskalowych gospodarstwach. Zalety tej metody związane są głównie z bezinwazyjnym i ciągłym (z dużą częstotliwością próbkowania) pomiarem wielu zmiennych oraz możliwością ich analizy w czasie rzeczywistym. Jednym z obszarów jej wykorzystania może być monitoring poziomu wskaźników świadczących o dobrostanie, bądź jego zakłóceniu, u zwierząt żyjących w warunkach stresu środowiskowego, np. w niekorzystnych warunkach temperaturowych bądź przegęszczeniu. Systemy takie pozwalają na dokonywanie jednoczesnych pomiarów w środowisku zewnętrznym, co oznacza, że można monitorować bezpośrednio np. wpływ zmian temperatury otoczenia na funkcjonowanie (wskaźniki fizjologiczne) zwierząt (McCauley, Matthews, Nugent, Mather, Simons, 2005). W zależności od potrzeb, systemy zaprojektowane dla farm mogą uwzględniać monitoring różnych wskaźników: temperatury ciała zwierząt i temperatury otoczenia, ruchu i aktywności. Bardzo istotną funkcją jest też możliwość zlokalizowania osobnika poprzez system kamer, czujniki inercyjne i GPS, umieszczane na ciałach zwierząt (np. na kołnierzach dla bydła lub świń). Sensory zaprojektowane dla zwierząt bazują oczywiście na tych samych technologiach co te dla ludzi, tyle że identyfikacja zachowań oparta jest o inne algorytmy, które muszą być opracowane dla danego gatunku. Projektując fizyczne cechy takich urządzeń, należy uwzględnić pewne dodatkowe wymagania, np. powinny być tak zbudowane i zamocowane, aby nie dało się ich łatwo pozbyć, zniszczyć przez uderzenie, szarpanie czy gryzienie, aby zwierzę nie mogło ich zgubić przypadkiem albo by noszone urządzenie nie okazało się dla niego w jakiejś sytuacji pułapką. W zależności od warunków, w jakich prowadzony jest monitoring, powinny być one wodoodporne i mrozo odporne. Należy też zwrócić uwagę na efektywność ich pracy i zużycie energii, ponieważ aby zastosowanie miało sens, urządzenia te nie mogą wymagać częstego ładowania czy zmiany baterii (Nagl i in., 2003).

Analiza danych dotyczących aktywności zwierząt pozwala wykryć nietypowe jej wzorce, co może być z kolei wykorzystywane do wnioskowania np. o wzbudzonym stresie. To, w połączeniu z innymi wskaźnikami: analizą wokalizacji (Lee i in., 2015) czy pomiarem poziomu mleczanów, pozwala zadbować o ten bardzo istotny dla dobrostanu zwierząt aspekt (Neethirajan, 2017).

Kolejnym obszarem zastosowania sensorów jest monitoring stanu zdrowia, zarówno zwierząt gospodarskich, jak i domowych. Jak zwracają uwagę projektanci takich urządzeń i systemów, zwierzęta często nie sygnalizują problemów ze zdrowiem lub sygnały te są trudne do odczytania. Zdarza się tak, że dopiero gdy symptomy są już znacznie nasilone, opiekun zauważa, że dzieje się coś złego i zwierzę trafia do weterynarza. Ten z kolei musi polegać na informacjach od opiekunów, ale początkowo często powstrzymuje się od bardziej szczegółowej diagnostyki, aby nie narażać zwierzęcia na zbędny stres. Noszone przez zwierzęta sensory, mierzące podstawowe parametry fizjologiczne (temperatura, parametry sercowo-płucne), mogą być w tej sytuacji istotnym wsparciem. Oprócz tego zastosowanie akcelerometru i rejestratora dźwięku pozwala identyfikować takie zachowania, jak chodzenie, bieganie, sen, picie, warczenie lub inne wokalizacje, drżenie czy drapanie, co – po ustaleniu normalnego dla danego osobnika wzorca – pozwala wychwytywać zachowania nietypowe, mogące również świadczyć o pojawieniu się problemu (Couse, 2018).

Związana z rozwojem technologii miniaturyzacja sensorów pozwoliła na ich stosowanie nie tylko w przypadku dużych zwierząt, ale także takich, które ważą znacznie poniżej kilograma. Urządzenia takie testowane są również w badaniach laboratoryjnych szczurów do rejestrowania zachowania w codziennych warunkach, w klatce. Sensory mogą rejestrować akcelerację w trzech płaszczyznach, co po przeanalizowaniu pozwala na określenie wzorców ruchów w poszczególnych zachowaniach oraz dekodowanie rodzaju aktywności zwierzęcia. Na podstawie danych z sensorów udaje się rozpoznać takie zachowania, jak stanie, jedzenie czy tzw. *grooming* (Venkatraman, Long, Pister, Carmena, 2007).

Jak pokazuje przegląd literatury, opatentowano szereg różnorodnych urządzeń i systemów pozwalających na monitoring zachowań zwierząt za pomocą mobilnych sensorów (Couse, 2018; Derchak, Ostertag, 2006; Truitt, Hete, Starr, 2014; Van Dijk, Uninge, Karsijns, 2016). Pozwala to znaleźć rozwiązanie pasujące do problematyki, którą chce się badać, choć może być ono niedostępne jako produkt komercyjny.

Podsumowanie

Sensory ruchu i stanu organizmu to intensywnie rozwijający się dział elektroniki – zarówno w odniesieniu do rynku konsumenckiego, jak i medycznego czy badawczego. Urządzenia te stają się coraz mniejsze, coraz tańsze (a więc dostępne), coraz bardziej precyzyjne i umożliwiają łączenie różnych danych. To sprawia, że są coraz chętniej i powszechniej wykorzystywane zarówno w badaniach podstawowych, jak i aplikacyjnych, mających rozwiązywać konkretny problem, najczęściej z obszaru diagnozy stanu zdrowia lub rehabilitacji i zdalnej opieki nad osobami z grup ryzyka (Godfrey, 2017). Zwłaszcza to ostatnie wydaje się obiecujące i ważne, jeśli weźmiemy pod uwagę starzejące się społeczeństwa Zachodu i obciążenia dla służby zdrowia, jakie z tego wynikają. Organizacja zdalnego systemu opieki może być wkrótce kluczową kwestią nie tylko stricte medyczną, ale również społeczną (Frączkowski, Sikora, Pyszczyk, 2012). W przypadku ludzi zdrowych generują pewien trend zachowań związanych z auto-monitoringiem, który rozwija się na gruncie postaw związanych ze zdrowym stylem życia i potrzebą bycia *fit*. Nie ma jednak jeszcze dowodów, iż zmiany zachowania wywołane informacją zwrotną o poziomie własnej aktywności i stanie organizmu są trwałe i prowadzą do długoterminowych zmian przyzwyczajzeń.

W badaniach z wykorzystaniem sensorów przeważa nurt aplikacyjny. Omawiane tutaj systemy związane są z diagnostyką i opieką medyczną, kontrolą hodowli zwierząt, ale również dotyczą nieomówionych obszarów, takich jak profesjonalny sport (Iervolino, Bonavolonta, Cavallari, 2017; Mencarini i in., 2019), monitoring warunków BHP (Runkle i in., 2019) czy ustalanie optymalnych procedur działania dla służb działających w sytuacjach nagłych wypadków (Meina i in., 2015).

Literatura cytowana

- Arnrich, B., Mayora, O., Bardram, J. (2010). Pervasive or ubiquitous healthcare? *Methods of Information in Medicine*, 49(1), 65–66. <https://doi.org/10.1055/s-0038-1625239>
- Bezprzewodowe sieci sensorowe. (b.d.). Pobrane z: <http://www.wsn.agh.edu.pl/?q=pl/node/164>
- Blasco, J., Chen, T. M., Kupwade Patil, H., Wolff, D. (2019). Wearables security and privacy. W: H. M. Ammari (red.), *Mission-oriented sensor networks and systems: Art and science*, t. 1 (s. 351–380). Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92384-0_11

- Bonato, P. (2010a). Advances in wearable technology and its medical applications. *Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology*, 2021–2024. <https://doi.org/10.1109/IEMBS.2010.5628037>
- Bonato, P. (2010b). Wearable sensors and systems. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 29(3), 25–36. <https://doi.org/10.1109/MEMB.2010.936554>
- Bunn, J. A., Navalta, J. W., Fountaine, C. J. (2018). Current state of commercial wearable technology in physical activity monitoring 2015–2017. *International Journal of Exercise Science*, 11(7), 503–515.
- Capatides, C. (2018). *Teen's Apple Watch may have saved her life*. Pobrane z: <https://www.cbsnews.com/news/teens-apple-watch-may-have-saved-her-life/>
- Couse, J. (2018). *Multiple sensors for monitoring health and wellness of an animal*. United States Patent: US 10,149,617 B2. Pobrane z: <https://patentimages.storage.googleapis.com/24/d6/66/adeb4a7e518aa7/US10149617.pdf>
- Coyle, S., Morris, D., Lau, K.-T., Diamond, D., Moyna, N. (2009). Textile-based wearable sensors for assisting sports performance. *Proceedings of the 6th International Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks*, 307–311. <https://doi.org/10.1109/BSN.2009.57>
- Crifaci, G., Billeci, L., Tartarisco, G., Balocchi, R., Pioggia, G., Brunori, E., ... Morales, M. A. (2013). ECG and GSR measure and analysis using wearable systems: Application in anorexia nervosa adolescents. *Proceedings of the 8th International Symposium on Image and Signal Processing and Analysis (ISPA)*, 499–504. <https://doi.org/10.1109/ISPA.2013.6703792>
- Derchak, P. A., Ostertag, K. L. (2006). *System and methods for non-invasive physiological monitoring of non-human animals*. United States Patent: US 2006/0258914 A1. Pobrane z: <https://patentimages.storage.googleapis.com/b2/bc/0b/7c029927a16392/US20060258914A1.pdf>
- Frączkowski, K., Sikora, K., Pyszczyk, T. (2012). Właściwości Inteligentnych Mobilnych Czujników Ruchu (IMCR) – zastosowanie w medycynie i sporcie. *Biomedical Engineering*, 18(4), 255–259.
- Gao, W., Emaminejad, S., Nyein, H. Y. Y., Challa, S., Chen, K., Peck, A., ... Javey, A. (2016). Fully integrated wearable sensor arrays for multiplexed in situ perspiration analysis. *Nature*, 529(7587), 509–514. <https://doi.org/10.1038/nature16521>
- Godfrey, A. (2017). Wearables for independent living in older adults: Gait and falls. *Maturitas*, 100, 16–26. <https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2017.03.317>
- Harris, T., Kerry, S. M., Victor, C. R., Ekelund, U., Woodcock, A., Iliffe, S., ... Cook, D. G. (2015). A primary care nurse-delivered walking intervention in older adults: PACE (Pedometer Accelerometer Consultation Evaluation)-lift cluster randomised controlled trial. *PLoS Medicine*, 12(2), e1001783. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1001783>

- Herz, J. C. (2014). *Wearables are totally failing the people who need them most* [Wpis na blogu]. Pobrane z: <http://www.wired.com/2014/11/where-fitness-trackers-fail/>
- Iervolino, R., Bonavolonta, F., Cavallari, A. (2017). A wearable device for sport performance analysis and monitoring. *Proceeding of the IEEE International Workshop on Measurement and Networking (Me&N)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/IWMN.2017.8078375>
- Jovanov, E., Milenkovic, A. (2011). Body area networks for ubiquitous healthcare applications: Opportunities and challenges. *Journal of Medical Systems*, 35(5), 1245–1254. <https://doi.org/10.1007/s10916-011-9661-x>
- Katsis, C. D., Katertsidis, N. S., Fotiadis, D. I. (2011). An integrated system based on physiological signals for the assessment of affective states in patients with anxiety disorders. *Biomedical Signal Processing and Control*, 6(3), 261–268. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2010.12.001>
- Kekatos, M. (2018). *Apple Watch saved life 46 old father whose heart was beating twice as fast as normal*. Pobrane z: <https://www.dailymail.co.uk/health/article-6483691/Apple-Watch-saved-life-46-year-old-father-heart-beating-TWICE-fast-normal.html>
- Kim, K., Gollamudi, S. S., Steinhubl, S. (2017). Digital technology to enable aging in place. *Experimental Gerontology*, 88, 25–31. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2016.11.013>
- Lee, J., Noh, B., Jang, S., Park, D., Chung, Y., Chang, H.-H. (2015). Stress detection and classification of laying hens by sound analysis. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 28(4), 592–598. <https://doi.org/10.5713/ajas.14.0654>
- Liu, X., Rajan, S., Ramasarma, N., Bonato, P., Lee, S. I. (2018). Finger-worn sensors for accurate functional assessment of the upper limbs in real-world settings. *Proceedings of the 40th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, 4440–4443. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2018.8513134>
- Lo, B. P. L., Ip, H., Yang, G.-Z. (2016). Transforming health care: Body sensor networks, wearables, and the Internet of things. *IEEE Pulse*, 7(1), 4–8. <https://doi.org/10.1109/MPUL.2015.2498474>
- Lymberis, A. (2003). Smart wearables for remote health monitoring, from prevention to rehabilitation: Current R&D, future challenges. *Proceedings of the 4th International IEEE EMBS Special Topic Conference on Information Technology Applications in Biomedicine*, 272–275. <https://doi.org/10.1109/ITAB.2003.1222530>
- Mannini, A., Sabatini, A. M., Intille, S. S. (2015). Accelerometry-based recognition of the placement sites of a wearable sensor. *Pervasive and Mobile Computing*, 21, 62–74. <https://doi.org/10.1016/j.pmcj.2015.06.003>
- McCauley, I., Matthews, B., Nugent, L., Mather, A., Simons, J. (2005). Wired pigs: Ad-hoc wireless sensor networks in studies of animal welfare. *Proceedings of The Second IEEE Workshop on Embedded Networked Sensors*, 29–36. <https://doi.org/10.1109/EMNETS.2005.1469096>

- Meina, M., Janusz, A., Rykaczewski, K., Ślęzak, D., Celmer, B., Krasuski, A. (2015). Tagging firefighter activities at the emergency scene: Summary of AAIA'15 data mining competition at knowledge pit. *Annals of Computer Science and Information Systems*, 5, 367–373. <https://doi.org/10.15439/2015F426>
- Mencarini, E., Leonardi, C., Cappelletti, A., Giovanelli, D., De Angeli, A., Zancanaro, M. (2019). Co-designing wearable devices for sports: The case study of sport climbing. *International Journal of Human-Computer Studies*, 124, 26–43. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2018.10.005>
- Miesel, K. A., Heruth, K. T. (2013). *Collecting posture information to evaluate therapy*. United States Patent, 8,447,401 B2. Pobrane z: <https://patentimages.storage.googleapis.com/10/0e/36/007b92a139fb52/US7330760.pdf>
- Morris, R., Lord, S., Bunce, J., Burn, D., Rochester, L. (2016). Gait and cognition: Mapping the global and discrete relationships in ageing and neurodegenerative disease. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 64, 326–345. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.02.012>
- Nagl, L., Schmitz, R., Warren, S., Hildreth, T. S., Erickson, H., Andresen, D. (2003). Wearable sensor system for wireless state-of-health determination in cattle. *Proceeding of the 25th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 3012–3015. <https://doi.org/10.1109/IEMBS.2003.1280774>
- Neethirajan, S. (2017). Recent advances in wearable sensors for animal health management. *Sensing and Bio-Sensing Research*, 12, 15–29. <https://doi.org/10.1016/j.sbsr.2016.11.004>
- Nikamalfard, H., Zheng, H., Wang, H., Mulvenna, M., McCullagh, P., Jeffers, P. (2011). A sleep pattern analysis and visualization system to support people with early dementia. *Proceedings of the 5th International ICST Conference on Pervasive Computing Technologies for Healthcare*, 510–513. <https://doi.org/10.4108/icst.pervasivehealth.2011.245948>
- Palma, J.-A., Kaufmann, H. (2014). Autonomic disorders predicting Parkinson's disease. *Parkinsonism & Related Disorders*, 20, S94–S98. [https://doi.org/10.1016/S1353-8020\(13\)70024-5](https://doi.org/10.1016/S1353-8020(13)70024-5)
- Patel, S., Park, H., Bonato, P., Chan, L., Rodgers, M. (2012). A review of wearable sensors and systems with application in rehabilitation. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 9(1), 21. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-9-21>
- Piwek, L., Ellis, D. A., Andrews, S., Joinson, A. (2016). The rise of consumer health wearables: Promises and barriers. *PLoS Medicine*, 13(2), e1001953. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1001953>
- Rizzo, A., Requejo, P., Winstein, C. J., Lange, B., Ragusa, G., Merians, A., ..., Aisen, M. (2011). Virtual reality applications for addressing the needs of those aging with disability. *Medicine Meets Virtual Reality*, 163, 510–516. <https://doi.org/10.3233/978-1-60750-706-2-510>

- Roh, T., Hong, S., Yoo, H.-J. (2014). Wearable depression monitoring system with heart-rate variability. *Proceedings of the 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 562–565. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2014.6943653>
- Romano, S. M., Pistolesi, M. (2002). Assessment of cardiac output from systemic arterial pressure in humans: *Critical Care Medicine*, 30(8), 1834–1841. <https://doi.org/10.1097/00003246-200208000-00027>
- Rovini, E., Maremmani, C., Cavallo, F. (2017). How wearable sensors can support Parkinson's disease diagnosis and treatment: A systematic review. *Frontiers in Neuroscience*, 11, 555. <https://doi.org/10.3389/fnins.2017.00555>
- Runkle, J. D., Cui, C., Fuhrmann, C., Stevens, S., Del Pinal, J., Sugg, M. M. (2019). Evaluation of wearable sensors for physiologic monitoring of individually experienced temperatures in outdoor workers in southeastern U.S. *Environment International*, 129, 229–238. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.05.026>
- Sinnappolu, G., Alawneh, S. (2018). Integrating wearables with cloud-based communication for health monitoring and emergency assistance. *Internet of Things*, 1–2, 40–54. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2018.08.004>
- Sposaro, F., Danielson, J., Tyson, G. (2010). iWander: An Android application for dementia patients. *Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology*, 3875–3878. <https://doi.org/10.1109/IEMBS.2010.5627669>
- Sposaro, F., Tyson, G. (2009). iFall: An android application for fall monitoring and response. *Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 6119–6122. <https://doi.org/10.1109/IEMBS.2009.5334912>
- Sprdlík, O., Hurak, Z., Hoskovicová, M., Ruzicka, E. (2009). Tremor analysis by decomposition of acceleration into gravity and inertial acceleration using inertial measurement unit. *Proceedings of the 9th International Conference on Information Technology and Applications in Biomedicine*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/ITAB.2009.5394320>
- Swan, M. (2009). Emerging patient-driven health care models: An examination of health social networks, consumer personalized medicine and quantified self-tracking. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 6(2), 492–525. <https://doi.org/10.3390/ijerph6020492>
- Swan, M. (2012). Sensor mania! The Internet of things, wearable computing, objective metrics, and the quantified self 2.0. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 1(3), 217–253. <https://doi.org/10.3390/jsan1030217>
- Tao, W., Liu, T., Zheng, R., Feng, H. (2012). Gait analysis using wearable sensors. *Sensors*, 12(2), 2255–2283. <https://doi.org/10.3390/s120202255>
- Tartan, E. O., Ciflikli, C. (2018). An Android application for geolocation based health monitoring, consultancy and alarm system. *Proceedings of the IEEE 42nd Annual*

- Computer Software and Applications Conference (COMPSAC)*, 341–344. <https://doi.org/10.1109/COMPSAC.2018.10254>
- Teng, X.-F., Zhang, Y.-T., Poon, C. C. Y., Bonato, P. (2008). Wearable medical systems for p-Health. *IEEE Reviews in Biomedical Engineering*, 1, 62–74. <https://doi.org/10.1109/RBME.2008.2008248>
- Trojaniello, D., Cereatti, A., Della Croce, U. (2014). Accuracy, sensitivity and robustness of five different methods for the estimation of gait temporal parameters using a single inertial sensor mounted on the lower trunk. *Gait & Posture*, 40(4), 487–492. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2014.07.007>
- Truitt, P., Hete, B. F., Starr, E. W. (2014). *Noninvasive photoplethysmographic sensor platform for mobile animals*. United States Patent: US 8,688,184 B2. Pobrane z: <https://patentimages.storage.googleapis.com/0b/8a/bc/c5283925364766/US8688184.pdf>
- Van Dijk, J. M., Uninge, E. G. J., Karsijns, W. (2016). *Device for determining movements of an animal*. United States Patent: US 2016/0353709 A1. Pobrane z: <https://patentimages.storage.googleapis.com/5b/a2/63/d0da9d78b69f8c/US20160353709A1.pdf>
- Venkatraman, S., Long, J. D., Pister, K. S. J., Carmena, J. M. (2007). Wireless inertial sensors for monitoring animal behavior. *Proceedings of the 29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 378–381. <https://doi.org/10.1109/IEMBS.2007.4352303>
- Wang, H., Zheng, H., Augusto, J. C., Martin, S., Mulvenna, M., Carswell, W., ..., McSorley, K. (2010). Monitoring and analysis of sleep pattern for people with early dementia. *Proceedings of the IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedicine Workshops (BIBMW)*, 405–410. <https://doi.org/10.1109/BIBMW.2010.5703836>
- Wijsman, J., Grundlehner, B., Liu, H., Hermens, H., Penders, J. (2011). Towards mental stress detection using wearable physiological sensors. *Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 1798–1801. <https://doi.org/10.1109/IEMBS.2011.6090512>

JULIA SIKORSKA

Instytut Psychologii, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

Zastosowanie fotopułapek w badaniach behawioralnych

Sposób cytowania: Sikorska, J. (2020). Zastosowanie fotopułapek w badaniach behawioralnych. W: M. Trojan, M. Gut (red.), *Nowe technologie i metody w psychologii* (s. 179–199). Warszawa: Liberi Libri. <https://doi.org/10.47943/lib.9788363487430.rozdzial08>

Możliwości prowadzenia obserwacji zwierząt w środowisku naturalnym bez wpływu na zachowanie – cel, który przyświecał już ludom zbieracko-łowickim, konstruującym specjalne kryjówki, mające ułatwić polowania – są dziś znacznie większe niż kiedyś. Przyczyniły się do tego: rozwój fotografii, wynalezienie przenośnych akumulatorów, świateł elektrycznych czy sprzętu cyfrowego (Kucera, Barrett, 2011). Pozwalają one na prowadzenie niezakłóconych obserwacji wielu gatunków dzikiej fauny i flory w różnych miejscach występowania, niezależnie od warunków pogodowych.

Jednym z wykorzystywanych w tym celu urządzeń są fotopułapki (zwane też kamerami leśnymi). Popularność urządzenia te zyskały dopiero około 20 lat temu, kiedy ich rozmiar i waga zmniejszyły się, a ceny – zmalały (Kays, Slauson, 2008). Dziś fotopułapki mają szereg zastosowań w badaniach zwierząt innych niż ludzie. Służą między innymi do: rejestrowania rzadkich zachowań, monitorowania gatunków prowadzących skryty tryb życia, oceny zasiedlenia czy zagęszczenia gatunkowego, określenia liczebności populacji. Kamery leśne są używane np. w ekologii, etologii, biologii zapylania czy do ochrony gatunkowej (Burton i in., 2015; Krauss, Roberts, Phillips, Edwards, 2018). Szczególnie w ciągu ostatnich 10 lat z niszowego narzędzia, służącego do monitorowania kotowatych (np. Jackson, Roe, Wangchuk, Hunter, 2006; Silver i in., 2004), fotopułapki stały się głównym urządzeniem wykorzystywanym w badaniach całych społeczności różnych gatunków zwierząt (np. Rich, Miller, Robinson, McNutt, Kelly, 2016; Wearn i in., 2017). Ten niewielkich rozmiarów sprzęt jest z powodzeniem używany w lasach deszczowych (Sanz, Morgan, Gulick, 2004), na sawannie (Swanson i in., 2015) czy w tropikalnych lasach liściastych (Karanth, Nichols, Kumar, Hines, 2006).

Charakterystyka urządzenia

Fotopułapki to uruchamiane automatycznie zdalne urządzenia optoelektroniczne, wykonujące zdjęcia lub nagrywające filmy przemieszczających się obiektów. Dziś są jednym z najskuteczniejszych narzędzi do badania zachowań dzikich zwierząt w środowisku naturalnym. Jednocześnie urządzenie to stało się produktem komercyjnym, a to za sprawą uczestników tzw. polowań rekreacyjnych, głównie w Ameryce Północnej. Modele i funkcje kamer leśnych znajdują się pod wpływem sił rynkowych, wymuszających zmiany w projektach wraz z rozwojem nowych technologii. Z tego powodu systemy fotopułapek są dopasowane do monitorowania względnie dużych gatunków – zwierząt kopytnych oraz

średnich i dużych drapieżników, bowiem takie zwierzęta są celem myśliwych (Meek, Pittet, 2012). Naukowcy zajmujący się dziką przyrodą muszą wybierać spośród tych samych modeli, chociaż ich potrzeby i oczekiwania są zgoła inne.

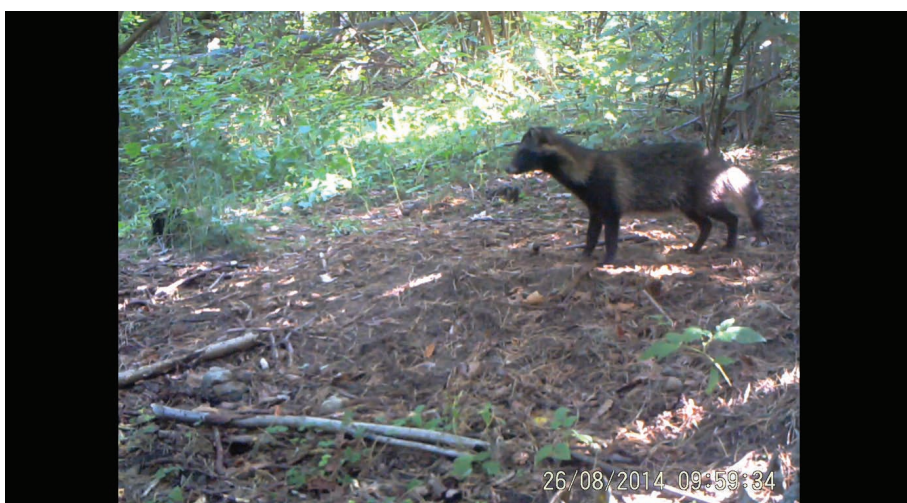
Koncentracja na rekreacji, a nie na badaniach, budziła sprzeciw przyrodników, ponieważ taki sprzęt rzadko spełniał minimalne standardy, konieczne, by móc stosować go w celach naukowych (Meek, Pittet, 2012). Z tego powodu opracowano kryteria wyboru odpowiednich modeli, pozwalające na zastosowanie w nauce. Wzięto pod uwagę czynniki takie, jak: cel badań, badane gatunki, ich siedliska, monitorowane stanowiska (*trapping side*), klimat i każdy inny aspekt, mający wpływ na działanie kamer. Meek i Pittet (2012) podają, że badacze oceniają fotopułapki na podstawie ich ceny, szybkości działania, rozmiaru, łatwości obsługi, wielofunkcyjności i wyboru ustawień. Ponadto niektóre grupy specjalistów zaprojektowały fotopułapki odpowiadające wyłącznie ich potrzebom, np. KORA w Szwajcarii, CEDT w Indiach, Panthera w USA, jednak sprzęt ten nie jest ogólnodostępny (Meek, Pittet, 2012).

Fotopułapki są szeroko stosowane na całym świecie, szczególnie w badaniach średnich i dużych ssaków lądowych oraz ptaków (por. Meek, Ballard, Fleming, 2012), ssaków nadrzewnych (Goldingay, Taylor, Ball, 2011), małych ssaków (Oliveira-Santos, Tortato, Graipel, 2008) i herpetofauny (Pagnucco, Paszkowski, Scrimgeour, 2011). Chociaż urządzenia te były używane w badaniach ekologicznych przez dekady (Kucera, Barrett, 2011), ich nowe zastosowania pojawiły się wraz z wejściem na rynek fotopułapek komercyjnych i cyfrowych. Z kolei od około 20 lat obserwuje się znaczny wzrost liczby publikacji opisujących badania z użyciem tego narzędzia (McCallum, 2013; Rowcliffe, Carbone, 2008).

Badania z zastosowaniem fotopułapek najczęściej dotyczą:

1. oceny składu jakościowego gatunków i detekcji gatunków prowadzących skryty tryb życia lub zagrożonych wyginięciem (Rovero, De Luca, 2007; Sanderson, Trolle, 2005; Tobler, Carrillo-Percastegui, Pitman, Mares, Powell, 2008);
2. oceny składu ilościowego gatunków za pomocą wskaźnika częstotliwości fotografii (*photographic rate*), oznaczającego liczbę zdjęć w jednej próbie (Carbone i in., 2001; O'Brien, Kinnaird, Wibisono, 2003; Rovero, Marshall, 2009);
3. oszacowania liczebności i zagęszczenia, przeżywalności i przyrostu populacji gatunków identyfikowanych indywidualnie metodą wielokrotnych złowień (*Capture-Mark-Recapture*, CMR; Karanth, Nichols, 1998; Karanth i in., 2006);

4. oszacowania zagęszczenia gatunków, których nie można zidentyfikować osobniczo, za pomocą metody *random encounter* (Rowcliffe, Field, Turvey, Carbone, 2008);
5. oszacowania zasiedlenia (Linkie, Dinata, Nugroho, Haidir, 2007);
6. monitorowania populacji i społeczności w czasie (O'Brien, Baillie, Krueger, Cuke, 2010);
7. analizy zespołów siedlisk (*habitat associations*; Bater i in., 2011; Bowkett, Rovero, Marshall, 2008) itp.





Rysunek 1. Kolaż zdjęć wykonanych przez fotopułapki w ramach badań własnych. Od góry: lis rudy (*Vulpes vulpes*), kunopies (*Nyctereutes procyonoides*), łось euroazjatycki (*Alces alces*), sarna europejska (*Capreolus capreolus*), zarejestrowane w lasach na Mazurach za pomocą fotopułapek firmy Bushnell.

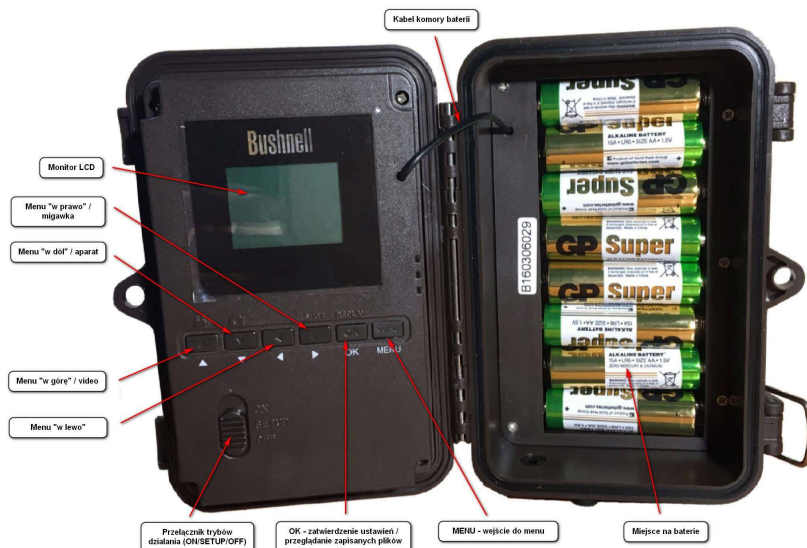
Mechanizm działania

Fotopułapki dostępne komercyjnie w latach 80. były wyposażone w białe światła ksenonowe, a zespół obwodów elektrycznych był oddzielony od kamery, która – podłączona – reagowała na przerwę w wiązce podczerwieni. W ciągu ostatnich 20 lat postęp technologiczny umożliwił wbudowanie zaawansowanych jednostek, składających się z czujników i kamery. W większości fotopułapek wykorzystuje się pasywne czujniki podczerwieni (*passive infrared sensors*, PIR), które wykrywają zmiany promieniowania cieplnego z zakresu podczerwieni i ruch obiektu (różnice między jego temperaturą a temperaturą otoczenia) lub oświetlacz podczerwieni.

Wybór marek i modeli fotopułapek dostępnych obecnie na rynku jest ogromny, a nowe funkcje są wprowadzane co roku. Marki i modele kamer leśnych mogą znacznie różnić się pod względem funkcji i specyfikacji (Cutler, Swann, 1999; Swann, Kawanishi, Palmer, 2011), jednak mają pewne wspólne elementy. Najważniejsze z nich pokazano na rysunkach 2, 3 i 4.



Rysunek 2. Przód kamery.



Rysunek 3. Wnętrze kamery.



Rysunek 4. Spód kamery.

Pasywne czujki podczerwieni to detektory piroelektryczne, które reagują na zmianę temperatury, generowaną przez poruszający się obiekt, będący źródłem promieniowania podczerwonego (Ćwirko, Ćwirko, 2009). Niestety wadą czujek PIR jest sposób, w jaki wykrywają różnicę między temperaturą

zwierzęcia a temperaturą otoczenia. Optymalna jest sytuacja, w której różnica temperatur między obiektem a otoczeniem wynosi powyżej $2,7^{\circ}\text{C}$ (Meek i in., 2012). Dlatego kiedy temperatura otoczenia mieści się w zakresie temperatur ciała większości ssaków ($31,5\text{--}36,5^{\circ}\text{C}$), fotopułapki z pasywnymi czujkami podczerwieni mogą dawać niewiarygodne dane. Kolejną wadą sensorów PIR jest to, że mogą być aktywowane przez skupiska gorącego powietrza lub roślinności znajdującej się w strefie wykrywania. Można jednak uniknąć tego problemu, kierując kamerę bezpośrednio na otoczenie, które jest wystawione na działanie światła słonecznego.

Ze względu na rodzaj czujników i diod wyróżnia się trzy rodzaje fotopułapek. Pierwszy obejmuje kamery wyposażone w czujnik PIR ze światłem podczerwonym. Większość fotopułapek dostępnych obecnie na rynku została wyposażona właśnie w PIR w połączeniu z podczerwonymi diodami LED, umożliwiającymi wykonywanie zdjęć monochromatycznych w nocy. Do drugiej kategorii należą urządzenia z czujnikiem PIR i białym światłem. Na rynku dostępne są dwa rodzaje urządzeń z wykorzystaniem tej technologii – jedno wyposażone są w lampy ksenonowe, a drugie – w białe diody LED (Meek, Pittet, 2012). Na przykład w 2012 r. wypuszczono na rynek modele Reconyx czy Scoutguard, posiadające białe światła LED. Trzeba jednak zauważyć, że wydajność tych świateł nie ma porównania z lampami ksenonowymi w kwestii optymalnej ostrości obrazu. Trzecią kategorię reprezentują urządzenia z aktywnym światłem podczerwonym (*active infrared*, AIR). W ostatnich latach systemy AIR nie są używane często, chociaż ich potencjalne zastosowanie jest szerokie. Firma Faunatech jest jedną z ostatnich, które sprzedają tego rodzaju fotopułapki. Ponadto niektóre modele fotopułapek PIR (np. Spypoint, Bolymedia) mają podwójne oświetlenie (ksenonowe i podczerwone). Użytkownik takiego urządzenia może wybrać, które światło będzie odpowiednie ze względu na cel badania.

Przy wyborze kamery leśnej warto wziąć pod uwagę funkcje wymienione poniżej.

1. Czas wyzwalania (*trigger speed*). Jest to szybkość, z jaką aparat rejestruje obraz od momentu wykrycia przez czujnik przemieszczającego się celu. Duża prędkość wyzwalania (zwykle < 1 s) zwiększa prawdopodobieństwo, że cel zostanie zarejestrowany, zaś mała prędkość może skutkować pominięciem obiektu. Funkcja ta jest powiązana ze strefą detekcji, ponieważ długi czas wyzwalania może być zrekompensowany szeroką strefą wykrywania. Krótszy czas wyzwalania będzie mniej istotny, gdy badanie polega na przyciągnięciu zwierząt do paśników, lizawek czy nęcisk (Rovero, Zimmermann, Berzi, Meek, 2013).

2. Rodzaj diody. Niektóre badania wymagają uzyskania ostrych i kolorowych zdjęć w dzień i w nocy. Tak jest w przypadku badań CMR, wymagających indywidualnego rozpoznania (zob. niżej) lub przygotowania wykazu gatunków, ponieważ zdjęcia kolorowe zwiększają szanse na identyfikację. Pod tym względem najlepiej sprawdzi się sprzęt z białymi diodami LED. Jeśli zaś chodzi o samą ostrość obrazu, to białe diody ustępują miejsca klasycznym lampom ksenonowym, które są mocniejsze, a czas trwania błysku jest wystarczająco krótki, aby uchwycić poruszające się zwierzęta. Ponadto ostatnio wprowadzono niewidoczny oświetlacz podczerwieni (*no glow/black infrared flashes*), aby zminimalizować czerwony blask emitowany przez standardowe diody podczerwone, które są widziane przez zwierzęta (Meek i in., 2014). Niewidoczne oświetlacze podczerwieni powinny minimalizować unikanie przez zwierzęta miejsc objętych monitoringiem i ograniczyć ryzyko uszkodzenia lub kradzieży sprzętu przez ludzi. Jednak podczas gdy ten rodzaj światła jest niewidzialny dla ludzkiego oka, istnieją dowody, że jest widziany przez zwierzęta, tak jak diody podczerwone. Co więcej, praca kamer jest przez nie słyszana, być może dlatego, że urządzenia te emitują hałas ultradźwiękowy (Meek i in., 2014).
3. Obszar wykrywania (*detection zone*). To strefa, w której czujniki fotopułapki mogą wykryć cel. Obszar wykrywania nie musi pokrywać się z polem widzenia kamery. Poszczególne modele urządzenia różnią się parametrami strefy detekcji i wielkości te mogą wahać się między 15,8 m² a 324,1 m² (Meek i in., 2012). Strefa wykrywania w przypadku niektórych modeli ma kształt stożka, a innych – poziomych i pionowych kurtyn. Kamery z wąską strefą wykrywania (mniejszą niż pole widzenia czujki) mają zwykle krótki czas wyzwania i wykonują zdjęcie, kiedy zwierzę znajdzie się w polu widzenia. Strefę wykrywania można do pewnego stopnia zwiększyć, przesuwając urządzenie dalej od celu, co może zrekompensować długi czas wyzwania.
4. Liczba zdjęć, czas spoczynku i filmy. Szereg kamer podczerwonych wykonuje serię zdjęć w szybkiej sekwencji (tzw. mechanizm szybkiego odtwarzania), co może być ważne z kilku powodów. Umożliwia to lepszą identyfikację zwierząt (szanse na uzyskanie w serii wysokiej jakości obrazu zostają zwiększone, szczególnie gdy zwierzęta nie poruszają się bardzo szybko). Ponadto pozwala na nagrywanie osobników w grupach rodzinnych i stadach, jak również analizowanie se-

kwencji w celu wyodrębnienia zakresu dziennego, który jest istotnym parametrem modelu *random encounter* (REM; Rowcliffe i in., 2008). W nocy urządzenia z białym światłem ksenonowym nie wykonują seryjnych zdjęć i filmów ze względu na czas potrzebny do naładowania flesza przed ponownym użyciem, który może wynieść 30 sekund. Ograniczenie to zostało niedawno wyeliminowane dzięki wprowadzeniu białych diod LED. Szybka seria zdjęć i filmów może być szczególnie przydatna w badaniach behawioralnych (np. w Alpach Wschodnich nagrania z kamer leśnych są używane w celu sprawdzenia, dlaczego niedźwiedzie brunatne [*Ursus arctos arctos*] ocierają się o drzewa; Tattoni, Bragalanti, Groff, Rovero, 2015). Jednakże przetwarzanie danych jest z tego powodu bardziej czasochłonne, karty pamięci zapełniają się szybciej, a zużycie energii jest większe, dlatego nie zaleca się nagrywania filmów, gdy same zdjęcia dostarczają oczekiwanych danych.

5. Czulość. Ustawienie, które reguluje czujnik ruchu poprzez zmianę progu wrażliwości na ciepło. Zwykle do wyboru są trzy poziomy czulości: wysoka, średnia lub niska.
6. Natężenie światła. Wiele modeli kamer leśnych umożliwia automatyczną regulację natężenia oświetlenia zadanego obszaru. Niektóre modele umożliwiają dostosowanie światła generowanego przez biały flesz do dwóch lub trzech ustawień odległości (np. UWay UV532), podczas gdy ustawienia oświetlenia i odległości w przypadku większości modeli są zaprogramowane.
7. Czas pracy urządzenia na bateriach (*power autonomy*). Badania w miejscach odległych lub trudno dostępnych, a także intensywne zbieranie danych często wymagają długiego czasu pracy urządzenia. Ogólnie aparaty z diodami generującymi światło białe zużywają więcej energii niż te wyposażone w diody podczerwone. Trzy najpopularniejsze typy akumulatorów stosowane w fotopułapkach to: baterie litowe, niklowo-wodorkowe i alkaliczne. Baterie litowe są wybierane najczęściej ze względu na wysoką moc wyjściową i żywotność, jednak są najdroższe i jednorazowe, w przeciwieństwie do baterii wielorazowych (akumulatorów). Baterie niklowo-wodorkowe lub akumulatory mają zatem przewagę nad bateriami alkalicznymi i litowymi, ponieważ są to ogniwa wielokrotnego użytku. Co ważne, wytwarzają też mniej substancji toksycznych i żrących oraz można poddać je recyklingowi. Jednakże wszystkie akumulatory mają napięcie niższe niż baterie alkaliczne i litowe, co skraca czas działania fotopułapki.

Baterie alkaliczne są najczęściej stosowanym rodzajem baterii, również w fotopułapkach, chociaż rozładowują się szybciej niż niklowo-wodorowe i litowe. Wiele modeli kamer (np. Spypoint, Bolymedia) posiada gniazdo typu *jack*, do którego można podłączyć zewnętrzny akumulator czy panel słoneczny, co zwiększa czas pracy urządzenia. Akumulatory ołowiowo-kwasowe mogą być używane w celu wydłużenia czasu czuwania. Pomimo wyższych kosztów początkowych, zaleca się ich używanie. Większość nowoczesnych fotopułapek wykorzystuje baterie typu AA.

8. Rozdzielczość, ostrość i przejrzystość obrazu. Większość fotopułapek dostępnych na rynku wykonuje zdjęcia i filmy w średniej i wysokiej rozdzielczości. Decydujące znaczenie ma jednak ostrość i przejrzystość kolorowych obrazów potrzebnych do indywidualnej identyfikacji, a w niektórych przypadkach do identyfikacji gatunkowej. Jeśli zaś chodzi o zdjęcia nocne, to jedynie te, które wykonane zostały z zastosowaniem białego światła ksenonowego, są wystarczająco wyraźne i ostre, aby umożliwić identyfikację osobników gatunków oznakowanych naturalnie. Ponadto rozdzielczość i przejrzystość zdjęć ma znaczenie, gdy fotopułapki służą do monitorowania małych zwierząt, szczególnie tam, gdzie występują gatunki sympatryczne i cechy morfologiczne osobników mogą być podobne.
9. Obudowa i szczelność kamery. Jakość obudowy, kamuflażu, stopień odporności na wodę i owady są niezwykle ważne w badaniach dzikich zwierząt (Swann i in., 2011; Meek, Pittet, 2012), zwłaszcza tam, gdzie występują opady śniegu, deszczu czy duża wilgotność. Wybierając kamerę leśną, warto zwrócić uwagę, czy istnieje możliwość jej zamontowania w metalowej skrzynce w celu ochrony przed kradzieżą lub uszkodzeniem (również ze strony dużych zwierząt). Obudowa powinna zapewniać łatwe przymocowanie do wybranego drzewa lub innej podpory, przy czym wymiana baterii i kart pamięci powinna odbywać się bez zmiany pozycji mocowania, gdyż zmienia się wtedy pole obserwacji obiektywu urządzenia. Fotopułapki są wyposażone fabrycznie w gniazda do montażu statywów, należy jednak pamiętać, że tak montowane urządzenia są bardziej podatne na podmuchy wiatru (Meek, Pittet, 2012).
10. Programowanie i ustawienia kamery. Te funkcje powinny być jak najprostsze, by umożliwić pracownikom terenowym o różnym stopniu doświadczenia odpowiednie ustawienie fotopułapek. Ponadto większość

kamer posiada opcję programowania czasu pracy, aby uniknąć niepotrzebnych zdjęć, co może być przydatne na przykład w sytuacji, gdy pora obserwacji jest ograniczona do badania aktywności gatunków nocnych.

Przed postawieniem pytań badawczych i doбором próby należy przeanalizować funkcje (parametry i ustawienia) fotopułapek (Nichols, O'Connell, Karanth, 2011). Wiele czynników lokalnych i środowiskowych może wpłynąć na wybór kamery, a w szczególności: badany gatunek, dostępność terenu, klimat, badany teren i siedlisko. Na przykład czułość będzie się zmieniać w zależności od wielkości obiektu i temperatury otoczenia. Z kolei natężenie światła może wpłynąć na jakość otrzymanych danych w zależności od rejestrowanego obszaru i rozmiaru zwierzęcia. Wymiary aparatu i obudowa są szczególnie istotne w przypadku stanowisk znajdujących się w dużej odległości od aparatu i/lub rejestracji w trudnych warunkach pogodowych. Czas pracy urządzenia jest istotny w przypadku badań, w których dane z kamer nie mogą być zbierane regularnie.

Przykłady zastosowań fotopułapek w badaniach dzikiej przyrody

Prezentacja i omówienie wszystkich badań behawioralnych z wykorzystaniem fotopułapek wykracza poza zakres tego rozdziału. Z tego względu skoncentrowano się na tych, które wpisują się w najczęstszy kierunek badań z użyciem kamer leśnych oraz na tych najciekawszych.

Fotopułapki są nieocenionym narzędziem w badaniach gatunków zagrożonych wyginięciem. Urządzenia te zostały wykorzystane do monitorowania krytycznie zagrożonych wyginięciem zwierząt z rodziny łuskowcowatych (pangolinów, *Manidae*) i uzyskania wiedzy na temat biologii i ekologii tych niepoznanych jeszcze zwierząt (Khwaja i in., 2019; Willcox i in., 2019). Populacja łuskowcowatych z każdym rokiem drastycznie maleje – są jednym z najczęściej przemycanych zwierząt na świecie (20% przemytu na czarnym rynku; Heinrich i in., 2017). Zabija się je m.in. dla łusek, mięsa czy wnętrzości (Boakye, Pietersen, Kotzé, Dalton, Jansen, 2014; Challender, Waterman, 2017; Mohapatra, Panda, Acharjyo, Nair, Challender, 2015; Nijman, 2015). Wszystkie osiem afrykańskich i azjatyckich gatunków znajduje się na *Czerwonej liście gatunków zagrożonych IUCN* i w załączniku I do konwencji CITES, ustanawiającym międzynarodowy zakaz handlu. Niestety kłusownictwo i handel łuskowcami wciąż kwitnie (Heinrich i in., 2017). Pomimo wysokiego poziomu

eksploatacji gatunku, łuskowce długo nie były przedmiotem zainteresowania naukowców i nakłady czynione na ich ochronę były niewielkie. Khwaja i in. (2019), oprócz ogólnej analizy danych ze 103 badań z użyciem fotopułapek, zrealizowanych w 22 krajach na siedmiu z ośmiu gatunków łuskowców, dokonali analizy zasiedlenia trzech gatunków – łuskowca jawańskiego (*Manis javanica*), łuskowca białobrzuchego (*Phataginus tricuspis*) i łuskowca olbrzymiego (*Smutsia gigantea*).

Inny zespół badaczy użył fotopułapek do oszacowania wielkości populacji, zagęszczenia i dzielenia przestrzeni (*spatial partitioning*) przez zagrożone wyginięciem lamparty jawańskie (*Panthera pardus melas*) i cyjony (*Cuon alpinus*) w tropikalnym krajobrazie leśnym na południowym zachodzie Jawy Zachodniej. Są to gatunki sympatryczne, a ich dieta częściowo się pokrywa (Rahman i in., 2018).

Z kolei Vitkalova i in. (2018) monitorowali liczebność, przeżywalność i migracje krytycznie zagrożonego wyginięciem lamparta amurskiego (*Panthera pardus orientalis*), zamieszkującego obszar transgraniczny Rosji i Chin. Na uwagę zasługuje fakt, że badania zostały przeprowadzone przez zespół międzynarodowy, ponieważ wyniki badań zrealizowanych przez poszczególne kraje, Rosję i Chiny, zawyżały liczebność populacji aż o 18% i były mniej precyzyjne w stosunku do monitoringu zintegrowanego.

Dzięki kamerom leśnym zaobserwowano także, że szympansy zwyczajne zamieszkujące lasy Afryki Zachodniej regularnie wrzucają kamienie do wybranych pustych drzew. W ten sposób w pniach tworzą się stosy kamieni. Wyjaśnienie tego zachowania jest obecnie przedmiotem wnikliwych analiz badaczy. Kalan i in. (2019) zaobserwowali, że jest to rodzaj komunikacji międzyosobniczej. Naczelne wybierają bowiem drzewa, które przy uderzeniu generują głośnie i donośne dźwięki.

Za pomocą fotopułapek można też dokonać oceny struktury płciowej u kotowatych (Anile, Devillard, 2017) czy aktywności dobowej oraz reakcji na nowe bodźce u borsuka europejskiego (*Meles meles*) (Trojan, Sikorska, dane niepublikowane).

Z kolei Reyes i in. (2017) użyli fotopułapek do szacunków demograficznych populacji niedźwiedzia andyjskiego (*Tremarctos ornatus*). Wcześniej dynamika populacji, wykorzystanie siedlisk i szereg zachowań, takich jak zaloty czy reprodukcja, zostały opisane w niewielkim stopniu.

Kamery leśne umożliwiły również ocenę składu gatunkowego, np. dziko żyjących ssaków i ptaków występujących we wsiach w województwie podla-

skim (Wereszczuk, 2015). Z wyłączeniem zwierząt domowych (psów i kotów), spośród ssaków gatunkiem dominującym we wsiach Białowieża, Nowa Wola i Juskowy Gród były: kuna domowa (*Martes foina*), tchórz zwyczajny (*Mustela putorius*), jeż wschodni (*Erinaceus roumanicus*), lis rudy (*Vulpes vulpes*), nietoperze (*Chiroptera*), myszy (*Mus sp.*) i szczury (*Rattus sp.*). Spośród ptaków natomiast – rudzik (*Erithacus rubecula*), kos (*Turdus merula*), sikora bogatka (*Parus major*), drozdowate nieoznaczone do gatunku (*Turdus sp.*), kopciuszek (*Phoenicurus ochruros*) i zięba (*Fringilla coelebs*) (Wereszczuk, 2015).

Innym przykładem użycia fotopułapek jest monitorowanie żbika europejskiego (*Felis silvestris*) w Niemczech. W ciągu ostatnich 200 lat populacja żbików radykalnie zmalała w wyniku opresyjnego działania człowieka, utraty ich naturalnych siedlisk oraz hybrydyzacji z kotami domowymi (np. Wening, Werner, Waltert, Port, 2019). W Polsce podobne badania, choć dotyczące rysia euroazjatyckiego (*Lynx lynx*) na terenie Gorczańskiego Parku Narodowego, przeprowadzili Czarnota, Loch, Armatys, Wierzbowska i Matyssek (2019).

Kamery leśne wykorzystuje się również w badaniach dotyczących biologii zapylania – dzięki nim identyfikacja gatunków zwierząt zapylających rośliny jest dużo łatwiejsza. Na przykład spośród 2753 zarejestrowanych zwierząt odwiedzających rośliny z gatunku *Banksia menziesii* Krauss i in. (2018) wyróżnili pięć gatunków ptaków z rodziny miodojadów (*Meliphagidae*) i jednego z nielicznych ssaków odżywiających się nektarem i pyłkiem kwiatowym – ostronoga nektarowego (*Tarsipedidae*).

Fotopułapki są wykorzystywane także do analizy sieci społecznych (*Social Network Analysis*, SNA), oceny relacji społecznych, m.in. struktury i dynamiki grupowej oraz transmisji zachowań szympanсів zachodnich (*Pan troglodytes verus*) (McCarthy i in., 2019), a także do oceny struktury i dynamiki demograficznej grup społecznych tego gatunku (Despres-Einspenner, Howe, Drapeau, Köhl, 2017).

Z kolei polscy badacze, Gryz i Krauze-Gryz (2018), użyli kamer leśnych, by uzyskać informacje o strukturze płci i przyroście populacji jelenia (*Cervus elaphus*). W ten sposób otrzymali dane o procentowym udziale byków, łan i cieląt w populacji jelenia na terenie Puszczy Białowieskiej.

Wykorzystanie kamer leśnych może też dostarczyć danych na temat zagęszczenia populacji, np. ocelota wielkiego (*Leopardus pardalis*) na wyspie Barro Colorado na Kanale Panamskim, gatunku prowadzącego skryty tryb życia (Rodgers i in., 2014), wilka szarego (*Canis lupus*) we włoskiej prowincji Arezzo (Mattioli, Canu, Passilongo, Scandura, Apollonio, 2018), tygrysów

(*Panthera tigris*) w Indiach, Nepalu, Tajlandii, Malezji i Indonezji (Carbone i in., 2001) czy kuny wodnej (kuny rybarki, *Martes pennanti*) (Jordan, Barrett, Purcell, 2011).

Harrison, Kochert, Pauli i Heath (2019) użyli fotopułapek do obserwacji zachowań orła przedniego (*Aquila chrysaetos*). Badaczy interesowała dieta, produktywność i prawdopodobieństwo wykrycia ofiary przez te gniazdujące w skałach drapieżniki.

Otrzymano również interesujące dane na temat zagęszczenia i liczebności najmniejszych parzystokopytnych na świecie, kanczyli orientalnych (*Tragulus kanchil*), zamieszkujących tereny Parku Narodowego Southern Cardamom w południowo-zachodniej Kambodży (Gray, 2018) i kanczyli srebrnogrzbitych (*Tragulus versicolor*) w Wietnamie (Nguyen i in., 2019). Ten drugi gatunek został opisany w 1910 r. na podstawie obserwacji czterech osobników widzianych w pobliżu miasta Nha Trang w południowym Wietnamie, po czym przez 80 lat brak było doniesień naukowych na jego temat. W 1990 r. w południowo-środkowym Wietnamie odnotowano obecność jednego osobnika tego gatunku. Kolejna przerwa w doniesieniach trwała aż do 2019 roku, kiedy Nguyen i in. (2019) przeprowadzili w trzech wietnamskich prowincjach wywiady z lokalnymi mieszkańcami i pracownikami obszarów chronionych na temat ssaków występujących ich w okolicy, a następnie – w oparciu o uzyskane informacje – rozstawili fotopułapki. Początkowo umieszczono trzy kamery w jednym z obszarów wskazanych przez miejscową ludność. Trzy miesiące później rozstawiono jeszcze 30 fotopułapek. W okresie od kwietnia do lipca 2018 r. z rejestracji dokonanych podczas 2643 dni uzyskano 1881 zdjęć kanczyli srebrnogrzbitych. Zwierzęta zostały zarejestrowane w 15 z 29 lokalizacji. Okazało się, między innymi, że gatunek ten prowadzi dzienny i samotniczy tryb życia.

Ocena znakowania drzew przez niedźwiedzie brunatne (*Ursus arctos arctos*) z uwzględnieniem, między innymi, wieku, płci i czasu, była przedmiotem badań zespołu Tattoni i in. (2015). Oznaczanie drzew przez niedźwiedzie stanowi rodzaj wewnątrzgatunkowej komunikacji chemicznej. Trzyletnie badania populacji liczącej 50 osobników we wschodnich Alpach włoskich dostarczyły ponad 500 filmów z ponad 9000 dni. Wiek i płeć zostały określone w 59% nagrań. Ustalono, że ocieranie było wykonywane głównie przez dorosłe samce, a samice i młode robiły to sporadycznie (zachowanie to pozwala również usunąć ektopasożyty). Ocieranie występowało częściej w trakcie sezonu rozrodczego. Otrzymane dane stanowią potwierdzenie hipotezy, że główną funkcją tego zachowania jest strategia rozrodcza samców.

Ograniczenia

Podczas gdy rozwój technologiczny umożliwia ciągłe udoskonalanie fotopułapek, pojawiają się doniesienia o wadach tego narzędzia. Po pierwsze, fotopułapki są wykrywane przez zwierzęta. Żadna kamera nie pozostaje całkowicie niezauważona. Widziane i słyszane są nawet profesjonalne modele Reconyx IR z lampą *no glow* (Meek i in., 2014). Niektóre gatunki zwierząt widzą błysk IR i/lub słyszą ultradźwięki generowane przez kamery. Po drugie, zarówno światło białe, jak i podczerwone nie jest wystarczająco mocne, by umożliwić dużą prędkość migawki (*fast shutter speed*), co często powoduje rozmycie zdjęć. Po trzecie, wciąż istnieje zapotrzebowanie na cyfrowe kamery leśne, by móc dostosowywać natężenie światła. Po czwarte, brakuje fotopułapki, która wykonywałaby zdjęcia wielokrotnie w ciągu jednego wyzwolenia migawki.

Wobec wielu ograniczeń, z jakimi wiąże się prowadzenie badań z użyciem fotopułapek, najlepszym rozwiązaniem wydaje się łączenie kilku metod, np. fotopułapek z telemetrią i klasyczną obserwacją. Zrobili tak na przykład Leuchtenberger, Zucco, Ribas, Magnusson i Mourão (2014), rejestrując aktywność wydry olbrzymiej (zwanej też ariranią amazońską, *Pteronura brasiliensis*).

Literatura cytowana

- Anile, S., Devillard, S. (2018). Camera-trapping provides insights into adult sex ratio variability in felids. *Mammal Review*, 48(3), 168–179. <https://doi.org/10.1111/mam.12120>
- Bater, C. W., Coops, N. C., Wulder, M. A., Hilker, T., Nielsen, S. E., McDermid, G., Stenhouse, G. B. (2011). Using digital time-lapse cameras to monitor species-specific understorey and overstorey phenology in support of wildlife habitat assessment. *Environmental Monitoring Assessment*, 180(1–4), 1–13. <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1768-x>
- Boakye, M. K., Pietersen, D. W., Kotzé, A., Dalton, D. L., Jansen, R. (2014). Ethnomedicinal use of African pangolins by traditional medical practitioners in Sierra Leone. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, 10(1), 76. <https://doi.org/10.1186/1746-4269-10-76>
- Bowkett, A. E., Rovero, F., Marshall, A. R. (2008). The use of camera-trap data to model habitat use by antelope species in the Udzungwa Mountain forests, Tanzania. *African Journal of Ecology*, 46(4), 479–487. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2028.2007.00881.x>

- Burton, A. C., Neilson, E., Moreira, D., Ladle, A., Steenweg, R., Fisher, J. T., ..., Boutin, S. (2015). Wildlife camera trapping: A review and recommendations for linking surveys to ecological processes. *Journal of Applied Ecology*, 52(3), 675–685. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12432>
- Carbone, C., Christie, S., Conforti, K., Coulson, T., Franklin, N., Ginsberg, J. R., ..., Wan Shahrudin, W. N. (2001). The use of photographic rates to estimate densities of tigers and other cryptic mammals. *Animal Conservation*, 4(1), 75–79. <https://doi.org/10.1017/S1367943001001081>
- Challender, D. W. S., Waterman, C. (2017). *Implementation of CITES Decisions 17.239 b) and 17.240 on Pangolins (Manis spp.)*. Pobrane z: <https://www.cites.org/sites/default/files/eng/com/sc/69/E-SC69-57-A.pdf>
- Cutler, T. L., Swann, D. E. (1999). Using remote photography in wildlife ecology: A review. *Wildlife Society Bulletin*, 27(3), 571–581. <https://doi.org/10.2307/3784076>
- Czarnota, P., Loch, J., Armatys, P., Wierzbowska, I., Matysek, M. (2019). Monitoring rysia euroazjatyckiego (*Lynx lynx*) z użyciem fotopułapek na terenie Gorczańskiego Parku Narodowego – wskazania do ochrony gatunku w oparciu o wyniki z okresu 2014–2018. *Studia i Materiały CEPL w Rogowie*, 59(2), 77–87.
- Ćwirko, R., Ćwirko, J. (2009). Badania detektorów piroelektrycznych w środowisku zmian temperatury. *Biuletyn WAT*, 58(3), 211–222.
- Despres-Einspenner, M.-L., Howe, E. J., Drapeau, P., Kühl, H. S. (2017). An empirical evaluation of camera trapping and spatially explicit capture-recapture models for estimating chimpanzee density. *American Journal of Primatology*, 79(7), e22647. <https://doi.org/10.1002/ajp.22647>
- Goldingay, R. L., Taylor, B. D., Ball, T. (2011). Wooden poles can provide habitat connectivity for a gliding mammal. *Australian Mammalogy*, 33(1), 36–43. <https://doi.org/10.1071/AM10023>
- Gray, T. N. E. (2018). Monitoring tropical forest ungulates using camera-trap data. *Journal of Zoology*, 305(3), 173–179. <https://doi.org/10.1111/jzo.12547>
- Gryz, J., Krauze-Gryz, D. (2018). Struktura płci i przyrost populacji jelenia *Cervus elaphus* w Puszczy Białowieskiej – porównanie dwóch metod oceny. *Sylvan*, 162(11), 965–968.
- Harrison, J. T., Kochert, M. N., Pauli, B. P., Heath, J. A. (2019). Using motion-activated trail cameras to study diet and productivity of cliff-nesting Golden Eagles. *Journal of Raptor Research*, 53(1), 26–37. <https://doi.org/10.3356/JRR-18-26>
- Heinrich, S., Wittmann, T. A., Ross, J. V., Shepherd, C. R., Challender, D. W. S., Cassey, P. (2017). *The global trafficking of pangolins: A comprehensive summary of seizures and trafficking routes from 2010–2015*. Petaling Jaya: TRAFFIC.

- Jackson, R. M., Roe, J. D., Wangchuk, R., Hunter, D. (2006). Estimating snow leopard population abundance using photography and capture–recapture techniques. *Wildlife Society Bulletin*, 34(3), 772–781. [https://doi.org/10.2193/0091-7648\(2006\)34\[772:ESLPAU\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2193/0091-7648(2006)34[772:ESLPAU]2.0.CO;2)
- Jordan, M. J., Barrett, R. H., Purcell, K. L. (2011). Camera trapping estimates of density and survival of fishers (*Martes pennanti*). *Wildlife Biology*, 17(3), 266–276. <https://doi.org/10.2981/09-091>
- Kalan, A. K., Carmignani, E., Kronland-Martinet, R., Ystad, S., Chatron, J., Aramaki, M. (2019). Chimpanzees use tree species with a resonant timbre for accumulative stone throwing. *Biology Letters*, 15(12). <https://doi.org/10.1098/rsbl.2019.0747>
- Karanth, K. U., Nichols, J. D. (1998). Estimation of tiger densities in India using photographic captures and recaptures. *Ecology*, 79(8), 2852–2862. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(1998\)079\[2852:EOTDII\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(1998)079[2852:EOTDII]2.0.CO;2)
- Karanth, K. U., Nichols, J. D., Kumar, N. S., Hines, J. E. (2006). Assessing tiger population dynamics using photographic capture–recapture sampling. *Ecology*, 87(11), 2925–2937. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2006\)87\[2925:ATPDUP\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2006)87[2925:ATPDUP]2.0.CO;2)
- Kays, R. W., Slauson, K. M. (2008). Remote cameras. W: R. A. Long, P. MacKay, W. J. Zielinski, J. C. Ray (red.), *Noninvasive survey methods for carnivores: Methods and analyses* (s. 110–140), Waszyngton: Island Press.
- Khawaja, H., Buchan, C., Wearn, O. R., Bahaa-el-din, L., Bantlin, D., Bernard, H., ..., Challender, D. W. S. (2019). Pangolins in global camera trap data: Implications for ecological monitoring. *Global Ecology and Conservation*, 20, e00769. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00769>
- Krauss, S. L., Roberts, D. G., Phillips, R. D., Edwards, C. (2018). Effectiveness of camera traps for quantifying daytime and nighttime visitation by vertebrate pollinators. *Ecology and Evolution*, 8(18), 9304–9314. <https://doi.org/10.1002/ece3.4438>
- Kucera, T. E., Barrett, R. H. (2011). A history of camera trapping. W: A. F. O’Connell, J. D. Nichols, K. U. Karanth (red.), *Camera traps in animal ecology methods and analyses* (s. 9–26). Nowy Jork: Springer.
- Leuchtenberger, C., Zucco, C. A., Ribas, C., Magnusson, W., Mourão, G. (2014). Activity patterns of giant otters recorded by telemetry and camera traps. *Ethology Ecology & Evolution*, 26(1), 19–28. <https://doi.org/10.1080/03949370.2013.821673>
- Linkie, M., Dinata, Y., Nugroho, A., Haidir, I. A. (2007). Estimating occupancy of a data deficient mammalian species living in tropical rainforests: Sun bears in the Kerinci Seblat region, Sumatra. *Biological Conservation*, 137(1), 20–27. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2007.01.016>
- Mattioli, L., Canu, A., Passilongo, D., Scandura, M., Apollonio, M. (2018). Estimation of pack density in grey wolf (*Canis lupus*) by applying spatially explicit capture–recapture models to camera trap data supported by genetic monitoring. *Frontiers in Zoology*, 15(1), 38. <https://doi.org/10.1186/s12983-018-0281-x>

- McCallum, J. (2013). Changing use of camera traps in mammalian field research: Habitats, taxa and study types. *Mammal Review*, 43(3), 196–206. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2907.2012.00216.x>
- McCarthy, M., Despres-Einspenner, M.-L., Farine, D. R., Samuni, L., Angedakin, S., Arandjelovic, M., ..., Köhl, H. S. (2019). Camera traps provide a robust alternative to direct observations for constructing social networks of wild chimpanzees. *Animal Behaviour*, 157, 227–238. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2019.08.008>
- Meek, P. D., Ballard, G., Fleming, P. J. S. (2012). *An introduction to camera trapping for wildlife surveys in Australia*. Canberra: Invasive Animals Cooperative Research Centre.
- Meek, P. D., Ballard, G., Fleming, P. J. S., Schaefer, M., Williams, W., Falzon, G. (2014). Camera traps can be heard and seen by animals. *PLoS ONE*, 9(10), e110832. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0110832>
- Meek, P. D., Pittet, A. (2012). User-based design specifications for the ultimate camera trap for wildlife research. *Wildlife Research*, 39(8), 649–660. <https://doi.org/10.1071/WR12138>
- Mohapatra, R. K., Panda, S., Acharjyo, L. N., Nair, M. V., Challender, D. W. S. (2015). A note on the illegal trade and use of pangolin body parts in India. *Traffic Bulletin*, 27(1), 33–40.
- Nichols, J. D., O'Connell, A. F., Karanth, K. U. (2011). Camera traps in animal ecology and conservation: What's next? W: A. F. O'Connell, J. D. Nichols, K. U. Karanth (red.), *Camera traps in animal ecology. Methods and analyses* (s. 253–263). Nowy Jork: Springer.
- Nijman, V. (2015). Pangolin seizures data reported in the Indonesian media. *Traffic Bulletin*, 27(2), 44–46.
- Nguyen, A., Tran, V. B., Hoang, D. M., Nguyen, T. A. M., Nguyen, D. T., Tran, V. T., ..., Tilker, A. (2019). Camera-trap evidence that the silver-backed chevrotain *Tragulus versicolor* remains in the wild in Vietnam. *Nature Ecology & Evolution*, 3(12), 1650–1654. <https://doi.org/10.1038/s41559-019-1027-7>
- O'Brien, T. G., Baillie, J. E. M., Krueger, L., Cuke, M. (2010). The Wildlife Picture Index: monitoring top trophic levels. *Animal Conservation*, 13, 335–343. <https://doi.org/10.1111/j.1469-1795.2010.00357.x>
- O'Brien, T. G., Kinnaird, M., Wibisono, H. (2003). Crouching tigers, hidden prey: Sumatran tiger and prey populations in a tropical forest landscape. *Animal Conservation*, 6(2), 131–139. <https://doi.org/10.1017/S1367943003003172>
- Oliveira-Santos, L. G. R., Tortato, M. A., Graipel, M. E. (2008). Activity pattern of Atlantic Forest small arboreal mammals as revealed by camera traps. *Journal of Tropical Ecology*, 24(5), 563–567. <https://doi.org/10.1017/S0266467408005324>
- Pagnucco, K. S., Paszkowski, C. A., Scrimgeour, G. J. (2011). Using cameras to monitor tunnel use by Long-toed Salamanders (*Ambystoma macrodactylum*): An informative, costefficient technique. *Herpetological Conservation and Biology*, 6(2), 277–286.

- Rahman, D. A., Rianti, P., Muhiban, M., Muhtarom, A., Rahmat, U. M., Santosa, Y., Aulagnier, S. (2018). Density and spatial partitioning of endangered sympatric Javan leopard (*Felidae*) and dholes (*Canidae*) in a tropical forest landscape. *Folia Zoologica*, 67(3–4), 207–219. <https://doi.org/10.25225/fozo.v67.i3-4.a8.2018>
- Reyes, A., Rodríguez, D., Reyes-Amaya, N., Rodríguez-Castro, D., Restrepo, H., Urquijo, M. (2017). Comparative efficiency of photographs and videos for individual identification of the Andean bear (*Tremarctos ornatus*) in camera trapping. *Therya*, 8(1), 83–87. <https://doi.org/10.12933/therya-17-453>
- Rich, L. N., Miller, D. A. W., Robinson, H. S., McNutt, J. W., Kelly, M. J. (2016). Using camera trapping and hierarchical occupancy modelling to evaluate the spatial ecology of an African mammal community. *Journal of Applied Ecology*, 53(4), 1225–1235. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12650>
- Rodgers, T. W., Giacalone, J., Heske, E. J., Janečka, J. E., Phillips, C. A., Schooley, R. L. (2014). Comparison of noninvasive genetics and camera trapping for estimating population density of ocelots (*Leopardus pardalis*) on Barro Colorado Island, Panama. *Tropical Conservation Science*, 7(4), 690–705. <https://doi.org/10.1177/194008291400700408>
- Rovero, F., De Luca, D. W. (2007). Checklist of mammals of the Udzungwa Mountains of Tanzania. *Mammalia*, 71(1–2), 47–55. <https://doi.org/10.1515/MAMM.2007.015>
- Rovero, F., Marshall, A. R. (2009). Camera trapping photographic rate as an index of density in forest ungulates. *Journal of Applied Ecology*, 46(5), 1011–1017. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2009.01705.x>
- Rovero, F., Zimmermann, F., Berzi, D., Meek, P. (2013). „Which camera trap type and how many do I need?” A review of camera features and study designs for a range of wildlife research applications. *Hystrix*, 24(2), 148–156. <https://doi.org/10.4404/hystrix-24.2-6316>
- Rowcliffe, J. M., Carbone, C. (2008). Surveys using camera traps: Are we looking to a brighter future? *Animal Conservation*, 11(3), 185–186. <https://doi.org/10.1111/j.1469-1795.2008.00180.x>
- Rowcliffe, J. M., Field, J., Turvey, S. T., Carbone, C. (2008). Estimating animal density using camera traps without the need for individual recognition. *Journal of Applied Ecology*, 45(4), 1228–1236. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2008.01473.x>
- Sanderson, J. G., Trolle, M. (2005). Monitoring elusive mammals. *American Scientist*, 93(2), 148–155. <https://doi.org/10.1511/2005.2.148>
- Sanz, C., Morgan, D., Gulick, S. (2004). New insights into chimpanzees, tools, and termites from the Congo Basin. *The American Naturalist*, 164(5), 567–581. <https://doi.org/10.1086/424803>
- Silver, S. C., Ostro, L. E.T., Marsh, L. K., Maffei, L., Noss, A. J., Kelly, M. J., ..., Ayala, G. (2004). The use of camera traps for estimating jaguar *Panthera onca* abundance

- and density using capture/recapture analysis. *Oryx*, 38(2), 148–154. <https://doi.org/10.1017/S0030605304000286>
- Swann, D. E., Kawanishi, K., Palmer, J. (2011). Evaluating types and features of camera traps in ecological studies: Guide for researchers. W: A. F. O'Connell, J. D. Nichols, K. U. Karanth (red.), *Camera traps in animal ecology methods and analyses* (s. 27–44). Nowy Jork: Springer.
- Swanson, A., Kosmala, M., Lintott, C., Simpson, R., Smith, A., Packer, C. (2015). Snapshot Serengeti, high-frequency annotated camera trap images of 40 mammalian species in an African savanna. *Scientific Data*, 2, 150026. <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.26>
- Tattoni, C., Bragalanti, N., Groff, C., Rovero, F. (2015). Patterns in the use of rub trees by the Eurasian Brown Bear. *Hystrix*, 26(2), 118–124. <https://doi.org/10.4404/hystrix-26.2-11414>
- Tobler, M. W., Carrillo-Percegué, S. E., Pitman, R. L., Mares, R., Powell, G. (2008). An evaluation of camera traps for inventorying large- and medium-sized terrestrial rainforest mammals. *Animal Conservation*, 11(3), 169–178. <https://doi.org/10.1111/j.1469-1795.2008.00169.x>
- Vitkalova, A. V., Feng, L., Rybin, A. N., Gerber, B. D., Miquelle, D. G., Wang, T., ..., Ge, J. (2018). Transboundary cooperation improves endangered species monitoring and conservation actions: A case study of the global population of Amur leopards. *Conservation Letters*, 11(5), e12574. <https://doi.org/10.1111/conl.12574>
- Wearn, O. R., Rowcliffe, J. M., Carbone, C., Pfeifer, M., Bernard, H., Ewers, R. M. (2017). Mammalian species abundance across a gradient of tropical land-use intensity: A hierarchical multi-species modelling approach. *Biological Conservation*, 212, 162–171. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.05.007>
- Wening, H., Werner, L., Waltert, M., Port, M. (2019). Using camera traps to study the elusive European Wildcat *Felis silvestris silvestris* Schreber, 1777 (Carnivora: *Felidae*) in central Germany: What makes a good camera trapping site? *Journal of Threatened Taxa*, 11(4), 13421–13431. <https://doi.org/10.11609/jott.4498.11.4.13421-13431>
- Wereszczuk, A. (2015). Występowanie dziko żyjących ssaków i ptaków we wsiach – zastosowanie fotopułapek w ocenie składu gatunkowego. *Chrońmy Przyrodę Ojczystą*, 71(1), 9–16.
- Willcox, D., Nash, H. C., Trageser, S., Kim, H. J., Hywood, L., Connelly, E., ..., Chatterjee, D. W. S. (2019). Evaluating methods for detecting and monitoring pangolin populations (Pholidota: *Manidae*). *Global Ecology and Conservation*, 17, e00539. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00539>

BARTOSZ FIEDLER, MACIEJ TROJAN

Instytut Psychologii, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

Zastosowanie dronów jako narzędzi badawczych w naukach behawioralnych

Sposób cytowania: Fiedler, B., Trojan, M. (2020). Zastosowanie dronów jako narzędzi badawczych w naukach behawioralnych. W: M. Trojan, M. Gut (red.), *Nowe technologie i metody w psychologii* (s. 201–216). Warszawa: Liberi Libri. <https://doi.org/10.47943/lib.9788363487430.rozdzial09>

Co to jest UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*)?

Rozwijające się intensywnie lotnictwo bezzałogowe daje nowe możliwości prowadzenia badań w szeroko rozumianych naukach behawioralnych i środowiskowych. Publikuje się wyniki z coraz większej liczby badań nad zachowaniem lub rozmieszczeniem różnych gatunków z analizy danych uzyskanych dzięki pracy z tzw. UAV (np. Bonnin, Van Andel, Kerby, Piel, Pintea, Wich, 2018; Fu, Kinniry, Kloepper, 2018; Sardà-Palomera, Bota, Padilla, Brotons, Sardà, 2017; Scarpa, Piña, 2019; Weir i in., 2018; Wich, Dellatore, Houghton, Ardi, Koh, 2015).

Bezzałogowy statek powietrzny (UAV) to urządzenie, które nie wymaga do lotu pilota obecnego na pokładzie, jak również nie ma możliwości zabierania pasażerów. Jest pilotowany zdalnie lub wykonuje tzw. lot autonomiczny (Cheng, 2016).

Statki takie mogą mieć bardzo różną konstrukcję, a co za tym idzie – bardzo odmienne parametry lotu. W zależności od budowy i napędu dzielimy je na (por. rysunek 1):

- płatownce – które wyglądem przypominają samoloty w mniejszej skali (potrzebują miejsca dla startu i lądowania, mają duży zasięg, zasilane są silnikami elektrycznymi lub spalinowymi);
- śmigłowce – które działają na tej samej zasadzie, co duże helikoptery (posiadają zdolność pionowego startu i lądowania, latają na większe dystanse niż wielowirnikowce, zasilane są silnikami elektrycznymi lub spalinowymi);
- wielowirnikowce - np. quadrokoptery (czterowirnikowe), heksokoptery (sześciowirnikowe), heptokoptery (ośmiowirnikowe) itd. – mające na obwodzie symetrycznie rozmieszczone wirniki ze śmigłami (posiadają zdolność pionowego startu i lądowania, a także są bardzo stabilne w zawisie, charakteryzuje je stosunkowo krótki czas lotu, głównie zasilane są elektrycznie, chociaż są też modele na ogniwa wodorowe);
- hybrydowce – najczęściej połączenie płatowców i wielowirnikowców (najrzadziej spotykane drony, mające łączyć zalety lotu na długi dystans płatowców oraz możliwość pionowego startu i lądowania wielowirnikowców, zasilane elektrycznie lub silnikami spalinowymi; Cheng, 2016).



Rysunek 1. Typy UAV – od lewej: płatowiec, śmigłowiec, wielowirnikowiec, hybrydowiec (zmienne nachylenie skrzydeł zmienia położenie pracujących wirników).

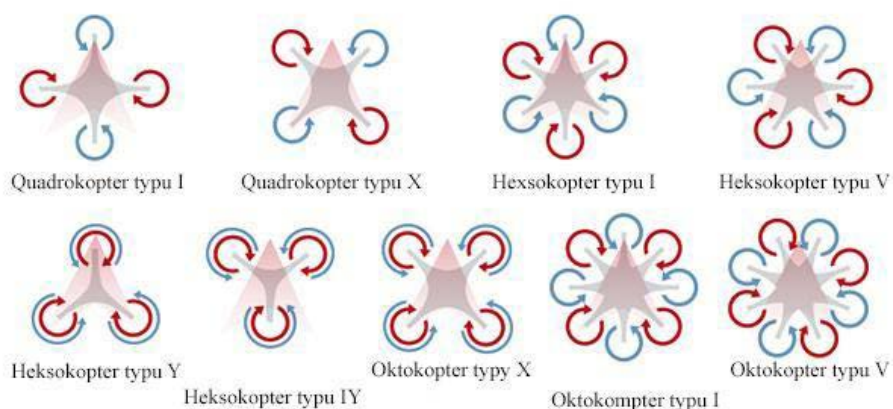
Trzeba nadmienić, że zgodnie z prawem obowiązującym w większości krajów operator takiej maszyny wykonujący lot, który nie jest zdefiniowany jako rekreacyjny, musi być przeszkolony i mieć stosowne uprawnienia operatora Bezzałogowych Statków Powietrznych (*Unmanned Aerial Vehicle Operator*, UAVO). Zasady te mogą różnić się w poszczególnych krajach. W przypadku Polski wymagane są: świadectwo kwalifikacji UAVO, a także – w zależności od masy startowej drona – ważne badania lotniczo-lekarskie (powyżej 5kg) oraz obowiązkowe ubezpieczenie OC (ulc.gov.pl, 2020).

Uprawnienia UAVO dzielą się na dwojaki rodzaj – VLOS i BVLOS. Pierwsze z nich, VLOS (*Visual Line of Sight*), uprawnia do sterowania statkiem w zasięgu kontaktu wzrokowego, natomiast BVLOS (*Beyond Visual Line of Sight*) uprawnia do sterowania statkiem poza zasięgiem wzroku (jest to wtedy lot wg wskazań przyrządów; ulc.gov.pl, 2020).

W rzeczywistości do badań behawioralnych używa się najczęściej płatowców lub wielowirnikowców (np. Fu i in., 2018; Scarpa, Piña, 2019). Te pierwsze stosowane są rzadziej, gdy przydaje się ich zasięg i możliwy czas lotu, który jest zdecydowanie dłuższy (do kilku godzin) niż w przypadku wielowirnikowców. Statki tego typu napędzane są śmigłem lub śmigłami, zamieszczonymi na dziobie lub na skrzydłach. Co prawda, niektóre płatowce mogą startować z ręki, ale większe potrzebują specjalnej wyrzutni, muszą w locie poruszać się nieustannie, natomiast największym problem jest podejście do lądowania i samo lądowanie (wymaga przestrzeni i umiejętności). To sprawia, że są bardziej skomplikowane w obsłudze niż statki wielowirnikowe. Loty płatowców są najczęściej programowane wcześniej i wykonywane przez statek autonomicznie, a operator przejmuje ręcznie sterowanie nad UAV tylko w sytuacji zagrożenia. Płatowce mają zastosowanie do skanowania dużych obszarów, gdzie sprawdza się lot liniowy. Często używa się ich do patrolowania lub oceny stanu pól uprawnych, lasów, chronionych obszarów przyrody, przesyłania leków na

odległość, a także do monitoringu granicy, linii przesyłowych czy gazociągów (np. Laksham, 2019; Park, Lee, Chon, 2019; Twidwell i in., 2016).

Największą zaletą wielowirnikowców jest możliwość ręcznej kontroli lotu, pionowego startu i lądowania, a także stabilnego zawisu w powietrzu w czasie lotu ze względu na ich symetryczną budowę (rysunek 2). Wielowirnikowce są nie tylko zwrotne, ale i łatwe w obsłudze, a niektóre modele mogą zarówno startować, jak i lądować na dłoni, więc mogą pracować w trudnych warunkach terenowych, gdzie nie ma możliwości startu i lądowania z ziemi (dzięki czemu np. mogą być wypuszczane z kajaka). Główną wadą tego typu statków jest krótszy czas lotu na jednym akumulatorze (do pół godziny), chociaż istnieją modele wielowirnikowców pobierające energię kablem z akumulatora na ziemi, ale tego rodzaju drony, mimo, że mogą pracować wiele godzin bez przerwy, są przeznaczone wyłącznie do pracy w zawisie na dystansie kabla.



Rysunek 2. Najczęściej spotykane typy wielowirnikowców. W przypadku awarii jednego silnika drony sześć- i więcej silnikowe wciąż mogą kontynuować lot i bezpiecznie wylądować.

Źródło: <https://filmora.wondershare.com/drones/types-of-drones.html>.

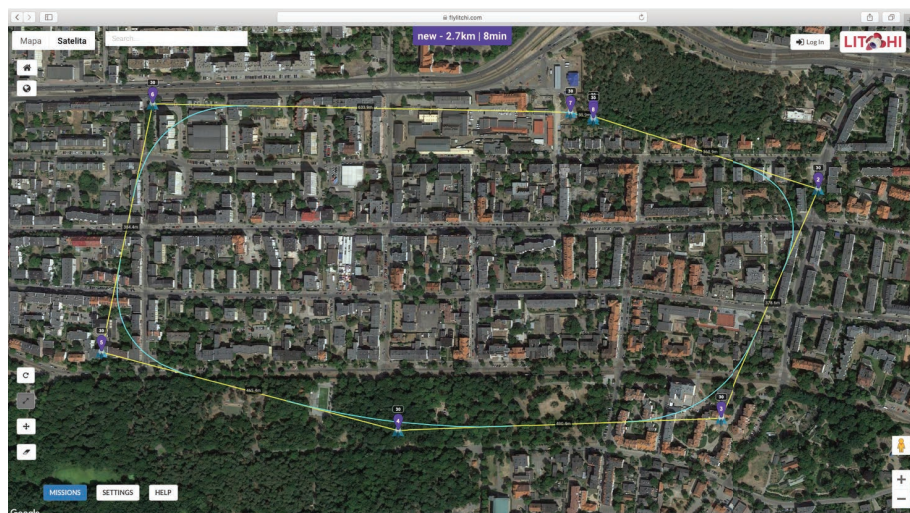
Sam statek powietrzny to tylko część systemu UAS (*Unmanned Aerial System*). W skład systemu wchodzi jeszcze naziemna stacja kontroli GCS (*Ground Control Station*), za pomocą której operator steruje UAV (rysunek 3), system komunikacji między GCS a UAV, oprzyrządowanie pokładowe. Najczęściej montowane są kamery wideo wysokiej rozdzielczości, ale mogą też być kamery

termograficzne i inne urządzenia detekcyjne. Dron musi być zaopatrzony także w oprogramowanie do przetwarzania zbieranych danych oraz dodatkowy sprzęt pomocniczy, np. przenośne składane lądowisko.

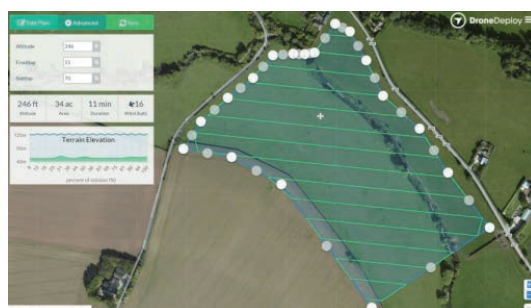


Rysunek 3. Istniejące typy GCS (Ground Control Station). A – kontroler z budowanym ekranem pokazującym obraz z kamery drona, B – kontroler w wersji z dołączanym smartfonem, C – ten sam kontroler z zamontowanym tabletem. Użytkownicy najczęściej wybierają kontroler typu B z uwagi na możliwość dołączenia większego ekranu, a także wgrywania do smartfona lub tabletu innego niż firmowe oprogramowania sterującego dronem (na podstawie materiałów producenta).

Do wielokrotnych i powtarzających się w czasie przelotów nad tymi samymi miejscami służy oprogramowanie do lotów autonomicznych np. Litchi, Mission Planer lub DroneDeploy. Pozwala ono na zaprogramowanie trasy przelotu wcześniej (rysunek 4), a także potrafi dobrać trasę przelotu tak, by zeskanować odpowiedni obszar (rysunek 5). Ponieważ tak przygotowany podprogram można wgrać do pamięci drona wielokrotnie – mamy pewność, że za każdym razem dron odwiedzi te same punkty i przeskanuje ten sam obszar.



Rysunek 4. Przykładowa trasa przelotu drona nad Bydgoskim Przedmieściem w Toruniu. Zaprogramowane zostały punkty przelotu oraz wysokość, a także punkt startu i lądowania (zrzut ekranu Litchi, materiały własne).



Rysunek 5. W przypadku zrobienia serii zdjęć zadanego obszaru program sam proponuje optymalną trasę przelotu drona (zielone linie) tak, by wykonać zadanie w jak najkrótszym czasie. Źródło: Berardi, 2016.

Warto podkreślić, że chociaż niektóre maszyny UAV mogą latać w złych warunkach pogodowych, to generalnie w przypadku rejestracji wideo warunkiem koniecznym do prowadzenia badań z powietrza jest dobra pogoda zapewniająca odpowiednią jakość wykonanych zdjęć lub filmów.

Przykłady zastosowania płatowców w badaniach

Jak już wspomniano, płatowce wykorzystywane są zazwyczaj wtedy, gdy konieczne jest przeprowadzenie badań na większym obszarze. Z tego powodu jednostki tego typu znalazły swe miejsce w badaniach behawioralnych, w których konieczna jest stała obserwacja konkretnego terenu. Przykładem procedury z koniecznością prowadzenia takich działań może być monitorowanie formacji i rozmieszczenia kolonii ptaków morskich. Obserwacje tego typu były wcześniej przeprowadzane ze znacznej odległości, w innym wypadku były obarczone ryzykiem zakłócenia spokoju ptasiej kolonii poprzez pobierających dane badaczy (Sardà-Palomera i in., 2017). Już dziś, by uniknąć podobnych problemów, do obserwacji stosuje się bezzałogowe statki powietrzne. Hiszpańscy badacze (Sardà-Palomera i in., 2017) wykorzystali lekkiego drona klasy komercyjnej (Skywalker, rozpiętość skrzydeł 1,68 m, długość kadłuba 1,18 m, waga 1,8 kg) by z jego użyciem przeprowadzić obserwacje kolonii mewy śmieszki (*Chroicocephalus ridibundus*). Dron był zdalnie kontrolowany przez przeszkolonego pilota. Zdjęcia zostały wykonane przez kamerę zaprogramowaną tak, by wykonywała ciągle zdjęcia z zastosowanym auto focusem (1,8 zdjęcia/s). Urządzenie przelatywało nad miejscem obserwacji (wyspa w pobliżu Estany d'Ivars i Vila-sana) na wysokości 30–40 m ponad ziemią z szybkością 30–40 km/h. Podczas przeprowadzania procedury nie zaobserwowano żadnego zachowania mew wskazującego na zaniepokojenie obecnością drona. Żaden z przelotów nie zakończył się również uszkodzeniem bądź rozbiciem płatowca (Sardà-Palomera i in., 2017). Drony tego typu wykorzystywane są również, gdy wymagana jest lokalizacja określonych punktów rozmieszczonych na znacznym obszarze, a których detekcja wymagałaby pośpiechu. Takimi obiektami są na przykład gniazda orangutana sumatrzańskiego (*Pongo abelii*), zagrożonego gatunku małpy naczelnej z rodziny człowiekowatych (Wich i in., 2012). Lokalizowanie gniazd orangutanów z ziemi jest czasochłonne ze względu na duży obszar bytowania tychże ssaków, jak również z uwagi na kłopoty, które sprawić może pokonywanie przez badaczy często górzystych bądź bagnistych terenów. Alternatywą są kosztowne obserwacje prowadzone z pokładów helikopterów. Jak się okazuje jednak, podobne i równie skuteczne badania można prowadzić za pomocą bezzałogowych statków powietrznych. W celu uzyskania wyników, które wskazałyby na skuteczność dronów w takich procedurach, Wich i in. (2015) wykorzystali UAV typu Skywalker 2013 (płatowiec), który w trakcie przelotów pracował na autopilocie HK 2.7. Dla kontroli naziemnej wykorzy-

stano oprogramowanie Mission Planer pracujące na standardowym laptopie z systemem operacyjnym Windows. Podczas badania przeprowadzone zostały dwa przeloty, a także misja lądowa (której wyniki miały zostać porównane z tymi uzyskanymi za pomocą drona). Pierwszy przelot koncentrował się na lokalizacji gniazd. Został wykonany na wysokości 80 m nad poziomem gruntu. Drugi został wykonany w celu mapowania terenu i został wykonany 150 m ponad poziomem gruntu. Płatowiec został również wyekwipowany w kamerę, której oprogramowanie pozwalało na wykonywanie dokładnych zdjęć w stałych 2-sekundowych interwałach. Badania wykazały, że jeśli chodzi o skuteczność detekcji, to nadal najbardziej skuteczna jest ta przeprowadzana z powierzchni ziemi. Udowodniono jednak, że jest ona również możliwa z pokładu drona i w tym wypadku wymaga o wiele mniej czasu oraz zaangażowania ze strony zespołu badawczego, który pozyskany czas może wykorzystać w inny sposób (Wich i in., 2015). W innym badaniu skupionym wokół małp naczelnych – w tym wypadku szympanśów zwyczajnych (*Pan troglodytes*) – także wykorzystano drony płatowe. Jeśli chodzi o założenia, badanie w dużej mierze przypominało poprzednie. Również tutaj bezzałogowy statek powietrzny został wykorzystany w celu lokalizacji siedlisk człowiekowatych. W badaniu zastosowano dwa różne drony, których wyniki – podobnie jak w poprzednim badaniu – porównano z tymi, które uzyskała grupa badaczy prowadzących naziemne obserwacje. Statkami powietrznymi były Skywalker X5 oraz HBS Skywalker 2013. Maszyny zostały wyposażone kolejno w następujące kamery: Canon S100 (rozdzielczość: 4000 x 3000 pikseli) oraz Sony RX100M2 (rozdzielczość: 5472 x 3648). Obydwa wyposażone zostały również w autopilota, który zawierał procesor komputerowy, system pozycjonowania satelitarnego, sensor ciśnienia i temperatury oraz wskaźnik prędkości powietrza. Misje wykonywane przez drony podzielone zostały na dwa typy, w zależności od rodzaju transektów, w których wykonywane zostawały fotografie. Były to przeloty wykonywane nad transektami liniowymi, wykonywane 90 m nad poziomem lądu, oraz nad transektami siatkowymi, wykonywanymi około 120 m nad poziomem lądu. Również w tym badaniu wykryto, że obserwacje z wykorzystaniem dronów, choć tańsze i mniej angażujące, z pewnością – w przypadku tego typu terenu – nie pozwalają na taką dokładność jak obserwacje wykonywane z powierzchni ziemi (Bonnin i in., 2018).

Przykłady zastosowania wielowirnikowców w badaniach

Ze względu na większą prostotę w obsłudze drony tego typu należą do najczęściej wykorzystywanych w badaniach behawioralnych. Są one wykorzystywane jednak nie tylko ze względu na swą dostępność, ale również z uwagi na cechy wynikające ze specyfiki typu, takie jak możliwość swobodnego zawisnięcia nad ziemią czy zdolność podążania za wyznaczonym punktem. Tego typu UAV może być więc świetnym narzędziem do prowadzenia obserwacji obiektów przemieszczających się po średnich rozmiarów obszarze. Do tej pory prowadzenie obserwacji zachowań społecznych zwierząt często było utrudnione, gdy konkretny gatunek był wyjątkowo płochliwy. Przykładem może być tutaj żyjący dziko koń (*Equus caballus*). Dzięki wykorzystaniu wielowirnikowców możliwe było przeprowadzenie dotychczas trudnych do realizacji badań związanych z obserwacją umiejscowienia w grupie poszczególnych przedstawicieli stada (Inoue i in., 2019). Badania te pozwoliły lepiej zrozumieć charakter zachowań społecznych tego gatunku (zdjęcie z podobnych badań przedstawiono na rysunku 6). Przeprowadzone zostały z wykorzystaniem drona Phantom3 Advanced. Urządzenie było wyposażone w kamerę o rozdzielczości 1080 p, która była operowana niezależnie od drona. Kadr kamery skierowany był prostopadle do powierzchni ziemi.



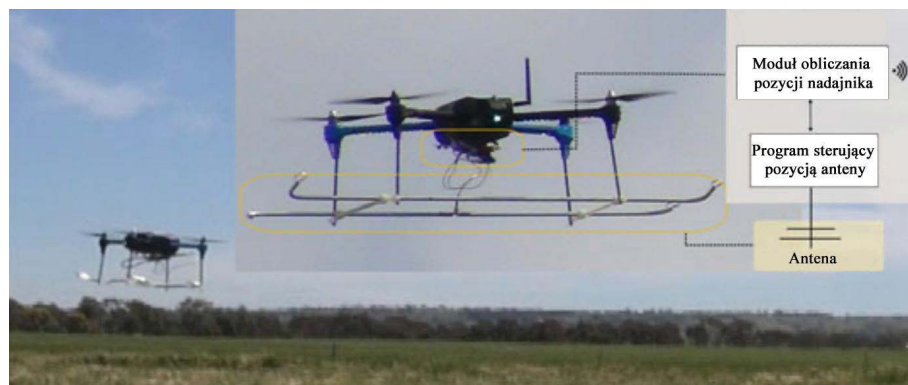
Rysunek 6. Zdjęcie ilustrujące stado dzikich koni podczas żerowania (wykonano za pomocą drona Mavic 2 Zoom, wysokość 70 m, materiał z nieopublikowanych badań Trojan, Sikorska, Gulałowska, Siemieniuch, 2020).

Badanie przeprowadzono w Serra D'Arga (na górze o wysokości 825 m n.p.m., położonej w północnej Portugalii). Zdjęcia grupy wykonywane były w odstępach 30-minutowych. Dron odlatywał w odległości 10–50 m od grupy i przelatywał na wysokości 25–80 m nad obiektem obserwacji. Przeloty testowe wykazały, że tak długo, jak dron nie zbliżył się do koni na odległość bliższą niż 10 m, zwierzęta nie płoszyły się, ani nie można było zauważyć u nich żadnej odstępającej od normy reakcji. Ponieważ konie przemieszczały się powoli, informacje zebrane z dwóch zdjęć wykonanych w niedługim czasie po sobie mogłyby zaburzyć analizę danych ze względu na zbyt duże podobieństwo (a więc korelację) pomiędzy pozycjami koni. Z tego względu interwały pomiędzy wykonywaniem poszczególnych fotografii ustawiono na 30 minut. Podczas gdy dron dokonywał przelotów, pozycje poszczególnych koni były również rejestrowane przez naziemnych obserwatorów, którzy byli w stanie zidentyfikować poszczególne osobniki. Gdy konie znalazły się w cieniu drzew, badacze zaprzestali wykonywania zdjęć na 30 minut. W trakcie jednego dnia zespół badawczy rejestrował od 3 do 13 zdjęć. Podczas obserwacji liczącej 13 dni wykonano 102 zdjęcia. Obserwacje trwały od 4 do 10 godzin dziennie, łącznie 88,5 godziny. Badacze z analizy wyłączyli zdjęcia, na których nie było widocznych wszystkich osobników (Inoue i in., 2019). Urządzenia UAV wykorzystuje się również do analizy zachowań zwierząt, których obserwacja w innym wypadku byłaby trudna, ze względu na miejsce ich bytowania. Dobrym przykładem takiej sytuacji są obserwacje nietoperzy, do których – na potrzeby jednego z badań – skonstruowano nawet specjalny prototyp UAV nazwany przez badaczy The Chirocopter. Urządzenie miało służyć do dokonywania pomiarów sygnałów echolokacyjnych nietoperzy powracających do siedliska. Celem badania było ustalenie, czy ulegają one zmianom w zależności od wysokości lotu. Zostały wykonane również dodatkowe analizy, które miały określić, w jaki sposób obecność UAV wpływa na zachowanie nietoperzy. Do konstrukcji prototypu wykorzystano drona DJI Spreading Wings S900, który zapewniał dużą ładowność (8,2 kg, licząc z masą samego drona równą 3,3 kg) oraz elastyczność, jeśli chodzi o miejsce umieszczenia poszczególnych elementów prototypu. Do urządzenia przymocowany został mikrofon do pomiaru ultradźwięków, który został dodatkowo przetestowany, by odbierać jak najmniej szumów wynikających z pracy samego drona. Zamontowana została również kamera. Urządzenie zostało tak skonfigurowane, by nagrać moloska brazylijskiego (*Tadarida brasiliensis*). Podczas siedmiu poranków dokonano kilkuminutowych pomiarów na – kolejno – 5, 10, 20, 30, 40 i 50 metrach. Na

każdej wysokości pobrano akustyczne i termalne dane dotyczące nietoperzy w locie (Fu, Kinniry, Kloepper, 2018).

Wiele badań udowodniło również, że UAV wyposażony w śmigła jest w stanie zbierać informacje o zachowaniu. Przykładem była obserwacja relacji między młodym a matką u delfinowców ciemnych (Weir i in., 2018). Wielowirnikowce są również często wykorzystywane do prowadzenia obserwacji, które dotychczas prowadzono z pokładów helikopterów. Przykładem może tu być ich wykorzystanie do namierzania siedlisk kajmanów (*Caimaninae*) oraz zliczania liczby osobników na danym obszarze. Skuteczność takich obserwacji została zbadana przy pomocy drona Phantom 4, a badanie zostało wykonane w południowo-zachodniej prowincji Corrientes w Argentynie (Scarpa, Piña, 2019). Drony tego typu mogą również znaleźć zastosowanie jako statki zwiadowcze, których celem jest zbadanie obszaru i jego biosfery, by zwiększyć precyzję wyznaczania obszarów do wykonania zdjęć satelitarnych (Chabot, Stapleton, Francis, 2019).

Pojawiają się też inne interesujące pomysły, by wykorzystywać drony w połączeniu z innymi dostępnymi wcześniej technologiami (rysunek 7). Na przykład przy masowym znakowaniu osobników za pomocą nadajników telemetrycznych (które wysyłają sygnał radiowy o konkretnej częstotliwości) dron, którego płozy są jednocześnie anteną kierunkową, może dokonać triangulacyjnego pomiaru źródła sygnału znacznie szybciej od ludzi z antenami poruszających się pieszo w terenie (Van Nguyen, Chesser, Koh, Rezatofighi, Ranasinghe, 2019).



Rysunek 7. Drony zaopatrzone w anteny do telemetry oraz oprogramowanie pozwalające na szybki pomiar triangulacyjny przesyłają sygnał o pozycji namierzonych nadajników wprost do operatora (na podstawie materiałów i za zgodą Van Nguyen i in., 2019).

Drony są bardzo często wykorzystywane w badaniach środowiskowych. Na przykład coraz częściej są wykorzystywane w operacjach mających na celu zabezpieczenie oraz ochronę środowiska naturalnego. Szybka detekcja liczebności w danej populacji zwierząt zagrożonych może przełożyć się na większą sprawność w zakresie czasu wdrożenia koniecznych działań zapobiegawczych. Możliwość obserwacji dużych obszarów może również prowadzić do zmniejszenia ryzyka klęsk żywiołowych. Przykładem takich działań jest wykorzystanie UAV w prewencji zagrożeń pożarowych. Już dzisiaj przy użyciu dronów monitoruje się obszary zagrożone pożarami, a nawet konstruuje się jednostki, które mogą wzniesić ogień w celu wywoływania planowanych pożarów (Twidwell i in., 2016). Drony stosuje się też w celu monitorowania wpływu drapieżników na pogłowie zwierząt kopytnych na danym obszarze. W ten sposób specjaliści zajmujący się ochroną środowiska, będą mieli większą szansę na bezinwazyjne kontrolowanie wpływu na środowisko populacji zwierząt drapieżnych (Prugh i in., 2019). Drony wykorzystywane są również do zabezpieczania oraz nadzoru migracji zwierząt kopytnych, a ich użycie w tej dziedzinie wypiera dotychczas używane do tego załogowe statki powietrzne (Schuette i in., 2018).

Problemy związane z użyciem dronów

Choć z użyciem dronów wiąże się niewątpliwie wiele korzyści, to jak z każdą metodą pojawia się również szereg problemów – zarówno technicznych, jak i związanych z etyką. Jeśli chodzi o nauki behawioralne związane z obserwacją zwierząt, badacze wskazują na możliwą szkodliwość takich badań. Przedstawiciele różnych gatunków zwierząt mogą reagować stresem na obecność niezidentyfikowanego obiektu będącego dla nich nowym bodźcem. Jak się więc okazuje, nawet z pozoru tak nieinwazyjna metoda, jak obserwacja z użyciem latającego obiektu, u niektórych gatunków może powodować dystres. Głównie zagrożone wydają się tutaj ptaki, które, naturalnie, często skupione są na obserwacji nieba. Problem płoszenia ptaków przez drony, a także możliwych obrażeń osobników wskutek kolizji z maszynami opisano na podstawie danych pochodzących z obserwacji 11 gatunków ptactwa morskiego. Okazywanie dystresu, bądź jego braku, w głównej mierze zależało od wysokości, z której prowadzone były obserwacje. Na wysokości 50 m tylko 1 z badanych 11 gatunków wykazał widoczną zmianę w behawiorze. Jednakże już przy wysokości

10 m silna reakcja stresowa była obserwowana u większości gatunków (Weimerskirch, Prudor, Schull, 2018). Również zwierzęta nielotne mogą odczuwać dyskomfort przy przelotach dronów, czego przykładem są niedźwiedzie czarne, u których zaobserwowano w takiej sytuacji przyspieszenie akcji serca, a także kolonie pingwinów, u których przelot UAV może wywołać stan alarmu w całej kolonii (Domínguez-Sánchez, Acevedo-Whitehouse, Gendron, 2018; Rümmler, Mustafa, Maercker, Peter, Esefeld, 2018). Techniczne ograniczenia technologii UAV to w znacznej większości między innymi: trudności z uzyskaniem pozwolenia na działanie, limitowany zasięg prowadzenia obserwacji i długi czas przetwarzania danych. Wiele typów mniejszych dronów posiada baterie, które mogą operować jedynie przez 20 minut od momentu startu, co znacznie skraca zasięg potencjalnych obserwacji. Dodatkowo, mniejsze jednostki są narażone na uszkodzenia podczas operacji przeprowadzanych w złych warunkach pogodowych. W wielu krajach, również w Polsce, zasięg operowania drona jest również regulowany prawnie. Zgodnie z takimi ustaleniami, UAV musi pozostać w zasięgu umożliwiającym spostrzeżenie go „gołym okiem” (Christie, Gilbert, Brown, Hatfield, Hanson, 2016). Dodatkowo, należy również pamiętać, że opadająca w wyniku uszkodzenia jednostka UAV może również zagrażać zdrowiu lub życiu (Campolettano i in., 2017).

W regionach uprzemysłowionych oraz miastach istnieje wiele ograniczeń oraz stref zakazu lotów, co utrudnia prowadzenie wspomnianych badań z powietrza. Generalnie zaleca się unikanie lotów nad przestrzeniami, gdzie aktywność ludzi jest duża. Ze względu na to, zwłaszcza w przypadku psychologii środowiskowej, zastosowanie dronów musi być poprzedzone zgodą odpowiednich organów (np. Polskiej Agencji Żeglugi Powietrznej). Warto zaznaczyć, że nawet mimo uzyskania zgody, w wielu przypadkach użycie UAV może okazać się niemożliwe ze względu na doraźne decyzje operatorów stałych stref kontroli powietrznej lotnisk cywilnych i wojskowych (zob. ulc.gov.pl, 2020).

Przyszłość badań z wykorzystaniem UAV (podsumowanie)

Rosnąca liczba zastosowań UAV na świecie rodzi wiele pytań. Większość z nich można jednak sparafrazować do jednego: „co będzie dalej?”. Wydaje się, że pierwszym wnioskiem, jaki nasuwa się po zapoznaniu z obecną literaturą, jest myśl, że coraz cichsze i coraz dłużej pracujące w powietrzu drony wkrótce zastąpią droższe i wymagające specjalistycznego szkolenia załogowe jednostki

powietrzne w badaniach, w których do tej pory były one wykorzystywane (Christie i in., 2016).

Z całą pewnością użycie dronów w celach badawczych na terenach trudno-dostępnych oraz nad otwartymi zbiornikami wodnymi będzie coraz bardziej powszechne (Raoult, Tosetto, Williamson, 2018). Pozwoli to na gromadzenie znacznie większej ilości danych niż do tej pory, a to z kolei przełoży się bezpośrednio na lepsze zrozumienie mechanizmów zachowania oraz lepszą ochronę dziko żyjących zwierząt (King, Fehlmann, Biro, Ward, Fürtbauer, 2018).

Wydaje się, że psychologia społeczna może z powodzeniem wprowadzić obserwacje z powietrza jako nieinwazyjną – a za to precyzyjną – metodę zbierania danych o zachowaniach ludzi w przestrzeni publicznej. Jednakże należy mieć na uwadze to, że – paradoksalnie – środowisko miejskie jest większym wyzwaniem dla operatora UAV niż dzikie ostępy. W przyszłości możemy się też spodziewać rozwoju technologii stosowanej na razie marginalnie, a pozwalającej operatorowi sterować rojem dronów, które przekazują sobie instrukcje operatora. Zaawansowane są również prace badawcze nad nowym rodzajem GCS – kontrolera, który steruje dronem za pomocą gestów operatora, co może sprawić, że sterowanie UAV stanie się w przyszłości prostsze i bardziej intuicyjne (Peshkova, Hitz, Kaufmann, 2017).

Literatura cytowana

- Berardi, A. (2016). Community-based eco-drones for environmental management and governance [Technical Report]. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.19723.08484>
- Bonnin, N., Van Andel, A., Kerby, J., Piel, A., Pintea, L., Wich, S. (2018). Assessment of chimpanzee nest detectability in drone-acquired images. *Drones*, 2(2), 17. <https://doi.org/10.3390/drones2020017>
- Campolettano, E. T., Bland, M. L., Gellner, R. A., Sproule, D. W., Rowson, B., Tyson, A. M., ..., Rowson, S. (2017). Ranges of injury risk associated with impact from Unmanned Aircraft Systems. *Annals of Biomedical Engineering*, 45(12), 2733–2741. <https://doi.org/10.1007/s10439-017-1921-6>
- Chabot, D., Stapleton, S., Francis, C. M. (2019). Measuring the spectral signature of polar bears from a drone to improve their detection from space. *Biological Conservation*, 237, 125–132. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.06.022>
- Cheng, E. (2016). *Aerial photography and videography using drones*. Londyn: Peachpit Press.

- Christie, K., Gilbert, S., Brown, C., Hatfield, M., Hanson, L. (2016). Unmanned aircraft systems in wildlife research: Current and future applications of a transformative technology. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 14, 241–251. <https://doi.org/10.1002/fee.1281>
- Domínguez-Sánchez, C., Acevedo-Whitehouse, K., Gendron, D. (2019). Effect of drone-based blow sampling on blue whale (*Balaenoptera musculus*) behavior. *Marine Mammal Science*, 34(3), 841–850. <https://doi.org/10.1111/mms.12482>
- Fu, Y., Kinniry, M., Kloepper, L. N. (2018). The chirocopter: A UAV for recording sound and video of bats at altitude. *Methods in Ecology and Evolution*, 9(6), 1531–1535. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12992>
- Inoue, S., Yamamoto, S., Ringhofer, M., Mendonça, R. S., Pereira, C., Hirata, S. (2019). Spatial positioning of individuals in a group of feral horses: A case study using drone technology. *Mammal Research*, 64(2), 249–259. <https://doi.org/10.1007/s13364-018-0400-2>
- King, A. J., Fehlmann, G., Biro, D., Ward, A. J., Fürtbauer, I. (2018). Re-wilding collective behaviour: An ecological perspective. *Trends in Ecology & Evolution*, 33(5), 347–357. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2018.03.004>
- Laksham, K. (2019). Unmanned aerial vehicle (drones) in public health: A SWOT analysis. *Journal of Family Medicine and Primary Care*, 8(2), 342–346. https://doi.org/10.4103/jfmpc.jfmpc_413_18
- Park, S., Lee, H., Chon, J. (2019). Sustainable monitoring coverage of unmanned aerial vehicle photogrammetry according to wing type and image resolution. *Environmental Pollution*, 247, 340–348. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.08.050>
- Peshkova, E., Hitz, M., Kaufmann, B. (2017). Natural interaction techniques for an Unmanned Aerial Vehicle System. *IEEE Pervasive Computing*, 16(1), 34–42. <https://doi.org/10.1109/MPRV.2017.3>
- Prugh, L. R., Sivy, K. J., Mahoney, P. J., Ganz, T. R., Ditmer, M. A., van de Kerk, M., ..., Montgomery, R. A. (2019). Designing studies of predation risk for improved inference in carnivore-ungulate systems. *Biological Conservation*, 232, 194–207. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.02.011>
- Raoult, V., Tusetto, L., Williamson, J. (2018). Drone-based high-resolution tracking of aquatic vertebrates. *Drones*, 2(4), 37–44. <https://doi.org/10.3390/drones2040037>
- Rümmler, M.-C., Mustafa, O., Maercker, J., Peter, H.-U., Esefeld, J. (2018). Sensitivity of Adélie and Gentoo penguins to various flight activities of a micro UAV. *Polar Biology*, 41, 2481–2493. <https://doi.org/10.1007/s00300-018-2385-3>
- Sardà-Palomera, F., Bota, G., Padilla, N., Brotons, L., Sardà, F. (2017). Unmanned aircraft systems to unravel spatial and temporal factors affecting dynamics of colony formation and nesting success in birds. *Journal of Avian Biology*, 48(9), 1–8. <https://doi.org/10.1111/jav.01535>

- Scarpa, L. J., Piña, C. I. (2019). The use of drones for conservation: A methodological tool to survey caimans nests density. *Biological Conservation*, 238, 108235. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108235>
- Schuette, P., Namukonde, N., Becker, M., Watson, F., Creel, S., Chifunte, C., ..., Sanguinetti, C. (2018). Boots on the ground: In defense of low-tech, inexpensive, and robust survey methods for Africa's under-funded protected areas. *Biodiversity and Conservation*, 27, 2173–2191. <https://doi.org/10.1007/s10531-018-1529-7>
- Twidwell, D., Allen, C. R., Detweiler, C., Higgins, J., Laney, C., Elbaum, S. (2016). Smokey comes of age: Unmanned aerial systems for fire management. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 14(6), 333–339. <https://doi.org/10.1002/fee.1299>
- Van Nguyen, H., Chesser, M., Koh, L. P., Rezatofighi, S. H., Ranasinghe, D. C. (2019). TrackerBots: Autonomous unmanned aerial vehicle for real-time localization and tracking of multiple radio-tagged animals. *Journal of Field Robotics*, 36(3), 1–19. <https://doi.org/10.1002/rob.21857>
- Weimerskirch, H., Prudor, A., Schull, Q. (2018). Flights of drones over sub-Antarctic seabirds show species- and status-specific behavioural and physiological responses. *Polar Biology*, 41(2), 259–266. <https://doi.org/10.1007/s00300-017-2187-z>
- Weir, J., Fiori, L., Orbach, D., Piwetz, S., Protheroe, C., Würsig, B. (2018). Dusky dolphin (*Lagenorhynchus obscurus*) mother–calf pairs: An aerial perspective. *Aquatic Mammals*, 44, 603–607. <https://doi.org/10.1578/AM.44.6.2018.603>
- Wich, S., Dellatore, D., Houghton, M., Ardi, R., Koh, L. P. (2015). A preliminary assessment of using conservation drones for Sumatran orangutan (*Pongo abelii*) distribution and density. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 4(1), 45–52. <https://doi.org/10.1139/juvs-2015-0015>
- Wich, S., Fredriksson, G. M., Usher, G., Peters, H. H., Priatna, D., Basalamah, F., ..., Kühl, H. S. (2012). Hunting of Sumatran orangutans and its importance in determining distribution and density. *Biological Conservation*, 146(1), 163–169. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2011.12.006>

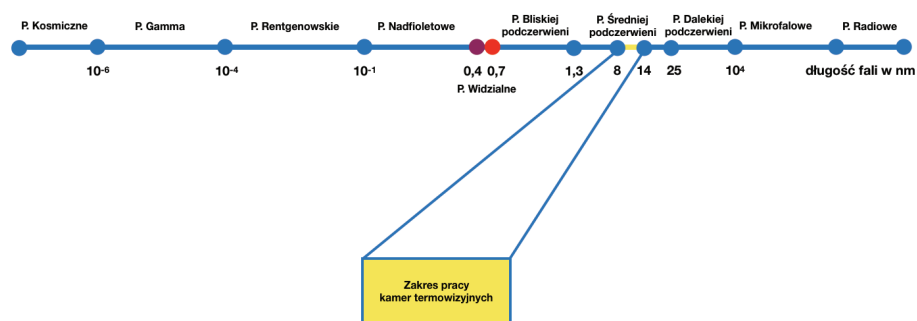
MACIEJ TROJAN, FILIP KRASNOMOWIEC

Instytut Psychologii, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

Użycie termografii w badaniach behawioralnych

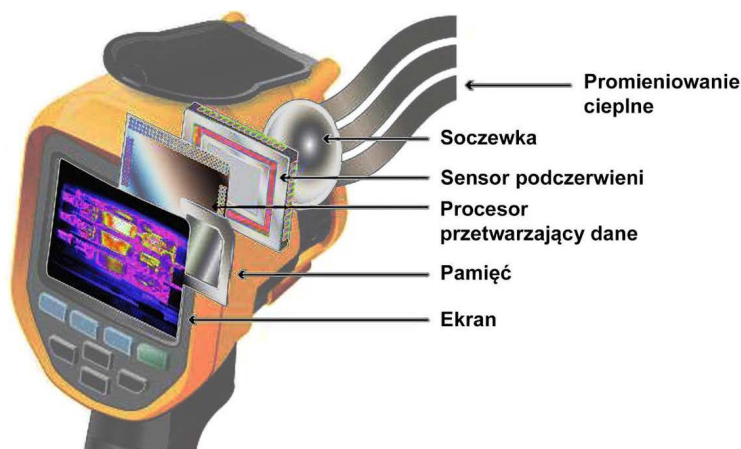
Sposób cytowania: Trojan, M., Krasnomowiec, F. (2020). Użycie termografii w badaniach behawioralnych. W: M. Trojan, M. Gut (red.), *Nowe technologie i metody w psychologii* (s. 217–232). Warszawa: Liberi Libri. <https://doi.org/10.47943/lib.9788363487430.rozdzial10>

Termografia, a ściślej, precyzyjnie funkcjonalne obrazowanie w podczerwieni, jest metodą bazującą na rejestracji promieniowania elektromagnetycznego z zakresu ograniczonego pasma średniej podczerwieni (*mid infrared*, MIR), czyli w przedziale od 8 do 14 μm (zob. rysunek 1). Co ważne, w wielu pozycjach poświęconych termografii wymienia się nazwę *daleka podczerwień* (*far infrared*, FIR), ale nie jest to zgodne ze stanem faktycznym. Promieniowanie ciepłne emitowane z obiektu (*region of interest*, ROI), na który zwrócona jest kamera, przechodzi przez soczewkę i skupia się na detektorze mikrobolometrycznym, który wykrywa temperaturę docierającego do kamery promieniowania cieplnego (zob. rysunek 2). Następnie oprogramowanie urządzenia zamienia dane z detektora w barwny obraz obserwowalny na ekranie i zapisywany do pliku, w postaci skali barwnej zwanej termogramem (zob. rysunek 3).

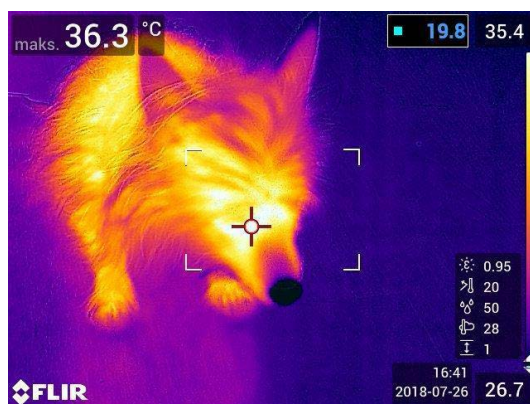


Rysunek 1. Spektrum elektromagnetyczne wszystkich otaczających nas fal z wyróżnieniem zakresu w paśmie podczerwieni, który rejestrują kamery termograficzne (między 8 a 14 μm).

Technika ta umożliwia pomiar ciepła emitowanego przez ciała fizyczne o temperaturze wyższej od zera bezwzględnego, to jest większej od $-273,15^{\circ}\text{C}$ ($= 0^{\circ}\text{K}$). Promieniowanie podczerwone ma większą energię niż promieniowanie widzialne, więc można je wykrywać z większych odległości (Minkina, 2004). Kamera termowizyjna, zwana też pirometrem, jest w pewnym sensie precyzyjnym termometrem działającym na odległość. Działa całkowicie bezinwazyjnie, a wynik pomiaru pozwala zapisać w postaci termogramu. Rozkład temperatury na badanych ROI, niezależnie od tego, czy tworzymy statyczny obraz (zdjęcie), czy też rejestrujemy film, przedstawiany jest w postaci barwnych izoterm, gdzie jeden kolor odpowiada punktom o tej samej temperaturze. Paleta barw, z jakiej tworzy się termogram, zależy od ustawień operatora kamery (Minkina, 2004).



Rysunek 2. Konstrukcja kamery termowizyjnej (na podstawie danych producenta – <https://www.fluke.com/pl-pl/nauka/najlepsze-praktyki/podstawy-prowadzenia-pomiarow/termografia/jak-dzialaja-kamery-termowizyjne>).



Rysunek 3. Termogram psa z nałożoną obok skalą. Najzimniejsze miejsce ma 26,7°C – jest to trufa nosa, zaś kursor na zdjęciu wskazuje miejsce najcieplejsze o temperaturze 36,3°C w okolicy oczu (materiały własne – kamera FLIR T530).

W przeciwieństwie do zwykłych kamer wideo działających w trybie nocnym, kamery termowizyjne nie wymagają stosowania zewnętrznego źródła światła, co pozwala na efektywną pracę nawet w bardzo ubogim oświetleniu. Daje to olbrzymią przewagę w badaniach prowadzonych w nocy (np. Go-

odenough i in., 2018; Mitchell, Clarke, 2019). Niemniej podczas pomiaru badanego obiektu (ROI) niezbędna jest znajomość jego emisyjności (ϵ), czyli wartości określającej zdolność danej powierzchni do wypromieniowywania energii. Decyduje o niej rodzaj materiału, z jakiego przedmiot jest wykonany, stan powierzchni oraz długości fali promieniowania. Wartość emisyjności określa się w granicach od 0 do 1, przy czym im większa wartość, tym więcej energii wypromieniowuje badany obiekt i bardziej kontrastowy jest obraz na wyświetlaczu. Przykładowo, skóra ludzka charakteryzuje się emisyjnością rzędu 0,98, co przekłada się na bardzo duży kontrast otrzymanego obrazu (Michalski, Eckersdorf, Kucharski, 1998).

Dokładność pomiaru termograficznego w dużym stopniu zależy również od warunków atmosferycznych, takich jak natężenie promieniowania słonecznego czy wilgotność powietrza, które bezpośrednio zniekształcają rzetelność pomiaru emisyjności przedmiotu. Dlatego użycie kamery termowizyjnej w warunkach laboratoryjnych, gdzie panuje stała temperatura i wilgotność powietrza (np. Cardone, Pinti, Merla, 2015; Franco, Gerós, Oliveira, Olsson, Aguiar, 2019; Merla, Romani, 2007), jest łatwiejsze w porównaniu z działaniem w naturalnym środowisku (np. Chudecka, Lubkowska, 2010; Codde, Allen, Houser, Crocker, 2016; Klemm, Heusinkveld, Lenzholzer, van Hove, 2015; Mitchell, Clarke, 2019; Viejo, Fuentes, Howell, Torrico, Dunshea, 2019).

Dane uzyskiwane za pomocą urządzeń termograficznych znajdują praktyczne zastosowanie w takich dziedzinach, jak wojskowość, medycyna oraz szeroko rozumiane zastosowania inżynierskie, jak choćby podczas diagnostyki urządzeń mechanicznych, obwodów elektrycznych i termoizolacji budynków (np. Goodhew, Pahl, Auburn, Goodhew, 2014). Ponieważ metoda ta wyklucza bezpośrednie oddziaływanie na obiekt objęty pomiarem, coraz chętniej stosowana jest także w badaniach naukowych, zwłaszcza w naukach przyrodniczych i społecznych.

Zastosowanie termografii w badaniach psychologicznych

Czułość pomiaru zmian temperatury ROI rzędu $0,1^{\circ}\text{C}$ umożliwia między innymi identyfikowanie alternatywnych, równie rzetelnych wskaźników termicznych dla konwencjonalnych sygnałów psychofizjologicznych (Ioannou, Gallese, Merla, 2014). Za pomocą termicznej rejestracji pulsacyjnego przepływu krwi w układzie krążenia, badaczom udało się uchwycić cieplne interwały między

kolejnymi uderzeniami serca. Skuteczność metody, w porównaniu do standardowych sposobów pomiaru, oscyluje w granicach od 88,52% do 90,33%, co w dużym stopniu pozwala na jej trafne zastosowanie zarówno w badaniach naukowych, jak i praktyce diagnostycznej (Garbey, Sun, Merla, Pavlidis, 2007). Rytmiczny ruch ścian tętnic, wywołany skurczami mięśnia sercowego, może służyć między innymi jako wskaźnik zaburzeń kardiologicznych, takich jak miażdżyca czy choroba wieńcowa, ale również wyznaczać ogólny poziom aktywacji układu współczulnego.

Za pomocą aparatury termograficznej możliwa jest również bezinwazyjna rejestracja funkcji oddechowych. Respiracja składa się z naprzemiennych cykli wdechów i wydechów. Ze względu na wymianę ciepła w płucach i przewodzie oddechowym, powietrze wydychane jest cieplejsze od powietrza wdychanego. Proces ten tworzy zróżnicowaną sygnaturę termiczną między organizmem a środowiskiem, która jest możliwa do zarejestrowania za pomocą czujnika obrazowania podczerwieni. Dodatkowo, jej regularny charakter umożliwia kwantyfikację uzyskanych danych. Jak pokazały badania porównawcze, obrazowanie termiczne jest w stanie zarejestrować ten fenomen na odległość, z precyzją pomiaru na poziomie 96,43% (Murthy, Pavlidis, 2006).

Termografię bazującą na powyższej metodologii zastosowano też z powodzeniem w badaniach nad zaburzeniami snu. Osoby badane zostały poddane pomiarowi termicznemu oraz standardowemu pomiarowi polisomnograficznemu, zwykle używanemu przy tego typu dolegliwościach (zob. Szeremeta, Trojan, w tym tomie). Uzyskano wysoką współmienność otrzymanych wyników, co umożliwia rzetelny, dyskretny i nieinwazyjny sposób monitorowania zaburzeń snu za pomocą obrazowania termicznego (Fei, Pavlidis, Murthy, 2009).

Kolejnym przykładem zastosowania termografii w pomiarze wskaźników psychofizjologicznych, takich jak stan pobudzenia emocjonalnego, jest rejestracja skórnej perfuzji krwi (Puri, Levine, Olson, 2005). Odnacza się ona zwiększeniem lub zmniejszeniem ilości krwi w tkance we względnie krótkiej jednostce czasu. Zwiększenie przepływu krwi wiąże się ze wzrostem temperatury tkanki, natomiast jej zmniejszenie – z jej spadkiem. Metoda ta znalazła, między innymi, zastosowanie jako dodatkowe źródło pomiaru wariograficznego oraz w badaniach nad odczuwaniem emocji (Puri i in., 2005), zwłaszcza że poprzez zastosowanie obrazowania termicznego możliwa jest rejestracja reakcji sudomotorycznej¹. Aktywacja układu współczulnego wzmacnia wydzielanie

¹ Efekty pobudzenia układu współczulnego, w dalszej kolejności skutkujące pobudzeniem gruczołów potowych, zwiększając tym samym ilość wydzielanego potu, a jednocześnie chłodząc.

potu, skutkując zmianą temperatury powierzchni skóry. Parowanie, które następuje, jest przyczyną występowania chłodniejszych punktów, możliwych do zarejestrowania w obrazie termograficznym. Jest to alternatywny w stosunku do standardowych miar (do których zaliczyć możemy reakcję elektrodermalną skóry – GSR) sposób pomiaru aktywacji autonomicznego układu nerwowego. Poza wysoką korelacją z innymi metodami pomiaru (Shastri, Merla, Tsiamyrtzis, Pavlidis, 2009), za pomocą termografii jesteśmy w stanie uniknąć ograniczeń dla nich charakterystycznych, takich jak duża zmienność pomiaru (Laine, Spitler, Mosher, Gothard, 2009) czy nadwrażliwość uniemożliwiająca rozróżnienie poszczególnych emocji lub ich intensywności (Kuraoka, Nakamura, 2011). Obszarem badań, w którym liczne zastosowania znajduje pomiar termowizyjny, jest na przykład ten związany z reakcją stresową (Cho, 2017; Cross, Skipper, Petkie, 2013; Hong, Hong, 2016).

Zazwyczaj podczas testów wariograficznych ściśle monitoruje się trzy parametry fizjologiczne: zmiany objętości krwi i tętna, zmiany oddechowe oraz aktywność skórno-galwaniczną. Wskaźnik skuteczności tradycyjnych testów wariograficznych jest zróżnicowany, ale średnio wynosi on 90% (Pavlidis, Levine, 2002). W obecnym stuleciu wzrosło zainteresowanie włączaniem do badań wariograficznych również analizy termo-obrazu twarzy osoby badanej. Pomiar taki jest nieinwazyjny, a główne obszary (ROI) pomiaru to najczęściej czoło, łuki brwiowe, nos oraz obszar między nosem a górną wargą (pola te używane są jako ROIe w wielu badaniach, w których mierzy się reakcję stresową lub inne pobudzenie emocjonalne [np. Merla, Romani, 2007]). Zastosowanie termografii w teście wariograficznym, jako nieinwazyjnej i dyskretnej metody, jest bardzo ważne w kontekście warunków pomiaru, w których osoba badana czuje się swobodnie i nie jest podłączona bezpośrednio do aparatury badawczej. Po odpowiednim przetworzeniu termogramów mogą one dostarczyć informacji podobnych do jednego z tradycyjnych wskaźników wariograficznych, tj. szybkości przepływu krwi. Główną różnicą jest to, że informacja termograficzna jest dwuwymiarowa w przeciwieństwie do tradycyjnie stosowanych pomiarów fizjologicznych (mówi nie tylko o tym, że nastąpił zwiększony przepływ krwi, ale również to, na jakim obszarze twarzy miał on miejsce). Daje to co najmniej rząd wielkości więcej informacji niż dane uzyskane w klasycznym pomiarze (Pavlidis, Levine, 2002).

Termografię często stosuje się do badań, w których potrzebny jest bezinwazyjny i szybki pomiar pobudzenia emocjonalnego. Na przykład w badaniu Merli i Romaniego (2007) skoncentrowano się na pomiarze stresu, strachu oraz podniecenia seksualnego. Dyskomfort związany ze stresem u osób ba-

danych powodował wzrost temperatury obszarów o zwiększonym przepływie krwi – głównie czoła i łuków brwiowych. Strach przed odczuwaniem bólu spowodował ogólny spadek temperatury twarzy wywołany zarówno skurczem naczyń obwodowych, jak i aktywnością sudomotoryczną. Pobudzenie seksualne z kolei powodowało zwiększenie szybkości perfuzji krwi w skórze w określonych obszarach twarzy, zwłaszcza na czole (skórna projekcja mięśnia marszczącego, tj. zwiększona uwaga), nad wargami (zwiększona perfuzja błony śluzowej związana ze zwiększeniem wrażliwości) i nosa. Sygnatury termiczne były wysoko skorelowane z wynikami uzyskanymi z tradycyjnymi piezoelektrycznymi miernikami pulsu stosowanymi w praktyce klinicznej.

Podobne wyniki uzyskano w badaniu Puriego i in. (2005). Osoby badane używały komputerów, nad ekranami których zamontowano kamery termowizyjne. W pewnym momencie badania komputery przestawały reagować na polecenia, co wywoływało stres i frustrację osób badanych. Badacze stwierdzili, że podczas wystąpienia nagłego stresu dochodziło do zwiększenia przepływu krwi w regionie czoła osoby badanej. Wzrost przepływu krwi jest dobrze mierzalny w układzie naczyniowym czoła, ale też w okolicy łuków brwiowych podczas marszczenia brwi. Zintensyfikowany przepływ krwi w tych okolicach prowadzi do szybkiego wzrostu temperatury w obszarze czoła. Gwałtowny ruch gałek ocznych podczas korzystania z komputera uniemożliwia jednak prawidłowy pomiar zmian temperatury okolic okołoooczodołowych (Puri i in., 2005).

W badaniach dotyczących obciążenia psychicznego u profesjonalnych kierowców próbowano odnaleźć jego wskaźniki na twarzach osób badanych (Or, Duffy, 2007). Badani zostali poddani symulacji jazdy w mieście i na autostradzie w warunkach obciążenia poznawczego i bez niego. Otrzymane wyniki wskazały na różnice temperatury w okolicach nosa między obydwoma warunkami eksperymentalnymi. Podczas obciążenia obszar ten ulegał wyraźnym fluktuacjom w zależności od warunków badania. Wraz ze zwiększaniem poziomu obciążenia psychicznego stawał się on chłodniejszy, a w miarę jego zmniejszania – cieplejszy (Or, Duffy, 2007). W innym badaniu dotyczącym stresu sprawdzano stan studentów, mierząc ich temperaturę dłoni i tętno przed sytuacją stresową, jaką był egzamin, a następnie po jego zakończeniu (Mateas, Ianosi, 2013). Wyniki badania wykazały zauważalny wzrost ciśnienia tętniczego i spadek temperatury przed sytuacją stresową oraz odwrotny schemat po jej ustaniu. Różnica temperatury przed i po manipulacji oscylowała w granicach 2°C, co jest zauważalną różnicą, czyniącą temperaturę dłoni bardzo dobrym wskaźnikiem przeżywanego stresu.

Termografia znajduje też zastosowanie w przypadku badań z zakresu psychologii rozwojowej. Na przykład w badaniu Ioannou i in. (2013) skoncentrowano się na fizjologicznych wskaźnikach podstaw samoświadomych emocji we wczesnym dzieciństwie. U badanych dzieci, w wieku 39–42 miesięcy, wywoływano poczucie winy, stosując tzw. paradygmat nieszczęścia. Każde dziecko było zachęcane do zabawy dostępną zabawką, ale wcześniej było fałszywie poinformowane, że to „ulubiona zabawka” eksperymentatora. Zabawka ulegała oczywiście zaplanowanemu zepsuciu podczas manipulacji przez bawiące się nią dziecko. To powodowało u badanych pobudzenie współczulne, objawiające się zwężeniem naczyń krwionośnych okolic nosa, co z kolei prowadziło do znacznego spadku temperatury w porównaniu do wartości początkowej. Łagodzenie sytuacji przez eksperymentatora po fazie wystąpienia usterki wywoływało wzrost temperatury okolic nosa, związany z aktywnością przywspółczulną, co sugeruje, że poczucie winy u dzieci zostało zneutralizowane. Równolegle prowadzone przez badaczy analizy wskaźników o charakterze behawioralnym potwierdziły wyniki uzyskane z pomiaru termograficznego.

Również w psychologii stosowanej sięga się po termografię w celu uzyskania precyzyjnych i bezinwazyjnych pomiarów. W badaniu Viejo i in. (2019) zastosowano termografię do pomiaru wyborów konsumenckich. Tradycyjne metody np. podczas degustacji opierają się często w takich przypadkach na wybieranych przez uczestników odpowiedziach. W badaniu, w którym badani uczestniczyli w degustacji dziewięciu gatunków piwa, zastosowano zintegrowany system kamer termowizyjnych w połączeniu z oprogramowaniem komputerowym pozwalającym na wyodrębnianie i pomiar takich danych biometrycznych, jak tętno, temperatura różnych obszarów twarzy oraz mimika. Konsumenci oceniali pianę, kolor, zapach i smak, oraz wystawiali ogólną ocenę piwa na 9-punktowej skali. Wyniki analizy wykazały, że istnieją korelacje między odpowiedziami uczestników a wartościami uzyskanych wskaźników biometrycznych. Wystąpiła ujemna korelacja między temperaturą ciała a oceną wysokości i stabilności piany.

Z powodzeniem kamery termowizyjne można zastosować także w psychologii środowiskowej w warunkach pozalaboratoryjnych. Klemm i in. (2015) przebadali korzystny wpływ zieleni ulicznej w tworzeniu termicznie wygodnych dla użytkowników przestrzeni publicznej krajobrazów ulicznych w umiarkowanym klimacie. W tym celu zespół przebadiał dziewięć ulic o porównywalnych konfiguracjach geometrycznych, ale z różną ilością zieleni ulicznej (drzewa, przylegające parki, trawniki) w Utrechcie w Niderlandach. Przeprowadzono

mobilne pomiary mikrometeorologiczne, w tym temperaturę powietrza, promieniowanie słoneczne i ciepłne, umożliwiając obliczenie średniej temperatury promieniowania. Dodatkowo przeprowadzono częściowo ustrukturyzowane wywiady z pieszymi na temat ich chwilowego i długoterminowo postrzeganego komfortu cieplnego oraz formułowanej przez nich estetycznej oceny przestrzeni. Pomiary wykazały wyraźny wpływ zieleni ulicznej na komfort cieplny wskutek zacieniania przestrzeni przez korony drzew. Wyniki wywiadu wskazują, że chwilowy, odczuwany komfort cieplny był zwykle związany z ilością zieleni ulicznej. W odniesieniu do komfortu cieplnego postrzeganego w dłuższej perspektywie respondenci prawie nie byli świadomi wpływu zieleni ulicznej. Cenili jednak obecność zieleni ulicznej pod względem estetycznym. Wyniki pomiarów termograficznych wykazały, że zieleń uliczna stanowi wygodną strategię adaptacyjną przyjmowaną w celu stworzenia komfortowych termicznie i atrakcyjnych warunków dla użytkowników przestrzeni publicznej i że zarówno fizyczne, jak i psychologiczne aspekty komfortu cieplnego należy brać pod uwagę w procesach projektowania urbanistycznego.

Zastosowanie termografii w badaniach behawioralnych innych gatunków zwierząt

U zwierząt laboratoryjnych, głównie szczurów i myszy, pomiary zmiany temperatury ciała u są często wykonywane za pomocą metod inwazyjnych i stresujących, co może mieć bezpośredni wpływ na obiektywność wyniku pomiaru. Termografia wydaje się być idealnym rozwiązaniem tego problemu, ale koszty standardowych kamer termowizyjnych, brak oprogramowania przeznaczonego do celów biomedycznych oraz pracochłonność termicznej analizy obrazu ograniczyły do tej pory wykorzystanie pirometrów na szerszą skalę w badaniach. Franco i in. (2019) sprawdzili eksperymentalnie, przy użyciu oprogramowania do analizy obrazu termicznego, metodę automatycznej oceny średniej temperatury powierzchni ciała swobodnie poruszających się myszy. Chociaż temperatura powierzchni skóry (pokrytej sierścią) niekoniecznie musi być skorelowana liniowo z temperaturą ciała, w znormalizowanych warunkach środowiskowych, takich jak te, w których trzymane są zwierzęta laboratoryjne, średnia temperatura powierzchni ciała może dostarczyć użytecznych informacji o ich stanie termicznym (tj. odchylenia od normotermii, hipo- i hipertermia). Autorzy opracowali ogólnodostępne oprogramowanie, które automatycznie

wyodrębnia piksele powiązane ze zwierzęciem z pikseli powiązanych z tłem, eliminując potrzebę ręcznego definiowania obszaru analizy. Dostępny jest także tryb analizy wsadowej (dla dużej porcji danych) do automatycznej i wysoko-przepustowej analizy wszystkich plików z obrazami znajdujących się w folderze. Oprogramowanie jest kompatybilne z najbardziej rozpowszechnionym producentem kamer termowizyjnych FLIR Systems, a także z niedrogą miniaturową kamerą termiczną Thermal Expert TE-Q1 używaną do tego typu pomiarów.

Dodatkowo Franco i in. (2019) przetestowali metodę na grupie myszy z nieprzemijającą hipertermią, a wyniki analizy termicznej osobników porównano z odczytami z wszczepionych termoczułych czipów. Wyniki potwierdziły, że zastosowanie pirometrów wraz z odpowiednim oprogramowaniem nie tylko skutecznie pozwala na ocenę termiczną zwierząt laboratoryjnych bez wpływu stresu na ich fizjologię lub zachowanie, ale także, że automatyczne oprogramowanie usuwa błędy obserwatora, jednocześnie przyspieszając przetwarzanie danych.

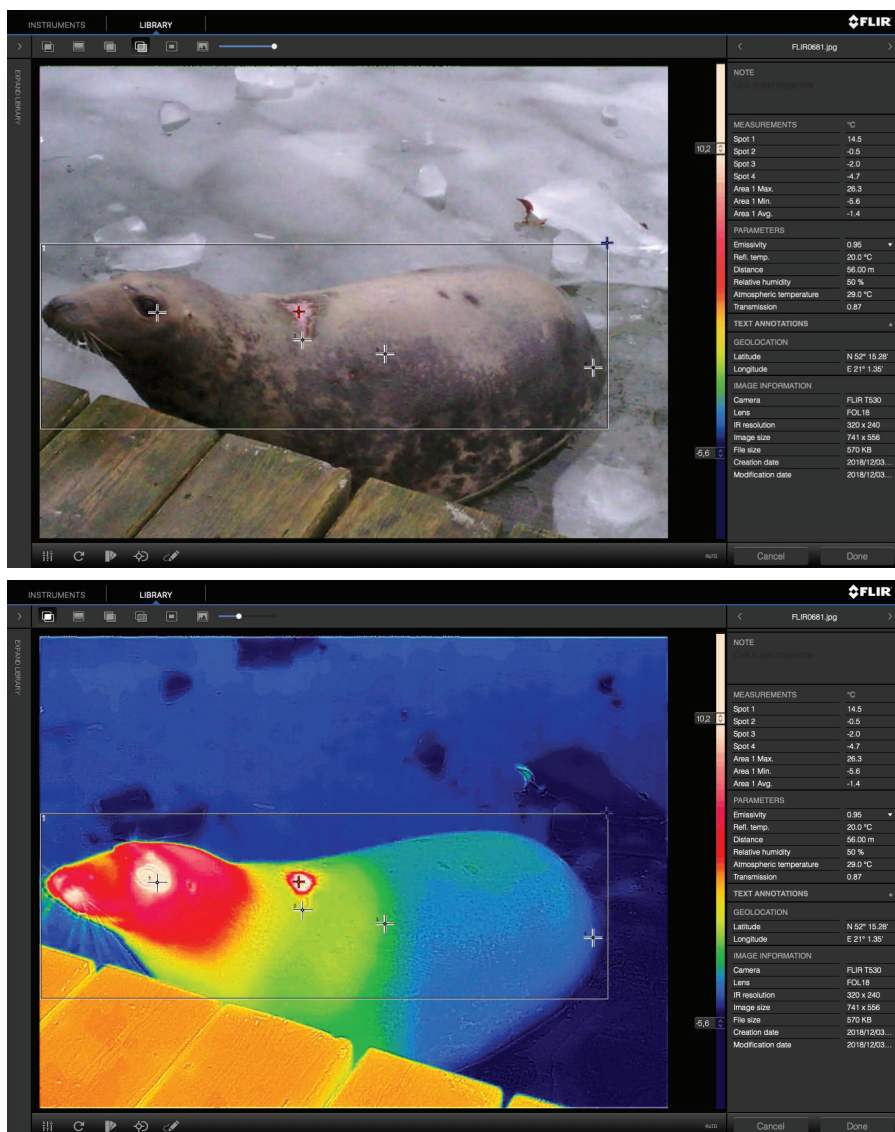
Czasem nie potrzeba dodatkowego oprogramowania, by użycie pirometru okazało się skuteczną formą zbierania danych – zwłaszcza jeśli chodzi o badania terenowe prowadzone w warunkach nocnych. Większość gatunków ptaków śpi nocą, ale istnieje bardzo niewiele danych dotyczących ich zachowań związanych z nocowaniem. Dotychczasowe badania koncentrowały się na gatunkach, które gniazdują wspólnie, lub wykorzystywały radio-telemetrię do lokalizowania śpiących osobników zaopatrzonych wcześniej w nadajniki radiowe. Celem badania Mitchella i Clarka (2019) była ocena skuteczności wykorzystania kamer termicznych do wykrywania osobników nocujących w społeczności ptaków leśnych w południowo-wschodniej Australii. Dane zbierano zarówno przy użyciu tradycyjnych technik obserwacyjnych w ciągu dnia i nocy, jak i za pomocą kamery termowizyjnej w nocy. Za pomocą pirometru badacze wykryli 195 osobników reprezentujących 21 gatunków, przy czym wskaźnik wykrywalności ptaków podczas nocnych badań wynosi około 1/3 (29,1%) w porównaniu z badaniami prowadzonymi za dnia. Wskaźniki wykrywalności były znacznie wyższe podczas badań dobowych dla 14 gatunków ptaków leśnych, ale nie różniły się między badaniami dziennymi i nocnymi dla 8 innych gatunków. Niemniej wyniki nocnych obserwacji z użyciem pirometru były znacznie lepsze niż w przypadku tradycyjnej formy nocnej obserwacji. Niska rozdzielczość stosowanej kamery prawdopodobnie przyczyniła się do uzyskania ogólnie niższych wskaźników wykrywalności podczas nocnych badań w porównaniu z obserwacjami za dnia.

Termografia w czasie rzeczywistym z wykorzystaniem funkcji podglądu na żywo z kamery termowizyjnej ma znaczny potencjał w zakresie poprawy

jakości badań nocnej przyrody w porównaniu z tymi, w których wykorzystuje się oświetlenie punktowe z jednoczesnym zmniejszaniem zakłóceń. Dotyczy to zwłaszcza gatunków bytujących na otwartej przestrzeni. Nie zmienia to faktu, że operator takiej kamery musi być przeszkolony i np. posiadać umiejętność dokładnej identyfikacji gatunków w oparciu o termogram.

Goodenough i in. (2018) sprawdzili, jak przebiega nocna identyfikacja różnych gatunków afrykańskich antylop w warunkach naturalnych. W badaniu wzięło udział 34 obserwatorów o różnym doświadczeniu w oznaczaniu gatunków. Ogólna dokładność nocnej oceny na podstawie termogramów wyniosła 41%, ale istniały znaczne różnice między gatunkami. Najłatwiejszym gatunkiem do identyfikacji okazała się być antylopa gnu (*Connochaetes taurinus*). Skuteczność w tym przypadku wynosiła 81%. Natomiast najtrudniejszym – ridbok południowy (*Redunca arundinum*), w przypadku którego odnotowano skuteczność zaledwie na poziomie 12%. Doświadczenie obserwatora było istotnie dodatnio skorelowane z dokładnością identyfikacji. Przeciętny wynik niedoświadczonego obserwatora wynosił 30%, podczas gdy eksperci osiągnęli 61% skutecznych oznaczeń. Doświadczeni obserwatorzy mogli lepiej wykorzystywać subtelne informacje o ruchu i zachowaniu do identyfikacji zwierząt. Jednak efekt doświadczenia był niespójny między gatunkami: nawet eksperci stwierdzili, że niektóre gatunki stanowią wyzwanie – np. kob śniady (*Kobus ellipsiprymnus*), u którego wzór sierści decydujący o rozpoznaniu jest niewidoczny termograficznie. Badacze doszli do wniosku, że termografia jako metoda pomiaru w czasie rzeczywistym może być pomocna, jednak niezbędny jest odpowiedni trening dla najlepiej doświadczonych operatorów, aby stała się ona niezawodną techniką w badaniach terenowych.

Pirometry można też zastosować do badań terenowych prowadzonych w ciągu dnia. Badacze płetwonogów wiedzą, że podczas okresu rozrodczego osobniki spędzają dużo czasu na lądzie. Jednak gdy są narażone na wysokie temperatury, wiele z nich wycofuje się do wody. Codde i in. (2016) badali to zjawisko w przypadku samic mirungi północnej (*Mirounga angustirostris*), które, mimo wysokich temperatur na lądzie, unikają wraz z młodymi wody. Prawdopodobnie robią to w celu zminimalizowania ryzyka, na które narażone są szczenięta, lub z obawy przed samcami. Niewiele wiadomo na temat wpływu temperatury otoczenia na termoregulację dobrze izolowanych osobników przebywających na lądzie. Badacze użyli kamery termograficznej do pomiaru temperatury powierzchni ciała 100 dorosłych samic i ich szczeniąt w sezonie lęgowym w Point Reyes National Seashore, uzyskując 782 termogramy (por. termograf foki na rysunku 4).



Rysunek 4. Przykładowy termogram foki szarej zranionej w czasie walki z innym osobnikiem, wraz z załączonym zdjęciem w widmie światła widzialnego. Widać wyraźnie, że zranione miejsce wypromieniowuje ciepło w podobnym stopniu jak okolice oczu, natomiast tłuszcz stanowi doskonałą izolację, gdyż duża część skóry ma temperaturę zbliżoną do otoczenia (materiały z pomiarów w Miejskim Ogrodzie Zoologicznym w Warszawie; Trojan, Jakucińska, Sikorska, Gulatowska).

Zmienne środowiskowe (zmierzone przez stację meteorologiczną na miejscu), zwłaszcza promieniowanie słoneczne i temperatura otoczenia, były głównymi wyznacznikami średnich i maksymalnych temperatur samic i ich młodych. Średnio 16% widocznej powierzchni samic i szczeniąt osobniki wykorzystywały jako okna termiczne, aby ułatwić utratę ciepła. U szczeniąt ich powierzchnia zwiększała się wraz ze wzrostem promieniowania słonecznego. W obu przypadkach obszary, przez które osobniki oddawały ciepło, miały wyższą temperaturę niż otoczenie. Badacze zaobserwowali także nieopisane wcześniej zachowanie samic i młodych w wodzie – wchodziły one do spokojnej wody w celu oddania ciepła, mimo istnienia zagrożenia ze strony drapieżników (warto dodać, że łatwiej zauważyć drapieżnika w spokojnej wodzie) i dowiedli, że promieniowanie słoneczne wpływa na to zachowanie. Ostatecznie, zdaniem badaczy, zwierzęta wykorzystywały możliwość chłodzenia się w wodzie ze względu to, że w miejscu prowadzenia obserwacji wody były spokojne, co zmniejszyło ryzyko utonięcia lub ataku na młode osobniki. Wyniki tego typu obserwacji mogą wskazywać, które cechy siedlisk lęgowych są istotne, jako że promieniowanie słoneczne i temperatury otoczenia zmieniają się wraz ze zmieniającym się klimatem.

Zalety i wady termografii

Obrazowanie termograficzne jest metodą nowatorską i pozwalającą na uzyskiwanie danych w bezinwazyjny sposób. Znajduje ono zastosowanie w wielu dziedzinach badań, zarówno ludzi, jak i zwierząt. Umożliwia prze-skoczenie wielu metodologicznych trudności, z którymi naukowcy dotychczas się borykali, takich jak na przykład wpływu pomiaru na otrzymywane wyniki. Dokładność pomiaru pozwalająca na wychwycenie minimalnych zmian temperatury w przypadku badań laboratoryjnych otwiera zatem przed tą metodą wiele możliwości.

Niemniej nie wystarczy nabyć kamerę termowizyjną, aby skutecznie zbierać tego rodzaju dane. Pomijając fakt, że pirometry są wciąż urządzeniami drogimi w porównaniu np. ze zwyczajnymi kamerami wideo, to warto zauważyć, że użytkownik takiego urządzenia musi się nim poprawnie posługiwać. Promieniowanie słoneczne, wilgotność powietrza, odległość od obiektu są czynnikami, które wpływają na otrzymywany obraz i bez wcześniejszej kalibracji uwzględniającej ich występowanie potrafią bardzo wyraźnie rzutować na otrzymane wyniki. Ponadto poprawne wykonanie samego termogramu nie

jest wystarczające. Użytkownik musi nauczyć się też obsługi oprogramowania służącego do analizy termogramów. W przypadku dużej ilości danych, proces analizy może być bardzo pracochłonny. Można spodziewać się, że rozwój oprogramowania używanego w badaniach behawioralnych pozwoli na bardziej zautomatyzowany proces analizy sygnału z termografów.

W przypadku badań w naturalnych warunkach trzeba pamiętać, że termografia ma przewagę nad tradycyjnymi metodami rejestracji zwłaszcza w przypadku obserwacji nocnych z uwagi na brak emisji światła lub podczerwieni w trakcie pracy (zob. Sikorska, w tym tomie). Jednak oznaczanie gatunku i płci osobnika, interpretacja zachowania na podstawie obrazów i filmów termograficznych są trudniejsze dla badacza, który musi przywyknąć do nietypowych kontrastów obserwowanych obiektów. Rozwój oprogramowania przetwarzającego dane termograficzne oraz automatyzacja pracy samych kamer (np. coraz lepszy proces autokalibracji urządzeń pomiarowych) może jednak sprawić, że już w tej dekadzie pirometry staną się standardowym wyposażeniem zarówno psychologów, jak i przyrodników zajmujących się badaniem zachowania.

Literatura cytowana

- Cardone, D., Pinti, P., Merla, A. (2015). Thermal infrared imaging-based computational psychophysiology for psychometrics. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, 2015(4), 984353. <https://doi.org/10.1155/2015/984353>
- Cho, Y. (2017). Automated mental stress recognition through mobile thermal imaging. *Proceedings of the 7th International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction (ACII)*, 596–600. <https://doi.org/10.1109/ACII.2017.8273662>
- Chudecka, M., Lubkowska, A. (2010). Temperature changes of selected body's surfaces of handball players in the course of training estimated by thermovision, and the study of the impact of physiological and morphological factors on the skin temperature. *Journal of Thermal Biology*, 35(8), 379–385. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2010.08.001>
- Codde, S. A., Allen, S. G., Houser, D. S., Crocker, D. E. (2016). Effects of environmental variables on surface temperature of breeding adult female northern elephant seals, *Mirounga angustirostris*, and pups. *Journal of Thermal Biology*, 61(C), 98–105. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2016.09.001>
- Cross, C. B., Skipper, J. A., Petkie, D. (2013). Thermal imaging to detect physiological indicators of stress in humans. *Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering*, 8705, 87050I. <https://doi.org/10.1117/12.2018107>

- Fei, J., Pavlidis, I., Murthy, J. (2009). Thermal vision for sleep apnea monitoring. *Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention: MICCAI ... International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention*, 12(Pt 2), 1084–1091. https://doi.org/10.1007/978-3-642-04271-3_131
- Franco, N. H., Gerós, A., Oliveira, L., Olsson, I. A. S., Aguiar, P. (2019). ThermoLabAnimal – A high-throughput analysis software for non-invasive thermal assessment of laboratory mice. *Physiology & Behavior*, 207, 113–121. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2019.05.004>
- Garbey, M., Sun, N., Merla, A., Pavlidis, I. (2007). Contact-free measurement of cardiac pulse based on the analysis of thermal imagery. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 54(8), 1418–1426. <https://doi.org/10.1109/TBME.2007.891930>
- Goodhew, J., Pahl, S., Auburn, T., Goodhew, S. (2015). Making heat visible: Promoting energy conservation behaviors through thermal imaging. *Environment and Behavior*, 47(10), 1059–1088. <https://doi.org/10.1177/0013916514546218>
- Goodenough, A. E., Carpenter, W. S., MacTavish, L., Theron, C., Delbridge, M., Hart, A. G. (2018). Identification of African antelope species: Using thermographic videos to test the efficacy of real-time thermography. *African Journal of Ecology*, 56(4), 898–907. <https://doi.org/10.1111/aje.12513>
- Hong, K., Hong, S. (2016). Real-time stress assessment using thermal imaging. *The Visual Computer*, 32(11), 1369–1377. <https://doi.org/10.1007/s00371-015-1164-1>
- Ioannou, S., Ebisch, S., Aureli, T., Bafunno, D., Ioannides, H. A., Cardone, D., ..., Merla, A. (2013). The autonomic signature of guilt in children: A thermal infrared imaging study. *PLoS ONE*, 8(11), e79440. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0079440>
- Ioannou, S., Gallese, V., Merla, A. (2014). Thermal infrared imaging in psychophysiology: Potentialities and limits. *Psychophysiology*, 51(10), 951–963. <https://doi.org/10.1111/psyp.12243>
- Klemm, W., Heusinkveld, B. G., Lenzholzer, S., van Hove, B. (2015). Street greenery and its physical and psychological impact on thermal comfort. *Landscape and Urban Planning*, 138, 87–98. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.02.009>
- Kuraoka, K., Nakamura, K. (2011). The use of nasal skin temperature measurements in studying emotion in macaque monkeys. *Physiology & Behavior*, 102(3–4), 347–355. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2010.11.029>
- Laine, C. M., Spitler, K. M., Mosher, C. P., Gothard, K. M. (2009). Behavioral triggers of skin conductance responses and their neural correlates in the primate amygdala. *Journal of Neurophysiology*, 101(4), 1749–1754. <https://doi.org/10.1152/jn.91110.2008>
- Mateas, M., Ianosi, E. (2013). Infrared method to assess the student's anticipative examination stress. *E-Health and Bioengineering Conference (EHB)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/EHB.2013.6707392>

- Michalski, L., Eckersdorf, K., Kucharski, J. (1998): *Termometria: Przyrządy i metody*. Łódź: Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej.
- Minkina, W. (2004). *Pomiary termowizyjne: Przyrządy i metody*. Częstochowa: Wydawnictwa Politechniki Częstochowskiej.
- Mitchell, W. F., Clarke, R. H. (2019). Using infrared thermography to detect night-roosting birds. *Journal of Field Ornithology*, 90(1), 39–51. <https://doi.org/10.1111/jofo.12285>
- Merla, A., Romani, G.-L. (2007). Thermal signatures of emotional arousal: A functional infrared imaging study. *Proceedings of the 29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 247–249. <https://doi.org/10.1109/IEMBS.2007.4352270>
- Murthy, R., Pavlidis, I. (2006). Noncontact measurement of breathing function. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, 25(3), 57–67. <https://doi.org/10.1109/MEMB.2006.1636352>
- Or, C. K. L., Duffy, V. G. (2007). Development of a facial skin temperature-based methodology for non-intrusive mental workload measurement. *Occupational Ergonomics* 7, 83–94.
- Pavlidis, I., Levine, J. (2002). Thermal image analysis for polygraph testing. Two-dimensional physiological measurements can serve as an additional scoring channel for increased accuracy. *IEEE Engineering in Medicine and Biology*, 21(6), 56–64. <https://doi.org/10.1109/MEMB.2002.1175139>
- Puri, C., Levine, J., Olson, L. (2005, kwiecień). *StressCam: Non-contact measurement of users' emotional states through thermal imaging*. Poster na Conference on Human Factors in Computing Systems, Portland, USA.
- Shastri, D., Merla, A., Tsiamyrtzis, P., Pavlidis, I. (2009). Imaging facial signs of neurophysiological responses. *IEEE Transactions on Bio-Medical Engineering*, 56(2), 477–484. <https://doi.org/10.1109/TBME.2008.2003265>
- Viejo, C. G., Fuentes, S., Howell, K., Torrico, D. D., Dunshea, F. R. (2019). Integration of non-invasive biometrics with sensory analysis techniques to assess acceptability of beer by consumers. *Physiology & Behavior*, 200, 139–147. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2018.02.051>

CZĘŚĆ II. NOWE METODY

MONIKA LEWANDOWSKA¹, RAFAŁ MILNER²,
NATALIA PAWLACZYK^{1,3}, EWA RATAJCZAK¹

¹ Instytut Psychologii, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, Toruń

² Światowe Centrum Słuchu, Instytut Fizjologii i Patologii Słuchu, Warszawa/
Kajetany

³ Wydział Psychologii, Uniwersytet Warszawski, Warszawa

Zastosowanie analizy ilościowej sygnału EEG (qEEG) we współczesnej psychologii i psychiatrii

Sposób cytowania: Lewandowska, M., Milner, R., Pawlaczyk, N., Ratajczak, E. (2020). Zastosowanie analizy ilościowej sygnału EEG (qEEG) we współczesnej psychologii i psychiatrii. W: M. Trojan, M. Gut (red.), *Nowe technologie i metody w psychologii* (s. 235–259). Warszawa: Liberi Libri. <https://doi.org/10.47943/lib.9788363487430.rozdzial11>

Analiza ilościowa EEG (*quantitative EEG*, qEEG) polega na wykorzystaniu przekształcenia Fouriera czy analizy falkowej do dekompozycji sygnału EEG na poszczególne częstotliwości lub ich zakresy o odmiennym znaczeniu funkcjonalnym (np. Alfa, Beta) oraz wyznaczenia rozkładu amplitud napięcia/mocy dla tych częstotliwości na powierzchni głowy (analiza widmowa, spektralna). Współcześnie często oblicza się również korelacje poszczególnych parametrów pasm uzyskanych na sygnale z różnych elektrod (koherencja), a także lokalizuje się źródło sygnału EEG, czyli strukturę lub całe sieci struktur mózgu, z których pochodzą wybrane zakresy częstotliwości. Analiza ilościowa EEG pozwala określić specyficzne wzorce/markery aktywności bioelektrycznej mózgu, które, jak udowodniły liczne badania (por. Thatcher, 2010), są w dużym stopniu powtarzalne i stabilne w czasie. Mogą one zatem stanowić obiektywne wskaźniki przydatne w diagnostyce różnych zaburzeń neurorozwojowych czy chorób psychiatrycznych, oraz ocenie skuteczności terapii. Ponadto wzorce qEEG odzwierciedlają stany mentalne, procesy poznawcze i emocjonalne badanych osób, pozwalając lepiej zrozumieć, jak funkcjonuje mózg w normie i w patologii.

Metoda ilościowej analizy EEG a stan mentalny

Ilościowa analiza EEG może być użyta do różnicowania stanów umysłu. Wiadomo, że wynik analizy widmowej sygnału EEG różni się w zależności od tego, czy badany jest zrelaksowany, czujny czy zestresowany (Kaiser, 2007). Podczas relaksu mózg generuje wysokoamplitudowe fale Alfa o częstotliwości ok. 10 Hz, natomiast gdy jesteśmy czujni lub zestresowani fale Alfa zostają zastąpione przez czynność Beta o znacznie mniejszej amplitudzie i wyższej (> 15 Hz) częstotliwości (np. Niedermeyer, Silva, 2005). Na podstawie map dystrybucji mocy poszczególnych fal mózgowych na powierzchni głowy można było stwierdzić, że przewaga fal Alfa w stanie relaksu jest z reguły najbardziej zaznaczona w tylnych okolicach mózgu, pasma fal Beta będą natomiast dominować głównie w regionach przednich (Kropotov, 2016). Odmienne wzorce aktywacji mózgu można obserwować także podczas wykonywania różnego typu zadań poznawczych: inne obszary będą aktywne np. wtedy, gdy słuchamy uważnie jakiegoś tekstu, a inne gdy rozwiązujemy zadanie matematyczne (Kropotov, 2016). Dlatego też qEEG może być użytecznym narzędziem do oceny różnych stanów funkcjonowania mózgu (Kaiser, 2007).

Metoda ilościowej analizy EEG a funkcjonowanie poznawcze

Metoda qEEG znajduje również zastosowanie w badaniach mózgowych korelatów zdolności intelektualnych. Pomysł wykorzystania tej techniki bazuje na wynikach badań, które wykazały dodatnią korelację pomiędzy mocą niektórych pasm rejestrowanych powierzchniowo częstotliwości oraz aktywnością wewnątrzmoźgowych generatorów fal a ilorazem inteligencji (IQ). Okazuje się, że osoby z wyższym IQ charakteryzują się większą mocą oraz silniejszą aktywnością źródeł fal Alfa i Beta (Jausovec, Jausovec, 2003) niż osoby z niższym IQ, u których, z kolei, wyższa jest moc i aktywność generatorów fal Delta i Theta (Marosi i in., 1999).

Inne badania pokazują związek koherencji i fazy różnych fal mózgowych z ilorazem inteligencji. Koherencja jest miarą stopnia podobieństwa sygnałów EEG, rejestrowanych z różnych rejonów na powierzchni głowy, w zakresie częstotliwości (Jenkins, Watts, 1968). Owe podobieństwo lub jego brak świadczy o efektywności działania tzw. konektomów w mózgu, przez które sygnały te są generowane. Konektom to mapa sieci połączeń neuronalnych między strukturami mózgu pełniącymi określoną funkcję (Sporns, Tononi, Kötter, 2005). Przykładowo, niektóre konektomy uaktywniają się, gdy skupiamy uwagę na danym zadaniu, a inne, gdy pozornie nic nie robimy – marzymy na jawie, rozmyślamy o przyszłości czy prowadzimy dialog wewnętrzny. Wykazano, że globalnie niska koherencja różnych fal mózgowych jest dodatnio skorelowana z IQ i może być jej dobrym predyktorem (Gasser, Rousson, Schreiter Gasser, 2003; Thatcher, North, Biver, 2005). Im bardziej złożony jest system, tym więcej efektywnych funkcjonalnie i odrębnych, także w sensie przestrzennym, konektomów jest on w stanie stworzyć.

Wybrane parametry qEEG mogą być także dobrym predyktorem poziomu innych funkcji poznawczych (Posthuma, Neale, Boomsma, de Geus, 2001; Prat, Yamasaki, Kluender, Stocco, 2016; Schmid, Tirsch, Scherb, 2002). Są nimi np. amplituda/moc łącznie wszystkich fal mózgowych. Udowodniono, że osoby, u których jest ona ogólnie wyższa, wykonują zadania poznawcze znacznie lepiej niż osoby, które nie charakteryzują się takim wzorcem (Martín-Loeches, Muñoz-Ruata, Martínez-Lebrusant, Gómez-Jarabo, 2001). Wiadomo także, że niższy poziom wykonania zadań poznawczych współwystępuje z wyższą mocą fal o niskich częstotliwościach (Gasser i in., 2003).

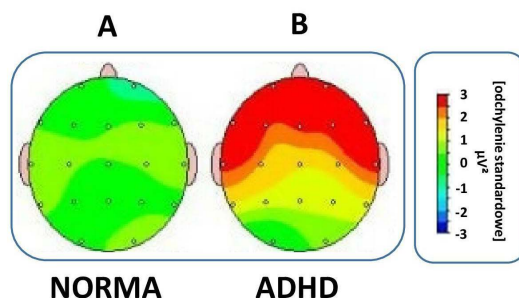
Jeszcze innym predyktorem zdolności intelektualnych jest tzw. kąt fazowy. To wielkość, która informuje o opóźnieniu między zmianami sygnałów

rejestrowanych w jednym rejonie względem innego lub generowanych przez różne źródła EEG. Parametr ten zależy od dystansu pomiędzy elektrodami leżącymi nad dwoma różnymi regionami lub źródłami i jest niezależny od amplitudy sygnałów. Najmniejszy kąt fazowy może wynosić zero, co oznacza, że sygnały są ze sobą mocno zsynchronizowane. Badania wykazały, że im wyższy IQ, tym kąt fazowy między sygnałami z płatów czołowych jest bliższy zeru (Klimesch, Doppelmayr, Röhmer, Pöhlhuber, Stadler, 2000; Klimesch i in., 2004; Thatcher i in., 2005).

Metoda ilościowej analizy EEG w zaburzeniach neurorozwojowych

Ilościowa analiza EEG jest również wykorzystywana w diagnostyce i planowaniu terapii dysfunkcji Ośrodkowego Układu Nerwowego (OUN). Uważa się, że czułość i specyficzność rozpoznania opartego na qEEG może być porównywalna lub nawet większa niż wykorzystywanych powszechnie w badaniach klinicznych testów, takich jak mammografia, badania krwi, rezonans magnetyczny czy tomografia komputerowa (por. Hughes, John, 1999). Dotyczy to m.in. oceny uwagi oraz zdolności uczenia się dzieci i dorosłych.

Na podstawie przeglądu wyników badań (Nuwer, Buchhalter, Shepard, 2016) można stwierdzić, że współczynnik spektralny Theta/Beta w sygnałach EEG, zarejestrowanych przy otwartych oczach, ze znajdującego się centralnie na powierzchni głowy punktu Cz, jest istotnie zawyżony u osób cierpiących na zespół nadpobudliwości psychoruchowej (*attention deficit hyperactivity disorder*, ADHD). Oznacza to, że w tej grupie moc fal Delta i Theta jest zwiększona, a moc Bety zredukowana. Ponadto wykazano, że test oparty o ten współczynnik jest na tyle czuły (86–90%) oraz specyficzny (94–98%), że można traktować go jako obiektywną metodę wykrywania ADHD (Bresnahan, Barry, 2002). Uważa się, że podwyższona wartość współczynnika Theta/Beta wynika z niewystarczającego wzbudzenia kory mózgowej (*underarousal*) osób z ADHD (Clarke, Barry, McCarthy, Selikowitz, 2011) lub niedojrzałości OUN w ADHD, zwłaszcza okolic czołowych (zob. rysunek 1; Kropotov, 2016).



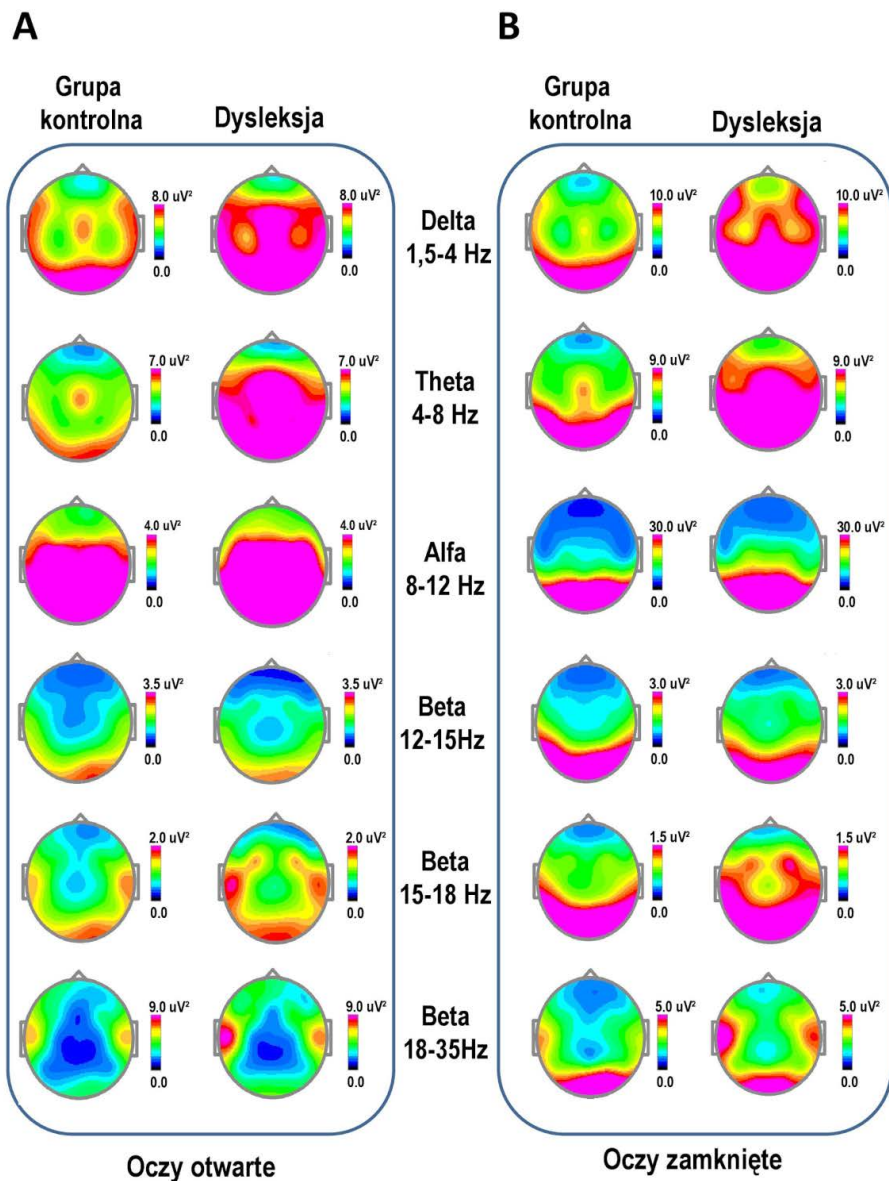
Rysunek 1. Przykłady dystrybucji przestrzennej współczynnika spektralnego Theta/Beta obserwowane u dziecka typowo rozwijającego się (A) oraz dziecka z zespołem nadpobudliwości psychoruchowej (ADHD) (B). Mapy uzyskano, porównując wynik analiz ilościowych EEG dzieci z ADHD z bazą normatywną Neuroguide firmy Applied Neuroscience. Obserwowany wzorec wskazuje na wyraźnie zwiększoną ekspresję fal Theta i/lub zmniejszoną ekspresję fal Beta w przednich obszarach mózgu dziecka z ADHD w porównaniu z normą. Źródło: opracowanie własne.

Na podstawie wyników qEEG próbuje się w jeszcze inny sposób opisać specyficzne wzorce aktywności mózgu u osób z różnymi deficytami uwagi. Wzorec qEEG ze zwiększoną mocą fal wolnych (przede wszystkim Theta) i obniżoną ekspresją fal Beta to jeden z tzw. endofenotypów qEEG, wykryty u osób z ADHD. Niektórzy autorzy opisują 3 (Chabot, Serfontein, 1996), a czasem nawet 11 (Müller, Candrian, Kropotov, 2011) odmiennych podtypów qEEG w tym zaburzeniu. Niektóre z nich charakteryzują się np. zwiększoną mocą fal Alfa rejestrowanych na elektrodach czołowych lub biegnących wzdłuż linii centralnej głowy (Demos, 2005). U osób z ADHD spotyka się także zwiększoną moc fal Beta (tzw. wrzecionowata Beta) w prawej okolicy czołowej (Kropotov, 2016) lub w okolicach ciemieniowo-potylicznych (Demos, 2005). Jak podają Clarke i in. (2001), podgrupa osób z ADHD, charakteryzująca się nasiloną ekspresją fal Beta, odznacza się częstymi zmianami nastroju lub niekontrolowanymi napadami agresji, a odmienny wzorec rozkładu powierzchniowego fal mózgowych u tych osób sugeruje, że jest to odrębny podtyp ADHD (Arns, Olbrich, 2014).

Specyficzne wzorce w parametrach qEEG odnotowuje się także u dzieci z zaburzeniami językowymi, np. tych, u których zdiagnozowano dysleksję, czyli specyficzne zaburzenia czytania. W tym przypadku nieprawidłowości dotyczą zarówno samej ekspresji poszczególnych fal mózgowych, jak i zaburzonej komunikacji pomiędzy poszczególnymi obszarami mózgu, co wyraża się zmie-

nioną koherencją różnych pasm częstotliwości. U dzieci z dysleksją stwierdza się zwiększoną ekspresję fal Delta i Theta (zob. rysunek 2; Lewandowska i in., 2013), zwłaszcza w okolicach czołowych i w prawej korze skroniowej (Arns, Peters, Breteler, Verhoeven, 2007). Obserwuje się także nasiloną ekspresję fal Beta w lewej okolicy czołowo-skroniowej (Arns i in., 2007) lub obu skroniach (Beta 18–35 Hz) (Lewandowska i in., 2013). Charakterystyczny jest także symetryczny wzrost koherencji fal Delta i Theta oraz wzrost koherencji w prawej półkuli pomiędzy rejonem centralnym a skroniowym dla fal Alfa i Beta (Arns i in., 2007). Obserwowane nieprawidłowości w zakresie aktywności bioelektrycznej różnych regionów mózgu oraz nieefektywna komunikacja między obszarami wiążą się z występującymi w dysleksji symptomami, takimi jak: zaburzona analiza i synteza wzrokowa, orientacja przestrzenna czy dysfunkcja pracy analizatora słuchowego.

Specyficzne wzorce qEEG obserwuje się także u dzieci z zaburzeniami ze spektrum autyzmu (*autism spectrum disorders*, ASD), a ściślej w sygnale EEG zarejestrowanym przy oczach zarówno otwartych i zamkniętych, jak również podczas wykonywania różnych zadań poznawczych (przegląd badań w: Billeci i in., 2013). U osób z ASD, zwłaszcza dzieci i nastolatków, obserwuje się zwiększoną moc pasma Delta lub Theta i obniżoną ekspresję fal Alfa (Chan, Sze, Cheung, 2007; Coben, Clarke, Hudspeth, Barry, 2008; Pop-Jordanova, Zorcec, Demerdzieva, Gucev, 2010). U prawidłowo rozwijających się dzieci wraz z wiekiem ilość fal o niskich częstotliwościach zmniejsza się, natomiast wzrasta ilość fal wysokoczęstotliwościowych, przede wszystkim fal Beta (Gasser, Verleger, Bächer, Sroka, 1988). Zwiększająca się ekspresja fal szybkich jest m.in. skutkiem efektywniejszej kontroli czuciowej nad utrzymaniem stabilnej postawy, kiedy to odpowiednie skurcze mięśni muszą zostać ograniczone lub świadomie zahamowane (Lalo i in., 2007; Zhang, Chen, Bressler, Ding, 2008). U dzieci z ASD obserwujemy nadmierną ekspresję fal Beta, zwłaszcza w sygnałach rejestrowanych w stanie relaksacji przy zamkniętych oczach (Murias, Webb, Greenson, Dawson, 2007). Biorąc pod uwagę funkcjonalne znaczenie fal Beta, efekt ten świadczyć może o trudnościach dzieci z ASD w zakresie integracji czuciowo-ruchowej (Billeci i in., 2013).



Rysunek 2. Mapy dystrybucji przestrzennej mocy bezwzględnej różnych pasm częstotliwości w sygnałach EEG zarejestrowanych w warunkach oczu otwartych (A) oraz oczu zamkniętych (B) u dzieci z dysleksją i dzieci zdrowych z grupy kontrolnej (Lewandowska i in., 2013).

Innym opisywanym u dzieci z ASD wskaźnikiem jest mniejsza asymetria międzypółkulowa w zakresie większości analizowanych pasm częstotliwości (Cantor, Thatcher, Hrybyk, Kaye, 1986) lub większa lewostronna lateralizacja fal (Stroganova i in., 2007). Asymetria dotyczy zwłaszcza tzw. rytmu μ^1 – czynności bioelektrycznej związanej z aktywnością neuronów lustrzanych odpowiedzialnych za zdolność do rozpoznawania cudzych emocji i intencji wyrażanych niewerbalnie (Ramachandran, Oberman, 2006). Ekspresja rytmu μ u dzieci z ASD jest symetryczna, natomiast u osób zdrowych jest asymetryczna (Billeci i in., 2013). Lateralizacja tego rytmu może zatem wskazywać na dysfunkcję systemu neuronów lustrzanych (Dinstein i in., 2010).

Wyniki badań z wykorzystaniem qEEG w ASD pokazują także nieprawidłowości w zakresie koherencji różnych fal mózgowych. U typowo rozwijających się dzieci zależność między sygnałami EEG, rejestrowanymi z poszczególnych elektrod, wzrasta wraz z wiekiem (Gasser, Jennen-Steinmetz, Sroka, Verleger, Möcks, 1988). Dzieci z ASD we wczesnym okresie dojrzewania charakteryzują się natomiast często albo zwiększoną (Cantor i in., 1986), albo zredukowaną koherencją (Mathewson i in., 2012), a parametr ten osiąga u nich wartość porównywalną do osób zdrowych dopiero w dorosłości. Może to wskazywać na opóźnione dojrzewanie OUN w tej grupie (Mathewson i in., 2012). Uważa się (Duffy, Als, 2012), że u dzieci z ASD w wieku 2–12 lat zmniejszona w porównaniu do ich typowo rozwijających się rówieśników koherencja w lewym obszarze skroniowym oraz w okolicy czołowej (tzw. lokalne połączenia) może wyjaśnić występujące w tym zaburzeniu trudności komunikacyjne. Ponadto w tej grupie dzieci z ASD stwierdzono zwiększoną koherencję w zakresie połączeń globalnych w mózgu, co może stanowić przejaw kompensacji istniejących deficytów: mózg autystyczny wykształcił odrębne sieci neuronalne wyspecjalizowane w pełnieniu funkcji typowo realizowanych przez połączenia lokalne, które w ASD działają nieprawidłowo.

W literaturze można znaleźć co najmniej kilka opracowań, w których korelowano różne fenotypy osób z ASD z wynikami qEEG i wyodrębniono

1 Rytm μ – rytm w sygnale EEG zwany także rytmem „mi” o częstotliwości około 10 Hz w zakresie pasma Alfa, lecz o odmiennej niż fale Alfa morfologii – górne grzbiety fal μ są zaostrome i przypominają grecką literę μ (stąd nazwa), a nie zaokrąglone jak w falach Alfa. Rytm μ jest najlepiej wyrażony nad okolicami centralnymi. Może być jedno- lub obustronny. Jego cechą charakterystyczną jest to, iż reaguje (istotnie obniża się jego amplituda) pod wpływem ruchów przeciwległej górnej kończyny (np. składania dłoni w pięść), a nawet pod wpływem myślenia o wykonaniu tego ruchu (Gastaut, Dongier, Courtois, 1954).

na tej podstawie podtypy charakteryzujące się podobnym wzorcem aktywności bioelektrycznej (Dawson, Klinger, Panagiotides, Lewy, Castelloe, 1995; Sutton i in., 2005). Przykładowo Sutton i in. (2005) wyodrębnili dwie grupy dzieci z ASD różniące się od siebie głębokością zaburzeń w funkcjonowaniu społecznym oraz poziomem lęku. Okazało się, że grupy te mają odmienną ekspresję fal Alfa w okolicach czołowych. Dzieci, u których stwierdzono zwiększoną moc rytmu Alfa w prawym płacie czołowym miały większe trudności w kontaktach społecznych, ale lepsze umiejętności analityczne. Z kolei dzieci z ASD ze zwiększoną ekspresją fal Alfa w lewej okolicy czołowej miały mniej nasilone objawy niedostosowania socjalnego, lecz wyższy poziom lęku społecznego i mniejszą satysfakcję z interakcji interpersonalnych.

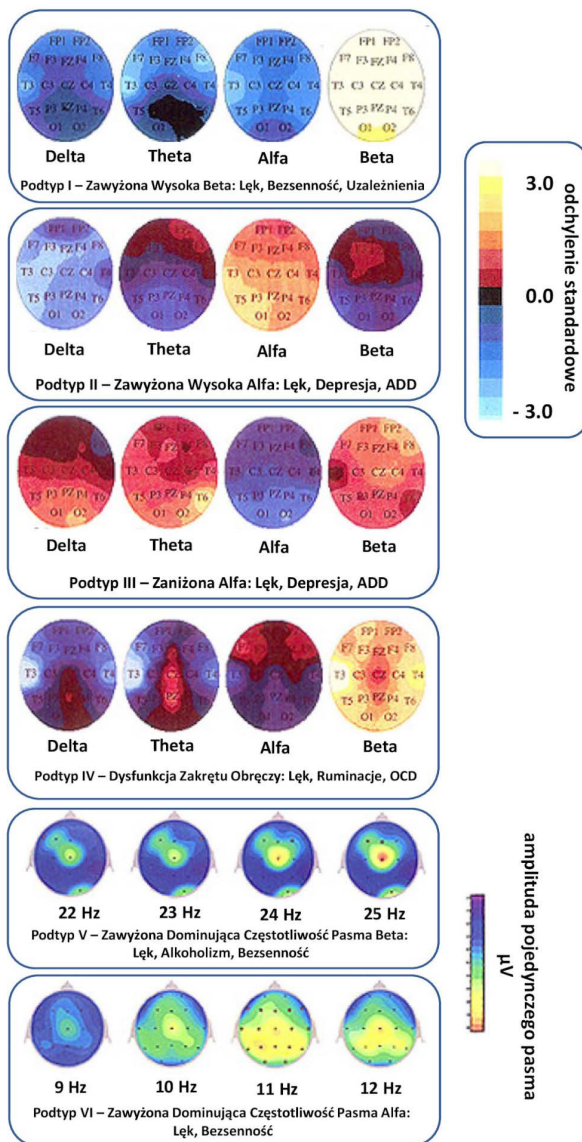
Metoda ilościowej analizy EEG w chorobach psychicznych

Metoda qEEG może znaleźć zastosowanie także w psychiatrii. Tradycyjne jakościowe badania EEG osób z depresją wskazują, że u 20–40% pacjentów stwierdza się nieprawidłowości w sygnale EEG (Kanda, Anghinah, Smidth, Silva, 2009). Pomimo iż obserwowane nieprawidłowości są stosunkowo niespecyficzne, pozwalają one, bez szczegółowej diagnozy psychiatrycznej, różnicować podgrupy depresji, co czyni EEG użyteczną metodą w rozpoznaniu klinicznej depresji (Coutin-Churchman i in., 2003).

Badania pokazują, że znacznie więcej charakterystycznych wzorców specyficznych dla zaburzeń nastroju dostarczyć może qEEG (Holschneider, Leuchter, 1999). Markerami tymi mogą być: asymetria w ekspresji fal Alfa w okolicach czołowych (Hunter, Cook, Leuchter, 2007), zmiany w zakresie fal wolnych w czołowo-skroniowych rejonach mózgu (Morgan i in., 2005) czy obniżona koherencja dla pasm Delta i/lub Theta między homologicznymi obszarami obu półkul (Koek i in., 1999). Jest to także zwiększona bezwzględna moc fal Delta i Theta w prawej półkuli (Lieber, 1988), wyższa względna amplituda fal Theta w tylnych rejonach mózgu (Kwon, Youn, Jung, 1996), czy zmiany w ekspresji fal Beta (Pozzi i in., 1993). Wymienione efekty, obserwowane u osób z depresją, były powtarzalne, a czułość i specyficzność metody określono w ich przypadku odpowiednio na 72–93% i 75–88%. W związku z tym Amerykańskie Towarzystwo Psychiatryczne zaleca, aby stosować qEEG jako dodatkowe narzędzie diagnostyczne m.in. do różnicowania postaci depresji (American Neuropsychiatric Association, 2006).

Innymi przykładami zaburzeń psychiatrycznych, w których stwierdza się specyficzne wzorce aktywności bioelektrycznej mózgu, są zaburzenia lękowe i obsesyjno-kompulsywne (Kanda i in., 2009). Gurnee (2003), prowadząc badania z udziałem 100 osób z zaburzeniami lękowymi, zidentyfikował aż sześć odmiennych wzorców powierzchniowej aktywności bioelektrycznej w tych zaburzeniach (rysunek 3). Wzorce te określono w stanie spoczynkowym przy zamkniętych i przy otwartych oczach. Najczęściej wyróżnia się dwa podtypy qEEG u osób z zaburzeniami lękowymi (Price, Budzynski, 2009). Pierwszy z nich charakteryzuje się wyższą niż u osób zdrowych tzw. częstotliwością dominującą² (*dominant frequency*) w paśmie Alfa, która u osób zdrowych oscyluje z reguły w okolicach wartości 10 Hz, podczas gdy u osób lękowych ulega podwyższeniu i wynosi ok. 11 Hz. Drugi podtyp qEEG charakteryzuje się natomiast nasiloną centralnie w okolicy czołowej – nad elektrodą Fz – czynnością Beta. Elektroda ta znajduje się nad przednią częścią zakrętu obręczy – strukturą związaną z analizą emocjonalną i nadaktywną w zaburzeniach obsesyjno-kompulsywnych (Price, Budzynski, 2009). Ponadto u osób z zaburzeniami lękowymi stwierdza się także inną lokalizację generatora fal Alfa niż u osób zdrowych (Price, Budzynski, 2009).

2 Częstotliwość dominująca – częstotliwość posiadająca największą moc w sygnale EEG (Klimesch, 1999).



Rysunek 3. Topograficzne mapy przedstawiające sześć odmiennych wzorców powierzchniowej aktywności bioelektrycznej mózgu u osób z zaburzeniami lękowymi. Źródło: ADD Clinic Website, <https://add-clinic.com/qeeg-brain-mapping>; za pozwoleniem Roberta L. Gurnee, MSW, LCSW, DCSW BCN: BCIA: QEEG Board Certified Diplomate and Fellow. Opracowanie własne.

Metoda ilościowej analizy EEG w chorobach neurodegeneracyjnych

W chorobach neurodegeneracyjnych przebiegających z zespołami otępiennymi, takich jak choroba Alzheimera (*Alzheimer's disease*, AD), choroba Parkinsona (*Parkinson's disease*, PD), a także w demencji czołowo-skroniowej (*fronto-temporal dementia*, FTD) czy otępieniu z ciałami Lewy'ego (*dementia with Lewy bodies*, DLB) stwierdza się zwiększoną, w porównaniu do osób zdrowych, ekspresję fal wolnych (Delta i Theta), a zmniejszoną – pasm Alfa i Beta (Caso i in., 2012; Caviness i in., 2016; Chaturvedi i in., 2017; Ianof i in., 2017; Kim i in., 2012; Stylianou i in., 2018). Powyższe zmiany wiążą się z zaburzeniami uwagi, np. tendencją do łatwego rozpraszania się i wyłączania z obserwacji otoczenia zewnętrznego (Thompson, 2012). Ponadto w zespołach otępiennych stwierdza się obniżoną koherencję rytmu Alfa i Theta w różnych obszarach mózgu (głównie w okolicach czołowych i ciemieniowych), co może świadczyć o mniejszej efektywności przetwarzania informacji przez te lokalne sieci neuronalne (Teramoto i in., 2016; Wang i in., 2014).

Analizę qEEG coraz częściej stosuje się również do oceny wczesnych stadiów demencji (Gu, Chen, Lu, Pan, 2016; Musaeus i in., 2019) oraz progresji zmian neurodegeneracyjnych (Musaeus i in., 2018). Wykazano, że wzrost mocy względnej w paśmie Theta stanowi jeden z markerów rozwijającego się zespołu otępiennego o typie alzheimerowskim (Musaeus i in., 2018). Ponadto zaobserwowano, że obniżona koherencja w paśmie Alfa może być jednym z najwcześniejszych objawów AD, istotnie powiązanym z zaburzeniami pamięci (Musaeus i in., 2019).

Doskonałym diagnostycznym markerem postępującej neurodegeneracji jest częstotliwość dominująca w sygnale EEG. Częstotliwość ta zmienia się wraz z wiekiem. Z reguły u zdrowych dorosłych przyjmuje ona wartość z zakresu pasma Alfa 9–11 Hz, średnio wynosi jednak około 10 Hz (Majkowski, 1989). Badania qEEG u osób we wczesnej fazie AD pokazują wyraźnie, że częstotliwość ta ulega istotnemu obniżeniu i lokuje się nawet w przedziale 6–8 Hz (Saletu, Paulus, Anderer, Grünberger, Frey, 1993). Bonanni i in. (2015) sprawdzali, czy nieprawidłowy wzorzec qEEG, obserwowany u osób z łagodnymi zaburzeniami poznawczymi (stadium przejściowe między prawidłowym procesem starzenia się a zespołem otępiennym), charakteryzujący się częstotliwością dominującą < 8 Hz oraz jej zmiennością < 1,5 Hz, może być predyktorem konwersji do otępienia z ciałami Lewy'ego. Powyższy wzorzec aktywności bioelektrycznej mózgu jest często obserwowany we wczesnym stadium DLB (Bonanni i in.,

2008). W badaniach Bonanni i in. (2015) ponad połowa osób z łagodnymi zaburzeniami poznawczymi miała nieprawidłowy wzorec qEEG. W całej tej grupie w okresie trzech kolejnych lat rozwinęła się DLB. Z kolei wśród badanych ($n = 14$), u których w tym czasie wystąpiły objawy sugerujące AD, tylko u jednej osoby obserwowano powyższy, atypowy wzorec aktywności mózgu. Analiza qEEG może być zatem przydatna do przewidywania czy łagodne zaburzenia poznawcze przekształcą się w DLB.

Obecnie coraz częściej poszukuje się powiązań między wynikami analizy qEEG w chorobach neurodegeneracyjnych a objawami tych schorzeń (np. Eichelberger i in., 2017; Kim i in., 2012; Musaeus i in., 2019), czy też innymi zmianami w OUN, np. biomarkerami AD takimi jak: zawartość płytek β -amyloidu i białka tau w płynie mózgowo-rdzeniowym (Smailovic i in., 2018). U pacjentów z AD stwierdzono, między innymi, ujemne korelacje mocy w paśmie Theta z wynikami testu mierzącego ogólne funkcjonowanie poznawcze oraz dodatnie korelacje mocy fal Beta z poziomem wykonania zadań wymagających zapamiętywania słów lub angażujących funkcje wzrokowo-przestrzenne (Kim i in., 2012).

Technika qEEG może być również przydatna w diagnostyce różnicowej zespołów otępiennych (Benz i in., 2014; Caso i in., 2012; Garn, Coronel, Waser, Caravias, Ransmayr, 2017; Goossens i in., 2017; Snaedal i in., 2012). Różnicowanie otępienia w AD i demencji czołowo-skroniowej (*fronto-temporal dementia*, FTD) okazało się możliwe na podstawie częstotliwości dominującej w sygnale EEG: w pierwszym przypadku wynosiła ona średnio ok. 7 Hz, w drugim – ok. 9 Hz (Goossens i in., 2017). Benz i in. (2014) wykazali, że pacjenci z AD mieli wyższą medianę częstotliwości (ok. 9 Hz), obliczoną w zakresie od 4 do 14 Hz z sygnałów z elektrod potylicznych, w porównaniu do osób z chorobą Parkinsona (ok. 8 Hz). Stosunkowo niedawno opublikowane wyniki badań pokazują, że jest możliwe odróżnienie pacjentów z idiopatyczną postacią choroby Parkinsona (bez rozpoznanej etiologii) od atypowej PD (Barcelon i in., 2019). Choroba Parkinsona jest częścią szerszego spektrum schorzeń, które mieszczą się pod wspólnym „parasolem”, określanym mianem parkinsonizmu. Diagnostyka różnicowa tych chorób wciąż jest wyzwaniem dla klinicystów. Barcelon i in. (2019) opracowali własny parametr aktywności bioelektrycznej, który bazował na jakościowym opisie sygnału EEG (ocenie m.in. symetrii poszczególnych fal mózgowych, ich przestrzennej dystrybucji na powierzchni głowy, występowaniu ognisk padaczkowych). Wartości tego wskaźnika porównywano między poszczególnymi grupami pacjentów z parkinsonizmem. Okazało się,

że powyższy parametr był istotnie niższy u osób z idiopatyczną PD w porównaniu do atypowej postaci tej choroby, co wskazuje na mniej nieprawidłowości w spoczynkowym zapisie EEG w pierwszej z wymienionych wcześniej grup.

Aktualnie w badaniach stosuje się różne matematyczne metody klasyfikacji (np. metodę wektorów nośnych, *supporting vector machines*, SVM) parametrów, wyodrębnionych w analizie qEEG, w celu możliwie jak najbardziej dokładnego określenia wzorców aktywności mózgu specyficznych dla poszczególnych chorób neurodegeneracyjnych. Przykładowo najbardziej znaczącym parametrem, w oparciu o który można dokładnie odróżnić pacjentów z chorobą Parkinsona od osób zdrowych, okazała się moc w paśmie Theta w lewym obszarze skroniowym, a także współczynnik Alfa/Theta w centralnym regionie mózgu (Chaturvedi i in., 2017). Metody klasyfikacji parametrów qEEG stosuje się również w celu różnicowania poszczególnych rodzajów chorób neurodegeneracyjnych (Garn i in., 2017; Snaedal i in., 2012). Snaedal i in. (2012) uzyskali wysoką dokładność metody SVM w odróżnianiu DLB od otępienia alzheimerskiego (97%), a także FTD od DLB (96%). W tym badaniu do klasyfikacji wykorzystano moc sygnału w paśmie Delta, Theta, Alfa, Beta i Gamma oraz miary koherencji między- i wewnątrzpółkulowej, a także lokalnej, w przednim i tylnym obszarze mózgu. Garn i in. (2017) zastosowali SVM do różnicowania AD, DLB, PD i FTD, uzyskując bardzo wysoką dokładność, czułość i specyficzność tej metody, bazując na mocy sygnału w paśmie Theta i Beta oraz na parametrze przyczynowości w sensie Grangera (*Granger causality*), który określa, czy na podstawie zmian w sygnale EEG, rejestrowanym z danej elektrody, można przewidzieć zmienność sygnału EEG na innej elektrodzie (Granger, 1969). Chociaż metody klasyfikacji na podstawie parametrów qEEG okazały się przydatne w różnicowaniu poszczególnych grup pacjentów z chorobami neurodegeneracyjnymi, ich zastosowanie w praktyce klinicznej pozostaje ograniczone: nadal nie jest możliwe, w oparciu o wyniki tych analiz, jednoznaczne przypisanie danemu pacjentowi określonej jednostki chorobowej.

Zastosowanie metody qEEG do planowania terapii zaburzeń OUN i oceny ich skuteczności

Analiza qEEG jest także używana do planowania i oceny skuteczności terapii różnych dysfunkcji OUN. Zmiany w parametrach qEEG obserwowano po leczeniu farmakologicznym (Arns, Olbrich, 2014; Swatzyna, Kozłowski,

Tarnow, 2015), czy też oddziaływaniach mniej specyficznych, takich jak: medytacja (np. Kakumanu i in., 2019), neurofeedback (np. Mottaz i in., 2015), czy przeczaszkowa stymulacja magnetyczna (*transcranial magnetic stimulation*, TMS; np. Cook, Wilson, Corlier, Leuchter, 2019).

Metoda, której podstawowym celem jest powiązanie cech zapisu EEG z odpowiedzią na przyjmowane leki, tzw. farmakologiczne EEG (*pharmacology-EEG*) (Jobert, Wilson, 2015) zakłada, że poznanie specyficznego wzorca qEEG w zaburzeniach takich jak epilepsja czy depresja, pozwoli określić, jakie leki należy podać, aby zastosowana farmakoterapia okazała się w pełni skuteczna (Saletu, Anderer, i Saletu-Zyhlarz, 2006). Zasadność założeń *pharmacology-EEG* potwierdzają badania. Wiadomo na przykład, że pacjenci z depresją, charakteryzujący się przed rozpoczęciem farmakoterapii w qEEG zwiększoną ekspresją fal Theta, uzyskują znacznie lepsze efekty leczenia psychostymulantami niż pacjenci, u których w sygnale EEG obserwuje się inne wzorce aktywności bioelektrycznej, np. zwiększoną ekspresją fal Alfa w okolicach ciemieniowych (Arns, Olbrich, 2014). Nasiloną ekspresja fal Theta w okolicach czołowych w pierwszej z wyżej wymienionych grup osób z depresją związana jest najprawdopodobniej z obniżoną regulacją tzw. wzbudzenia (*vigilance*) (Olbrich, Arns, 2013). Silniejsza moc Alfą w ciemieniu może z kolei wynikać ze zwiększonej lub hiperstabilnej regulacji wzbudzenia (Arns, Olbrich, 2014). Korzystny efekt leczenia psychostymulantami obserwuje się więc z reguły w pierwszej grupie pacjentów z depresją (Hegerl, Himmerich, Engmann, Hensch, 2010; Schoenkecht, Olbrich, Sander, Spindler, Hegerl, 2010). U osób charakteryzujących się przed leczeniem zwiększoną ciemieniową ekspresją Alfą znacznie lepsze efekty przynosi stosowanie leków antydepresyjnych (Tenke i in., 2011).

Po terapii można zaobserwować różnice nie tylko w pojedynczych parametrach qEEG (np. mocy w określonym paśmie), ale również we wzorcach koherencji sygnałów z poszczególnych elektrod (np. Mottaz i in., 2015), czy też lokalizacji generatorów czynności EEG, np. jej poszczególnych pasm (Bluschke, Friedrich, Schreiter, Roessner, Beste, 2018; Cook i in., 2019; Kaur, Singh, Sahni, Punia, 2019). Szczególnie istotne wydaje się określenie czy obserwowane po terapii różnice w gęstości źródła prądu lub wzorcach koherencji są związane ze złagodzeniem objawów choroby. Przykładowo w badaniach Cooka i in. (2019) po 6-tygodniowej codziennej stymulacji metodą TMS poprawie stanu pacjentów z depresją towarzyszyła zmiana w gęstości źródła sygnału EEG w zakresie częstotliwości Alfa, w przednich i centralnych rejonach mózgu (Cook i in., 2019). Ponadto porównuje się ze sobą zmiany w aktywności mózgu,

które pojawiają się po zastosowaniu różnych terapii tego samego zaburzenia. Dysponując wiedzą na ten temat, łatwiej jest dobrać możliwie jak najbardziej skuteczną formę oddziaływania do indywidualnych potrzeb pacjenta. Bluschke i in. (2018) oceniali wpływ leczenia metylofenidatem i treningu neurofeedback na funkcje wykonawcze, a dokładniej na zdolność do tłumienia nieadekwatnych reakcji u dzieci ADHD. W przypadku obu terapii analiza źródeł sygnału EEG wykazała zmiany w okolicach czołowych mózgu (zaangażowanych w hamowanie zachowania), a po treningu neurofeedback dodatkowo obserwowano różnice w aktywności płatów ciemieniowych, które, zdaniem autorów badania, prawdopodobnie odzwierciedlają efektywność, z jaką wewnętrzne reprezentacje różnych działań mogą być aktualizowane i stabilizowane po to, żeby mogła zostać uruchomiona właściwa w danej sytuacji reakcja.

Podsumowując, można stwierdzić, że chociaż analiza qEEG jest od dawna wykorzystywana do oceny zmian w aktywności bioelektrycznej mózgu współwystępujących z różnymi formami terapii, współcześnie stosowane algorytmy umożliwiają coraz bardziej precyzyjną lokalizację generatorów tej czynności oraz uchwycenie nawet dyskretnych różnic w gęstości tych źródeł i ich przestrzennej konfiguracji. Pozwala to na bardziej zindywidualizowane leczenie oraz dokładniejsze monitorowanie jego przebiegu.

Podsumowanie

Ilościowa elektroencefalografia (qEEG) wykorzystuje szereg algorytmów matematycznych pozwalających opisać specyficzne i powtarzalne wzorce aktywności bioelektrycznej mózgu, co czyni tę metodę przydatną do oceny stanów umysłu oraz funkcjonowania poznawczego osób zdrowych lub cierpiących na różne zaburzenia OUN. Ponadto wyniki qEEG mogą okazać się użyteczne przy wyborze odpowiedniego leczenia farmakologicznego czy formy neuroterapii (np. neurofeedback, TMS), sprawdzaniu ich skuteczności oraz monitorowania przebiegu postępujących chorób OUN.

Ilościowa metoda EEG umożliwia poznanie zmian w czynności mózgu charakterystycznych dla różnych dysfunkcji OUN, włączając w to zaburzenia neurorozwojowe, choroby psychiatryczne i neurologiczne. Dotychczas dokładnie opisano m.in. wzorce aktywności bioelektrycznej w ADHD, depresji czy lęku, sugerujące istnienie co najmniej kilku podtypów tych zaburzeń o odmiennym obrazie klinicznym. Charakterystyczne zmiany w qEEG obserwuje się również

w dysleksji (m.in. zwiększoną ekspresję fal szybkich w okolicach skroniowych oraz atypowy wzorec koherencji zarówno w paśmie niskich, jak i wysokich częstotliwości), a także w ASD, w którym stwierdzono nieprawidłowości m.in. w zakresie rytmu μ , związanego z aktywnością neuronów lustrzanych. Ponadto qEEG dostarcza wzorców aktywności bioelektrycznej mózgu charakterystycznych dla procesów neurodegeneracyjnych, zachodzących np. w chorobie Alzheimera. Do często opisywanych efektów w tym przypadku zalicza się spowolnienie rytmu Alfa, czy też atypową komunikację między homologicznymi obszarami obu półkul mózgu.

Literatura cytowana

- American Neuropsychiatric Association. (2006). The value of quantitative electroencephalography in clinical psychiatry: A report by the committee on research of the American Neuropsychiatric Association. *Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neuroscience*, 18(4), 460–500. <https://doi.org/10.1176/jnp.2006.18.4.460>
- Arns, M., Olbrich, S. (2014). Personalized medicine in ADHD and depression: Use of Pharmac-EEG. W: V. Kumari, P. Bob, N. N. Boutros (red.), *Electrophysiology and psychophysiology in psychiatry and psychopharmacology*, t. 21 (s. 345–370). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/7854_2014_295
- Arns, M., Peters, S., Breteler, R., Verhoeven, L. (2007). Different brain activation patterns in dyslexic children: Evidence from EEG power and coherence patterns for the double-deficit theory of dyslexia. *Journal of Integrative Neuroscience*, 6(1), 175–190. <https://doi.org/10.1142/s0219635207001404>
- Barcelon, E. A., Mukaino, T., Yokoyama, J., Uehara, T., Ogata, K., Kira, J. I., To-bimatsu, S. (2019). Grand total EEG score can differentiate Parkinson's disease from Parkinson-related disorders. *Frontiers in Neurology*, 10, 398. <https://doi.org/10.3389/fneur.2019.00398>
- Benz, N., Hatz, F., Bousleiman, H., Ehrensperger, M. M., Gschwandtner, U., Hardmeier, M., ..., Fuhr, P. (2014). Slowing of EEG background activity in Parkinson's and Alzheimer's disease with early cognitive dysfunction. *Frontiers in Aging Neurosciences*, 6, 314. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2014.00314>
- Billeci, L., Sicca, F., Maharatna, K., Apicella, F., Narzisi, A., Campatelli, G., ..., Mura-tori, F. (2013). On the application of quantitative EEG for characterizing autistic brain: A systematic review. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 442. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00442>

- Bluschke, A., Friedrich, J., Schreiter, M. L., Roessner, V., Beste, C. (2018). A comparative study on the neurophysiological mechanisms underlying effects of methylphenidate and neurofeedback on inhibitory control in attention deficit hyperactivity disorder. *Neuroimage Clinical*, 20, 1191–1203. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2018.10.027>
- Bonanni, L., Thomas, A., Tiraboschi, P., Perfetti, B., Varanese, S., Onofrj, M. (2008). EEG comparisons in early Alzheimer's disease dementia with Lewy bodies and Parkinson's disease with dementia patients with a 2-year follow-up. *Brain*, 131(Pt 3), 690–705. <https://doi.org/10.1093/brain/awm322>
- Bonanni, L., Perfetti, B., Bifulchetti, S., Taylor, J. P., Franciotti, R., Parnetti, L., ..., Onofrj, M. (2015). Quantitative electroencephalogram utility in predicting conversion of mild cognitive impairment to dementia with Lewy bodies. *Neurobiology of Aging*, 36(1), 434–445. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2014.07.009>
- Bresnahan, S. M., Barry, R. J. (2002). Specificity of quantitative EEG analysis in adults with attention deficit hyperactivity disorder. *Psychiatry Research*, 112(2), 133–144. [https://doi.org/10.1016/s0165-1781\(02\)00190-7](https://doi.org/10.1016/s0165-1781(02)00190-7)
- Cantor, D. S., Thatcher, R. W., Hrybyk, M., Kaye, H. (1986). Computerized EEG analyses of autistic children. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 16(2), 169–187. <https://doi.org/10.1007/BF01531728>
- Caso, F., Cursi, M., Magnani, G., Fanelli, G., Falautano, M., Comi, G., ..., Minicucci, F. (2012). Quantitative EEG and LORETA: Valuable tools in discerning FTD from AD? *Neurobiology of Aging*, 33(10), 2343–2356. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2011.12.011>
- Caviness, J. N., Utianski, R. L., Hentz, J. G., Beach, T. G., Dugger, B. N., Shill, H. A., ..., Adler, C. H. (2016). Differential spectral quantitative electroencephalography patterns between control and Parkinson's disease cohorts. *European Journal of Neurology*, 23(2), 387–392. <https://doi.org/10.1111/ene.12878>
- Chabot, R. J., Serfontein, G. (1996). Quantitative electroencephalographic profiles of children with attention deficit disorder. *Biological Psychiatry*, 40(10), 951–963. [https://doi.org/10.1016/0006-3223\(95\)00576-5](https://doi.org/10.1016/0006-3223(95)00576-5)
- Chan, A. S., Sze, S. L., Cheung, M. C. (2007). Quantitative electroencephalographic profiles for children with autistic spectrum disorder. *Neuropsychology*, 21(1), 74–81. <https://doi.org/10.1037/0894-4105.21.1.74>
- Chaturvedi, M., Hatz, F., Gschwandtner, U., Bogaarts, J. G., Meyer, A., Fuhr, P., Roth, V. (2017). Quantitative EEG (QEEG) measures differentiate Parkinson's disease (PD) patients from healthy controls (HC). *Frontiers in Aging Neuroscience*, 9, 3. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2017.00003>
- Clarke, A. R., Barry, R. J., McCarthy, R., Selikowitz, M. (2001). Excess beta activity in children with attention-deficit/hyperactivity disorder: An atypical electrophysiological group. *Psychiatry Research*, 103(2), 205–218. [https://doi.org/10.1016/s0165-1781\(01\)00277-3](https://doi.org/10.1016/s0165-1781(01)00277-3)

- Clarke, A. R., Barry, R. J., McCarthy, R., Selikowitz, M. (2011). Correlation between EEG activity and behavior in children with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Journal of Neurotherapy*, 15(3), 193–199. <https://doi.org/10.1080/10874208.2011.595295>
- Coben, R., Clarke, A. R., Hudspeth, W., Barry, R. J. (2008). EEG power and coherence in autistic spectrum disorder. *Clinical Neurophysiology*, 119(5), 1002–1009. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2008.01.013>
- Cook, I. A., Wilson, A. C., Corlier, J., Leuchter, A. F. (2019). Brain activity and clinical outcomes in adults with depression treated with synchronized transcranial magnetic stimulation: An exploratory study. *Neuromodulation*, 22(8), 894–897. <https://doi.org/10.1111/ner.12914>
- Coutin-Churchman, P., Añez, Y., Uzcátegui, M., Alvarez, L., Vergara, F., Mendez, L., Fleitas, R. (2003). Quantitative spectral analysis of EEG in psychiatry revisited: Drawing signs out of numbers in a clinical setting. *Clinical Neurophysiology*, 114(12), 2294–2306. [https://doi.org/10.1016/S1388-2457\(03\)00228-1](https://doi.org/10.1016/S1388-2457(03)00228-1)
- Dawson, G., Klinger, L. G., Panagiotides, H., Lewy, A., Castellote, P. (1995). Subgroups of autistic children based on social behavior display distinct patterns of brain activity. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 23(5), 569–583. <https://doi.org/10.1007/BF01447662>
- Demos, J. N. (2005). *Getting started with neurofeedback*. Nowy Jork: WW Norton & Co.
- Dinstein, I., Thomas, C., Humphreys, K., Minshew, N., Behrmann, M., Heeger, D. J. (2010). Normal movement selectivity in autism. *Neuron*, 66(3), 461–469. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2010.03.034>
- Duffy, F. H., Als, H. (2012). A stable pattern of EEG spectral coherence distinguishes children with autism from neurotypical controls – a large case control study. *BMC Medicine*, 10, 64. <https://doi.org/10.1186/1741-7015-10-64>
- Eichelberger, D., Calabrese, P., Meyer, A., Chaturvedi, M., Hatz, F., Fuhr, P., Gschwandtner, U. (2017). Correlation of visuospatial ability and EEG slowing in patients with Parkinson's disease. *Parkinson's Disease*, 2017, 3659784. <https://doi.org/10.1155/2017/3659784>
- Garn, H., Coronel, C., Waser, M., Caravias, G., Ransmayr, G. (2017). Differential diagnosis between patients with probable Alzheimer's disease, Parkinson's disease dementia, or dementia with Lewy bodies and frontotemporal dementia, behavioral variant, using quantitative electroencephalographic features. *Journal of Neural Transmission (Vienna)*, 124(5), 569–581. <https://doi.org/10.1007/s00702-017-1699-6>
- Gasser, T., Jennen-Steinmetz, C., Sroka, L., Verleger, R., Möcks, J. (1988). Development of the EEG of school-age children and adolescents II. Topography. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 69(2), 100–109. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(88\)90205-2](https://doi.org/10.1016/0013-4694(88)90205-2)
- Gasser, T., Rousson, V., Schreiter Gasser, U. (2003). EEG power and coherence in children with educational problems. *Journal of Clinical Neurophysiology: Official*

- Publication of the American Electroencephalographic Society*, 20(4), 273–282. <https://doi.org/10.1097/00004691-200307000-00007>
- Gasser, T., Verleger, R., Bächer, P., Sroka, L. (1988). Development of the EEG of school-age children and adolescents. I. Analysis of band power. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 69(2), 91–99. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(88\)90204-0](https://doi.org/10.1016/0013-4694(88)90204-0)
- Gastaut, H., Dongier, M., Courtois, G. (1954). On the significance of „wicket rhythms” („rhythmes en arceau”) in psychosomatic medicine. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 6, 687–688.
- Goossens, J., Laton, J., Van Schependom, J., Gielen, J., Struyfs, H., Van Mossevelde, S., ..., Nagels, G. (2017). EEG dominant frequency peak differentiates between Alzheimer’s disease and frontotemporal lobar degeneration. *Journal of Alzheimer’s Disease*, 55(1), 53–58. <https://doi.org/10.3233/JAD-160188>
- Granger, C. W. J. (1969). Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods. *Econometrica*, 37(3), 424–438. <https://doi.org/10.2307/1912791>
- Gu, Y., Chen, J., Lu, Y., Pan, S. (2016). Integrative frequency power of EEG correlates with progression of mild cognitive impairment to dementia in Parkinson’s disease. *Clinical EEG and Neuroscience*, 47(2), 113–117. <https://doi.org/10.1177/1550059414543796>
- Gurnee, R. (2003, wrzesień). *QEEG subtypes of anxiety*. Referat na 11th Annual Conference of International Society for Neurofeedback and Research, Houston, USA.
- Hegerl, U., Himmerich, H., Engmann, B., Hensch, T. (2010). Mania and attention-deficit/hyperactivity disorder: Common symptomatology, common pathophysiology and common treatment? *Current Opinion in Psychiatry*, 23(1), 1–7. <https://doi.org/10.1097/YCO.0b013e328331f694>
- Holschneider, D. P., Leuchter, A. F. (1999). Clinical neurophysiology using electroencephalography in geriatric psychiatry: Neurobiologic implications and clinical utility. *Journal of Geriatric Psychiatry and Neurology*, 2(3), 150–164. <https://doi.org/10.1177/089198879901200308>
- Hughes, J. R., John, E. R. (1999). Conventional and quantitative electroencephalography in psychiatry. *The Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neurosciences*, 11(2), 190–208. <https://doi.org/10.1176/jnp.11.2.190>
- Hunter, A. M., Cook, I. A., Leuchter, A. F. (2007). The promise of the quantitative electroencephalogram as a predictor of antidepressant treatment outcomes in major depressive disorder. *The Psychiatric Clinics of North America*, 30(1), 105–124. <https://doi.org/10.1016/j.psc.2006.12.002>
- Ianof, J. N., Fraga, F. J., Ferreira, L. A., Ramos, R. T., Demario, J. L. C., Baratho, R., ..., Anghinah, R. (2017). Comparative analysis of the electroencephalogram in patients with Alzheimer’s disease, diffuse axonal injury patients and healthy

- controls using LORETA analysis. *Dementia & Neuropsychologia*, 11(2), 176–185. <https://doi.org/10.1590/1980-57642016dn11-020010>
- Jausovec, N., Jausovec, K. (2003). Spatiotemporal brain activity related to intelligence: A low resolution brain electromagnetic tomography study. *Brain Research. Cognitive Brain Research*, 16(2), 267–272. [https://doi.org/10.1016/s0926-6410\(02\)00282-3](https://doi.org/10.1016/s0926-6410(02)00282-3)
- Jenkins, G. M., Watts, D. G. (1968). *Spectral analysis and its applications*. San Francisco: Holden-Day.
- Jobert, M., Wilson, F. J. (2015). Advanced analysis of pharmaco-EEG data in humans. *Neuropsychobiology*, 72(3–4), 165–177. <https://doi.org/10.1159/000431096>
- Kaiser, D. A. (2007). What is quantitative EEG? *Journal of Neurotherapy*, 10(4), 37–52.
- Kakumanu, R. J., Nair, A. K., Sasidharan, A., John, J. P., Mehrotra, S., Panth, R., Kutty, B. M. (2019). State-trait influences of Vipassana meditation practice on P3 EEG dynamics. *Progress in Brain Research*, 244, 115–136. <https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2018.10.027>
- Kanda, P. A. M., Anghinah, R., Smidth, M. T., Silva, J. M. (2009). The clinical use of quantitative EEG in cognitive disorders. *Dementia & Neuropsychologia*, 3(3), 195–203. <https://doi.org/10.1590/S1980-57642009DN30300004>
- Kaur, C., Singh, P., Sahni, S., Punia, C. (2019). Advanced spatially specific neuro-feedback for symptoms of depression and its electroencephalographic correlates. *Alternative Therapies in Health and Medicine*, 25(3), 54–63.
- Kim, J. S., Lee, S. H., Park, G., Kim, S., Bae, S. M., Kim, D. W., Im, C. H. (2012). Clinical implications of quantitative electroencephalography and current source density in patients with Alzheimer's disease. *Brain Topography*, 25(4), 461–474. <https://doi.org/10.1007/s10548-012-0234-1>
- Klimesch, W. (1999). EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: A review and analysis. *Brain Research Reviews*, 29(2), 169–195. [https://doi.org/10.1016/s0165-0173\(98\)00056-3](https://doi.org/10.1016/s0165-0173(98)00056-3)
- Klimesch, W., Doppelmayr, M., Röhlm, D., Pöllhuber, D., Stadler, W. (2000). Simultaneous desynchronization and synchronization of different alpha responses in the human electroencephalograph: A neglected paradox? *Neuroscience Letters*, 284(1–2), 97–100. [https://doi.org/10.1016/s0304-3940\(00\)00985-x](https://doi.org/10.1016/s0304-3940(00)00985-x)
- Klimesch, W., Schack, B., Schabus, M., Doppelmayr, M., Gruber, W., Sauseng, P. (2004). Phase-locked alpha and theta oscillations generate the P1-N1 complex and are related to memory performance. *Brain Research. Cognitive Brain Research*, 19(3), 302–316. <https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2003.11.016>
- Koek, R. J., Yerevanian, B. I., Tachiki, K. H., Smith, J. C., Alcock, J., Kopelowicz, A. (1999). Hemispheric asymmetry in depression and mania. A longitudinal QEEG study in bipolar disorder. *Journal of Affective Disorders*, 53(2), 109–122. [https://doi.org/10.1016/s0165-0327\(98\)00171-2](https://doi.org/10.1016/s0165-0327(98)00171-2)

- Kropotov, J. D. (2016). *Functional neuromarkers for psychiatry: Applications for diagnosis and treatment*. Londyn: Academic Press.
- Kwon, J. S., Youn, T., Jung, H. Y. (1996). Right hemisphere abnormalities in major depression: Quantitative electroencephalographic findings before and after treatment. *Journal of Affective Disorders*, 40(3), 169–173. [https://doi.org/10.1016/0165-0327\(96\)00057-2](https://doi.org/10.1016/0165-0327(96)00057-2)
- Lalo, E., Gilbertson, T., Doyle, L., Di Lazzaro, V., Cioni, B., Brown, P. (2007). Phasic increases in cortical beta activity are associated with alterations in sensory processing in the human. *Experimental Brain Research*, 177(1), 146–146. <https://doi.org/10.1007/s00221-006-0828-5>
- Lewandowska, M., Milner, R., Ganc, M., Włodarczyk, E., Pluta, A., Skarżyński, H. (2013). Odmienny wzorec bioelektrycznej aktywności spoczynkowej mózgu u dzieci z dysleksją. *Nowa Audiofonologia*, 2(4), 36–43.
- Lieber, A. L. (1988). Diagnosis and subtyping of depressive disorders by quantitative electroencephalography: II. Interhemispheric measures are abnormal in major depressives and frequency analysis may discriminate certain subtypes. *The Hillside Journal of Clinical Psychiatry*, 10(1), 84–97.
- Majkowski, J. (1989). *Elektroencefalografia kliniczna*. Warszawa: Wydawnictwo Lekarskie PZWL.
- Marosi, E., Rodriguez, H., Harmony, T., Yantez, G., Rodriguez, M., Bernal, J., ..., Guerrero, V. (1999). Broad band spectral EEG parameters correlated with different IQ measurements. *International Journal of Neuroscience*, 97(1–2), 17–27. <https://doi.org/10.3109/00207459908994300>
- Martín-Loeches, M., Muñoz-Ruata, J., Martínez-Lebrusant, L., Gómez-Jarabo, G. (2001). Electrophysiology and intelligence: The electrophysiology of intellectual functions in intellectual disability. *Journal of Intellectual Disability Research: JIDR*, 45(Pt 1), 63–75. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2788.2001.00292.x>
- Mathewson, K. J., Jetha, M. K., Drmic, I. E., Bryson, S. E., Goldberg, J. O., Schmidt, L. A. (2012). Regional EEG alpha power, coherence, and behavioral symptomatology in autism spectrum disorder. *Clinical Neurophysiology*, 123(9), 1798–1809. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2012.02.061>
- Morgan, M. L., Witte, E. A., Cook, I. A., Leuchter, A. F., Abrams, M., Siegman, B. (2005). Influence of age, gender, health status, and depression on quantitative EEG. *Neuropsychobiology*, 52(2), 71–76. <https://doi.org/10.1159/000086608>
- Mottaz, A., Solcà, M., Magnin, C., Corbet, T., Schnider, A., Guggisberg, A. G. (2015). Neurofeedback training of alpha-band coherence enhances motor performance. *Clinical Neurophysiology*, 126(9), 1754–1760. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2014.11.023>
- Murias, M., Webb, S. J., Greenson, J., Dawson, G. (2012). Resting state cortical connectivity reflected in EEG coherence in individuals with autism. *Biological Psychiatry*, 62(3), 270–273. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2006.11.012>

- Musaeus, C. S., Engedal, K., Høgh, P., Jelic, V., Mørup, M., Naik, M., ..., Andersen, B. B. (2018). EEG Theta power is an early marker of cognitive decline in dementia due to Alzheimer's disease. *Journal of Alzheimer's Disease*, 64(4), 1359–1371. <https://doi.org/10.3233/JAD-180300>
- Musaeus, C. S., Engedal, K., Høgh, P., Jelic, V., Mørup, M., Naik, M., ..., Andersen, B. B. (2019). Oscillatory connectivity as a diagnostic marker of dementia due to Alzheimer's disease. *Clinical Neurophysiology*, 130(10), 1889–1899. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2019.07.016>
- Müller, A., Candrian, G., Kropotov, J. (2011). *ADHS-Neurodiagnostik in der Praxis*. Berlin–Heidelberg: Springer-Verlag.
- Niedermeyer, E., Silva, F. L. (2005). *Electroencephalography: Basic principles, clinical applications, and related fields*. Filadelfia: Lippincott Williams & Wilkins.
- Nuwer, M. R., Buchhalter, J., Shepard, K. M. (2016). Quantitative EEG in attention-deficit/hyperactivity disorder: A companion payment policy review for clinicians and payers. *Neurology. Clinical practice*, 6(6), 543–548. <https://doi.org/10.1212/CPJ.0000000000000308>
- Olbrich, S., Arns, M. (2013). EEG biomarkers in major depressive disorder: Discriminative power and prediction of treatment response. *International Review of Psychiatry (Abingdon, England)*, 25(5), 604–618. <https://doi.org/10.3109/09540261.2013.816269>
- Pop-Jordanova, N., Zorcec, T., Demerdzieva, A., Gucev, Z. (2010). QEEG characteristics and spectrum weighted frequency for children diagnosed as autistic spectrum disorder. *Nonlinear Biomedical Physics*, 4, 4. <https://doi.org/10.1186/1753-4631-4-4>
- Posthuma, D., Neale, M. C., Boomsma, D. I., de Geus, E. J. (2001). Are smarter brains running faster? Heritability of alpha peak frequency, IQ, and their interrelation. *Behavior genetics*, 31(6), 569–579. <https://doi.org/10.1023/a:1013345411774>
- Pozzi, D., Golimstock, A., Migliorelli, R., Tesón, A., García, H., Starkstein, S. (1993). Quantified electroencephalographic correlates of depression in Alzheimer's disease. *Biological Psychiatry*, 34(6), 386–391. [https://doi.org/10.1016/0006-3223\(93\)90183-e](https://doi.org/10.1016/0006-3223(93)90183-e)
- Prat, C. S., Yamasaki, B. L., Kluender, R. A., Stocco, A. (2016). Resting-state qEEG predicts rate of second language learning in adults. *Brain & Language*, 157–158, 44–50. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2016.04.007>
- Price, J., Budzynski, T. (2009). Anxiety, EEG patterns, and neurofeedback. W: T. Budzynski, K. H. Budzynski, J. R. Evans, A. Abarbanel (red.), *Introduction to quantitative EEG and neurofeedback: Advanced theory and applications* (s. 453–470). Amsterdam: Academic Press.
- Ramachandran, V. S., Oberman, L. M. (2006). Broken mirrors: A theory of autism. *Scientific American*, 295(5), 62–69. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican1106-62>
- Saletu, B., Paulus, E., Anderer, P., Grünberger, J., Frey, R. (1993). Correlation maps: On the relation of electroencephalographic slow wave activity to computerized

- tomography and psychopathometric measurements in dementia. W: K. Maurer (red.), *Imaging of the brain in psychiatry and related fields* (s. 263–265). Berlin: Springer-Verlag.
- Saletu, B., Anderer, P., Saletu-Zyhlarz, G. M. (2006). EEG topography and tomography (LORETA) in the classification and evaluation of the pharmacodynamics of psychotropic drugs. *Clinical EEG and Neuroscience*, 37(2), 66–80. <https://doi.org/10.1177/155005940603700205>
- Schmid, R. G., Tirsch, W. S., Scherb, H. (2002). Correlation between spectral EEG parameters and intelligence test variables in school-age children. *Clinical Neurophysiology: Official Journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, 113(10), 1647–1656. [https://doi.org/10.1016/s1388-2457\(02\)00212-2](https://doi.org/10.1016/s1388-2457(02)00212-2)
- Schoenkecht, P., Olbrich, S., Sander, C., Spindler, P., Hegerl, U. (2010). Treatment of acute mania with modafinil monotherapy. *Biological Psychiatry*, 67(11), 55–57. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2009.12.021>
- Snaedal, J., Johannesson, G. H., Gudmundsson, T. E., Blin, N. P., Emilsdottir, A. L., Einarsson, B., Johnsen, K. (2012). Diagnostic accuracy of statistical pattern recognition of electroencephalogram registration in evaluation of cognitive impairment and dementia. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders*, 34(1), 51–60. <https://doi.org/10.1159/000339996>
- Smailovic, U., Koenig, T., Kåreholt, I., Andersson, T., Kramberger, M., Winblad, B., Jelic, V. (2018). Quantitative EEG power and synchronization correlate with Alzheimer's disease CSF biomarkers. *Neurobiology of Aging*, 63, 88–95. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2017.11.005>
- Sporns, O., Tononi, G., Kötter, R. (2005). The human connectome: A structural description of the human brain. *PLoS Computational Biology*, 1, e42. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.0010042>
- Stylianou, M., Murphy, N., Peraza, L. R., Graziadio, S., Cromarty, R., Killen, A., ..., Taylor, J. P. (2018). Quantitative electroencephalography as a marker of cognitive fluctuations in dementia with Lewy bodies and an aid to differential diagnosis. *Clinical Neurophysiology*, 129(6), 1209–1220. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2018.03.013>
- Stroganova, T. A., Nygren, G., Tsetlin, M. M., Posikera, I. N., Gillberg, C., Elam, M., Orekhova, E. V. (2007). Abnormal EEG lateralization in boys with autism. *Clinical Neurophysiology: Official Journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, 118(8), 1842–1854. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2007.05.005>
- Sutton, S. K., Burnette, C. P., Mundy, P. C., Meyer, J., Vaughan, A., Sanders, C., Yale, M. (2005). Resting cortical brain activity and social behavior in higher functioning children with autism. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 46(2), 211–222. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2004.00341.x>

- Swatzyna, R. J., Kozłowski, G. P., Tarnow, J. D. (2015). Pharmaco-EEG: A study of individualized medicine in clinical practice. *Clinical EEG and Neuroscience*, 46(3), 192–196. <https://doi.org/10.1177/1550059414556120>
- Tenke, C. E., Kayser, J., Manna, C. G., Fekri, S., Kropmann, C. J., Schaller, J. D., ..., Bruder, G. E. (2011). Current source density measures of electroencephalographic alpha predict antidepressant treatment response. *Biological Psychiatry*, 70(4), 388–394. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2011.02.016>
- Teramoto, H., Morita, A., Ninomiya, S., Akimoto, T., Shiota, H., Kamei, S. (2016). Relation between resting state front-parietal EEG coherence and executive function in Parkinson's disease. *Biomed Research International*, 2016, 2845754. <https://doi.org/10.1155/2016/2845754>
- Thatcher, R. W. (2010). Validity and reliability of quantitative electroencephalography. *Journal of Neurotherapy*, 14, 122–152. <https://doi.org/10.1080/10874201003773500>
- Thatcher, R. W., North, D., Biver, C. (2005). EEG and intelligence: Relations between EEG coherence, EEG phase delay and power. *Clinical Neurophysiology*, 116(9), 2129–2141. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2005.04.026>
- Thompson, M. (red.). (2012). *Neurofeedback. The neurofeedback book. An introduction to basic concepts in applied psychophysiology*. Wrocław: Biomed Neurotechnologie.
- Wang, R., Wang, J., Yu, H., Wei, X., Yang, C., Deng, B. (2014). Decreased coherence and functional connectivity of electroencephalograph in Alzheimer's disease. *Chaos*, 24(3), 033136. <https://doi.org/10.1063/1.4896095>
- Zhang, Y., Chen, Y., Bressler, S. L., Ding, M. (2008). Response preparation and inhibition: The role of the cortical sensorimotor beta rhythm. *Neuroscience*, 156(1), 238–246. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2008.06.061>

INGRIDA ANTONOVA¹, ALICJA DOBRZYKOWSKA²,
JOANNA DRESZER³

¹ Instytut Biologii Doświadczalnej im. Marceliego Nenckiego, Polska Akademia Nauk

² Wydział Psychologii, Uniwersytet Warszawski

³ Instytut Psychologii, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

Zastosowanie analizy mikrostanów elektrofizjologicznej aktywności mózgu w badaniu neuronalnych korelatów różnic indywidualnych

Sposób cytowania: Antonova, I., Dobrzykowska, A., Dreszer, J. (2020). Zastosowanie analizy mikrostanów elektrofizjologicznej aktywności mózgu w badaniu neuronalnych korelatów różnic indywidualnych. W: M. Trojan, M. Gut (red.), *Nowe technologie i metody w psychologii* (s. 261–279). Warszawa: Liberi Libri. <https://doi.org/10.47943/lib.9788363487430.rozdzial12>

Rozdział powstał w ramach realizacji projektu finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki, nr umowy: UMO-2016/20/W/NZ4/00354.

Istnieje szereg cech, które sprawiają, że każdy człowiek jest unikalny. Ludzie różnią się genetycznym wyposażeniem, wiekiem, płcią, cechami osobowości czy inteligencją. Aktualnie powszechnie uznaje się za fakt, że ocena różnic indywidualnych jest szczególnie istotna z punktu widzenia potencjalnych konsekwencji dla przebiegu procesu uczenia się, leczenia, rehabilitacji oraz efektów szeroko rozumianej codziennej aktywności (Boogert, Madden, Morand-Ferron, Thornton, 2018; Fillingim, 2017; Harkness, Lilienfeld, 1997; Lubinski, 2000; Stern, 2017).

Badacze zajmujący się różnicami indywidualnymi odchodzą jednak od debaty na temat realności istnienia samych cech (np. osobowości czy inteligencji) i przesuwają swoją uwagę w kierunku przyczyn występowania różnic indywidualnych, zastosowania tej wiedzy oraz tego, jakie implikacje mogą wynikać z faktu ich występowania dla badań szeregu innych podstawowych procesów (Corr, Mobbs, 2018). Szczególnie silne argumenty płynną z obserwacji poczynionych w ramach dynamicznie rozwijającej się neuronauki poznawczej (*cognitive neuroscience*), dotyczących interindywidualnej zmienności związków między cechami działania sieci neuronalnej a cechami i względnie stałymi charakterystykami zachowaniem człowieka (np. Barbey, 2018; Finn i in., 2015; Poldrack, 2011; Thompson, Falk, Vettel, Bassett, 2018). Nie bez znaczenia są również wyniki dotyczące fluktuacji (intraindywidualnej zmienności) obserwowanej w rejestrowanym sygnale, będącej wskaźnikiem złożoności i unikatowości struktury sieci neuronalnej, która je kształtuje (Garrett i in., 2013; Hilger, Fukushima, Sporns, Fiebach, 2019; Yarkoni, Braver, 2010).

Narzędzia stosowane w neuronauce poznawczej stały się więc istotnym wsparciem dla badań różnic indywidualnych (Yarkoni, Braver, 2010), a te z kolei otworzyły nowe pole badań nad neuronalnymi korelatami procesów poznawczych oraz zachowania człowieka (Corr, Mobbs, 2018). Stało się to oczywiście możliwe dzięki rozwijającym się metodom analizy danych neuroobrazowych oraz udostępnianiu baz wyników badań imponujących pod względem liczebności, ale także bogactwa badanych właściwości psychologicznych (m.in. dotyczących inteligencji, różnic indywidualnych w zakresie pamięci roboczej, uwagi, uczenia się, osobowości, ale także jakości snu, zdrowia psychicznego i fizycznego; Corr, Mobbs, 2018; zob. też: Van Essen i in., 2012).

W rozdziale skoncentrowano się na jednej z metod analizy sygnału w badaniach neuronalnych korelatów różnic indywidualnych, jaką jest analiza mikrostanów EEG. Chociaż metoda ta powstała w latach '80 XX wieku, nabrała nowego znaczenia i znalazła nowe zastosowania dzięki postępowi

w projektowaniu zaawansowanych narzędzi do analiz i rozwojowi podejścia teoretycznego w zakresie tzw. *network neuroscience*.

Mikrostany podczas spoczynkowej aktywności mózgu. Spoczynkowa aktywność mózgu, rejestrowana między innymi za pomocą elektroencefalografii (EEG), pozwala na opis spontanicznych fluktuacji aktywności sieci neuronalnej, gdy osoba badana nie wykonuje żadnego zadania angażującego procesy mentalne.

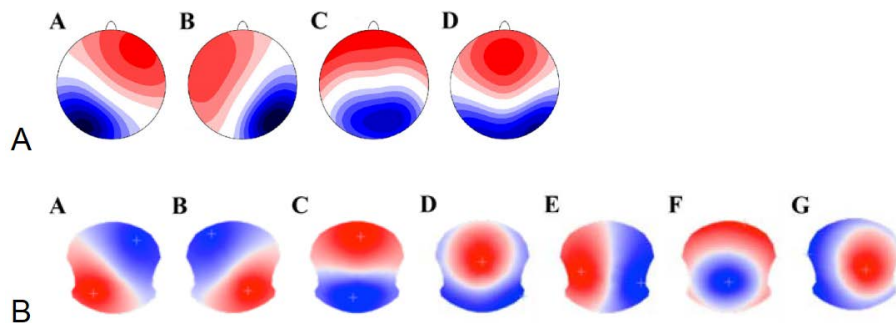
Mikrostany rozumie się jako okresy quasi-stabilnych topografii potencjału elektrycznego na powierzchni kory mózgowej utrzymujących się przez około 80–120 milisekund, które następnie przekształcają się (*transit*) w kolejny układ/wzorec aktywności (*topography*) (Khanna, Pascual-Leone, Michel, Farzan, 2015; Lehmann, Ozaki, Pal, 1987; Michel, Koenig, 2018). Zmiana ta ma charakter skokowy, jest trudna do przewidzenia i prowadzi do pojawienia się nowego wzorca aktywności. Przejęcia z jednego mikrostatu do drugiego nie są jednak całkowicie przypadkowe (Lehmann i in., 2005). Najczęstszym sposobem graficznego przedstawienia mikrostanów są mapy potencjału elektrycznego na powierzchni kory mózgowej, na których intensywność koloru czerwonego oraz niebieskiego oznacza ekstrema (minima i maksima aktywności mierzonej w uV). Dobrą analogią może być mapa ukształtowania terenu, gdzie wysokości reprezentowane są przez kolory (czerwone – wzgórza, niebieskie – doliny). Mikrostany, a właściwie zgodnie z założeniami zmiany w ich topografii, ilustrują zmiany aktywności poszczególnych źródeł sygnału elektrofizjologicznego w rozkładzie przestrzennym (Michel, Koenig, Brandeis, 2009).

Cztery najobszerniej opisane i najlepiej poznane klasy mikrostanów – A, B, C i D – przedstawione są na rysunku 1 (schemat A). Mają one charakterystyczne wzorce i stałą/stabilną topografię. Daje się je w powtarzalny sposób wyodrębnić zarówno w różnych grupach, ale także w porównaniach między osobami badanymi (Britz, Van De Ville, Michel, 2010; Koenig i in., 2002).

Te cztery klasy mikrostanów wyjaśniają do 85% wariancji w spoczynkowym sygnale EEG (Tomescu i in., 2015). W nowszych badaniach Custo i in. (2017) zidentyfikowali ich siedem (rysunek 1, schemat B), przy czym łącznie wyjaśniły one 85% wariancji, ale cztery z nich (opisane powyżej A, B, C, D) w ich analizie wyjaśniły jedynie 60% wariancji. Ważnymi własnościami mikrostanów spoczynkowej aktywności mózgu są: długość trwania (*duration*), częstotliwość (*frequency*) pojawiania się każdego z nich oraz ich ogólny udział w całym przebiegu (proporcja pokrycia powierzchni kory mózgowej, *coverage*) (Lehmann i in., 2005).

Na bardziej precyzyjną interpretację mikrostanów pozwala odniesienie otrzymanych tą metodą rezultatów do obserwacji zmian mierzonych techniką funkcjonalnego rezonansu magnetycznego (*functional Magnetic Resonance Imaging*, fMRI) (Britz i in., 2010; Custo i in., 2017). Rodzaj mikrostanu określa się na podstawie dopasowania wzorca aktywności do prototypowej statystycznej mapy wartości aktywacji mózgu, obliczonej dla danego zbioru danych. Na podstawie analizy składowych niezależnych (*Independent Components Analysis*, ICA), wykonanej na danych zebranych z użyciem fMRI, możliwe jest uzyskanie wyniku wskazującego na korelację pomiędzy wyznaczonymi mapami aktywacji a komponentami odpowiadającymi poszczególnym sieciom (Britz i in., 2010). Na tej podstawie stwierdzono, że mikrostanowi A odpowiada aktywność sieci słuchowej (koreluje ze spadkiem aktywacji w obszarach skroniowych obu półkul), zaś obecność mikrostanu B koreluje ze spadkiem odpowiedzi hemodynamicznej w obszarach potylicznych, co odpowiada aktywności sieci wzrokowej. Mikrostan C jest skorelowany z aktywnością w grzbietowej części przedniej kory zakrętu obręczy (*dorsal Anterior Cingulate Cortex*, dACC), obszarach czołowych oraz prawej wyspie. Mikrostanowi D przyporządkowana została z kolei aktywność sieci uwagiowej. Jest on skorelowany ze spadkiem odpowiedzi hemodynamicznej w grzbietowych i brzusznych obszarach czołowych i ciemieniowych prawej półkuli. Analiza mikrostanów może być zastosowana także do sygnału EEG rejestrowanego podczas spoczynkowej aktywności mózgu zarówno z otwartymi, jak i zamkniętymi oczami. Warunki rejestracji sygnału EEG (zamknięte vs. otwarte oczy) wydają się nie wpływać na charakterystyki mikrostanów A, C, D. Natomiast w przypadku mikrostanu B bodźce wzrokowe mogą istotnie zmienić takie jego charakterystyki, jak częstość pojawiania się i ogólny udział w całym przebiegu (Seitzmann i in., 2017).

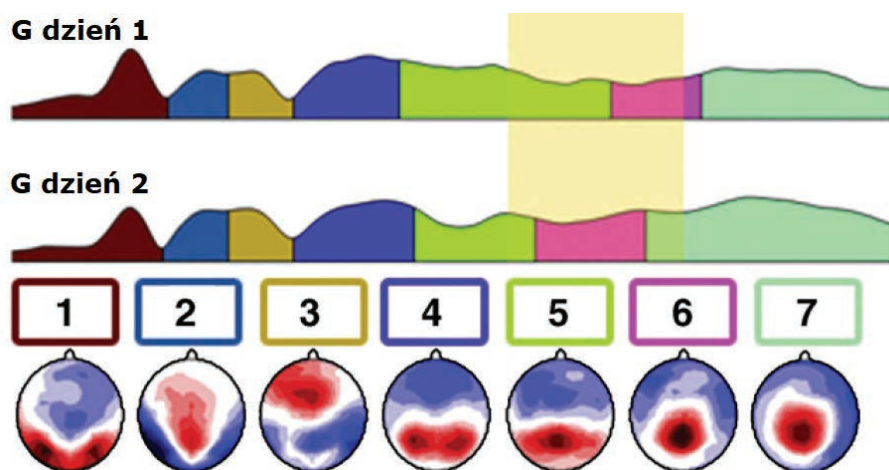
Dodatkowo wykazano, że segmentacja, którą przeprowadzili Custo i in. (2017), na więcej niż cztery mapy, może więcej powiedzieć o lokalizacji poszczególnych procesów. Stwierdzono, że klasycznemu mikrostanowi C odpowiadają źródła mikrostanów C oraz F, uzyskanych z segmentacji wyodrębniającej siedem map (Custo i in., 2017). Taka parcelacja zdaje się również dobrze korespondować z jej wynikami dla sygnału fMRI, gdzie wykazano stabilność liczby klastrów w badaniu sieci funkcjonalnych, które były aktywne w trakcie stanu spoczynkowego (Yeo i in., 2011).



Rysunek 1. A – topografie czterech najczęściej wyodrębnianych map mikrostanów A, B, C oraz D (Pipinis i in., 2017). B – topografie siedmiu map mikrostanów A, B, C, D, E, F oraz G (Custo i in., 2017). Źródło: Pipinis i in., 2017 oraz Custo i in., 2017, s. 675.

Adnotacja. Polaryzacja (niebieski vs. czerwony) nie jest uwzględniana w określaniu klasy mikrostanów, ale orientacja aktywności w korespondującej mapie jest taka sama.

Mikrostany potencjałów wywołanych określonym zdarzeniem. Mikrostany potencjałów wywołanych określonym zdarzeniem (*Event Related Potentials*, ERPs) to obrazy aktywacji odzwierciedlające procesy poznawcze, następujące wskutek przetwarzania bodźca. Mikrostany ERP reprezentują cechy potencjału wywołanego: jego charakterystykę czasową i dystrybucję przestrzenną na powierzchni kory mózgowej (Antonova i in., 2015; Antonova i in., 2016; Bailey i in., 2019; Brandeis, Lehmann, Michel, Mingrone, 1995; Giroud, Lemke, Reich, Matthes, Meyer, 2017; Ruggeri, Meziane, Koenig, Brandner, 2019; Schiller i in., 2016; Stein i in., 2006). Mikrostany ERP różnią się od mikrostanów w stanie spoczynku. Nie można ich przypisać do jednej z czterech klas mikrostanów w stanie spoczynku, a ich liczba różni się w zależności od zadania. W przeciwieństwie do mikrostanów identyfikowanych podczas spoczynku, polaryzacja jest bardzo ważną cechą mikrostanów ERP, ponieważ dostarcza informacji o rozmieszczeniu komponentów potencjałów wywołanych na powierzchni kory. Ponadto mapa mikrostanu może reprezentować więcej niż jeden komponent ERP, np. komponenty negatywne obserwowane najczęściej w części czołowej kory (N2, N450) i komponent pozytywny, najwyraźniej widoczny w środkowej okolicy ciemieniowej (P3) (Bailey i in., 2019; Ruggeri i in., 2019; Schiller i in., 2016). Przykład mikrostanów powiązanych z określonym zdarzeniem przedstawia rysunek 2. Główne cechy mikrostanów ERP to początek, czas trwania oraz pole pod krzywą.



Rysunek 2. Przykład map będących efektem zastosowania analizy mikrostanów powiązanych z określonym zdarzeniem. Przypisanie określonych mikrostanów do potencjałów wywołanych zdarzeniem w dniu 1 (G dzień 1) i dniu 2 (G dzień 2) przedstawiono pod krzywą GFP – całkowitej mocy pola (Global Field Power, GFP). Kolory wskazują różne klasy mikrostanów. Kolor ramki nad topografiami odpowiada przypisaniu do jednego z siedmiu typów mikrostanów. Polaryzacja jest brana pod uwagę jako reprezentacja polaryzacji ERP. Źródło: za: Stein i in., 2006, s. 780.

Mikrostany stanowią zatem alternatywne spojrzenie na dane EEG, dostarczając nowych informacji z zakresu funkcjonowania mózgu. Jest to metoda dynamicznie rozwijana w ostatnim czasie, ze względu na całościowe spojrzenie na dane zbierane ze wszystkich elektrod. Co więcej, mikrostany stanowią kompromis pomiędzy spojrzeniem lokalizacyjnym – kojarzonym z fMRI, a doskonałą rozdzielczością czasową charakterystyczną dla EEG. Zastosowanie tego rodzaju analizy pozwala na uchwycenie subtelnej dynamiki czasowej w odniesieniu do aktywności poszczególnych struktur w mózgu oraz w obrębie sieci (Britz i in., 2010; Custo i in., 2017; Koenig, Pascual-Marqui, 2009; Michel i in., 2009). Dodatkowym atutem jest również możliwość badania współzależności takich parametrów jak siła sygnału dla danej topografii, długość jej trwania, częstotliwość występowania czy prawdopodobieństwo pojawiania się map w określonej kolejności. Zakłada się, że z danym klastrem, czyli mapą uzyskaną podczas procesu identyfikacji mikrostanu, reprezentującą szczególną topografię, związane są wybrane procesy neuronalne.

Identyfikacja mikrostanów aktywności spoczynkowej oraz podczas wykonania zadania. Mikrostany z technicznego punktu widzenia są efektem wielokrotnego uśredniania fragmentów sygnału EEG, zastosowanego w celu uzyskania najlepszych reprezentacji topografii, tak zwanych map skupień, co szczegółowo opisano w książce *Electrical neuroimaging* (Michel i in., 2009). Identyfikacja mikrostanów na poziomie danych indywidualnych rozpoczyna się od obliczenia wartości określającej stabilność topografii w danym momencie, którą stanowi całkowita moc pola (GFP; Lehmann, 1987; Lehmann, Skrandies, 1980). Jej wysoka wartość świadczy o stabilności. Następnie wyliczana jest ogólna różnica między mapami dla sąsiadujących punktów w czasie (*Global Map Dissimilarity*, GMD) (Lehmann, 1987; Lehmann, Skrandies, 1980). Wartość GMD mówi o podobieństwie dwóch występujących po sobie topografii – jeżeli podobieństwo jest wysokie, traktowane są one jako jeden mikrostan. Kolejnym krokiem jest obliczenie map uśrednionych. W tym celu wykorzystuje się algorytmy klastrujące, takie jak *k*-średnich (Rokach, Maimon, 2005), zmodyfikowany *k*-średnich (Pascual-Marqui, Michel, Lehmann, 1995), AAHC (*Atomize and Agglomerate Hierarchical Clustering*) (Murray, Brunet, Michel, 2008) lub TAAHC (*Topographic Atomize and Agglomerate Hierarchical Clustering*) (Khanna, Pascual-Leone, Farzan, 2014). Na tym etapie uzyskuje się mapy uśrednione, które są następnie dopasowywane pod względem podobieństwa do topografii obecnych w sygnale. W ten sposób ujawnia się dynamika mikrostanów zmieniających się w czasie.

Analizę metodą mikrostanów można zastosować zarówno w przypadku sygnału ciągłego (np. rejestracja spoczynkowa), jak i w bioelektrycznej odpowiedzi mózgu związanej z pojawieniem się bodźca (np. potencjały związane z określonym zdarzeniem). Kroki analizy w obu przypadkach są podobne. Główną różnicą między mikrostanami w stanie spoczynku a mikrostanami ERP jest to, że tylko w tym drugim przypadku należy wziąć pod uwagę polaryzację mapy, ponieważ reprezentuje ona określone komponenty ERP, ich dynamikę czasową i rozmieszczenie na głowie. W przypadku analizy spontanicznej aktywności elektrofizjologicznej mózgu, przeciwnie, znak dipoli jest ignorowany, ponieważ mapy odzwierciedlające aktywność poszczególnych źródeł, mimo odwróconej polaryzacji, często mają zbliżoną topografię, która jest właściwym wskaźnikiem danego wzorca aktywności (Michel i in., 2009).

Analiza mikrostanów w badaniach różnic indywidualnych

Analiza mikrostanów stanowi nowy, istotny wkład w obszarze badań nad neuronalnymi korelatami różnic indywidualnych. Jak dotąd można wskazać zaledwie kilka publikacji z prób zastosowania tego podejścia do badania różnic w zakresie wieku, płci, zdrowia psychicznego, osobowości, biegłości w posługiwaniu się językiem obcym oraz inteligencji, a także różnic w zakresie tak specyficznych doświadczeń jak medytacja (Bailey i in., 2019; Koenig i in., 1999; Santarnecchi i in., 2017; Schlegel, Lehmann, Faber, Gianotti, 2012; Soni, Muthukrishnan, Samanchi, Sood, Kaur, 2019; Strelets i in., 2003; Tomescu i in., 2014; Tomescu i in., 2018; Tomescu i in., 2015).

Różnice związane z płcią i wiekiem. Jak dotąd tylko w dwóch badaniach podjęto próbę sprawdzenia tego, jak zmieniają się mikrostany spontanicznej aktywności mózgu wraz z rozwojem jednostki (Koenig i in., 2002; Tomescu i in., 2018). Ponadto tylko w jednym z nich uwzględniono różnice między kobietami i mężczyznami (Tomescu i in., 2018). Wykazano, że poszczególne fazy rozwoju charakteryzują się odmiennymi profilami mikrostanów. Na przykład czas trwania oraz częstość występowania mikrostanu C i D podczas spoczynkowej aktywności mózgu wzrastają od dzieciństwa aż do dorosłości, podczas gdy czas trwania innych klas mikrostanów, mniej symetrycznych pod względem topografii, maleje z wiekiem (Koenig i in., 2002; Tomescu i in., 2018). Tomescu i in. (2018) wykazali też szereg innych prawidłowości związanych z czynnikami płci i wieku. Zmiany we wzorcu przechodzenia od jednej klasy mikrostanów do drugiej (zmiany w tzw. syntaksie) demonstrowują ten sam efekt: liczba przejść od mikrostanu C do D oraz z D do C wzrasta w czasie okresu dojrzewania i stabilizuje się w dorosłości. Dodatkowo warto podkreślić, że czas trwania mikrostanu C jest istotnie dłuższy u kobiet w porównaniu z mężczyznami, podczas gdy częstość pojawiania się mikrostanu D jest większa u mężczyzn niż w grupie kobiet. W odmienny sposób różnice te kształtują się podczas różnych faz rozwojowych w przypadku mężczyzn i kobiet. W tym kontekście znaczenia mogą nabierać nie tylko różnice w strukturze anatomicznej mózgu między kobietami i mężczyznami, ale także fluktuacje poziomu hormonów podczas dojrzewania. Jak dotąd nie badano jednak związku charakterystyk mikrostanów i ich przejść ze stężeniem hormonów płciowych. Takie ujęcie mogłoby pozwolić na wgląd w mechanizmy kształtujące wyższą podatność kobiet na takie zaburzenia jak depresja lub inne zaburzenia afektywne.

Powiązane z wiekiem zmiany i ich odmienność w przypadku mężczyzn i kobiet mogą też odzwierciedlać etapy rozwoju poznawczego oraz zmiany w znaczeniu poszczególnych sieci neuronalnych w funkcjonowaniu poznawczym człowieka (reprezentowanych przez symetryczne topografie mikrostanów C i D). Znaczenie takiego stabilnego wzorca dynamiki czasowo-przestrzennej ujawnia się natomiast szczególnie wyraziście przez porównanie go z tym obecnym w populacjach klinicznych.

Markery chorób neurologicznych i psychiatrycznych. Odmienność dynamiki czasowo-przestrzennej aktywności spoczynkowej mózgu reprezentowanej przez poszczególne mikrostany oraz ich przejścia od jednej do kolejnej klasy szczególnie wyraźnie zarysowuje się w przypadku zaburzeń neurologicznych, neurorozwojowych i psychiatrycznych, takich jak choćby demencja czy schizofrenia (Koenig i in., 1999; Lehmann i in., 2005; Nishida i in., 2013; Soni i in., 2019; Strelets i in., 2003; Tomescu i in., 2014; Tomescu i in., 2015). Na przykład czas trwania mikrostanu C jest istotnie krótszy w przypadku demencji (Nishida i in., 2013), zaś krótszy czas trwania tych z klasy B i D oraz wyższa częstość C jest charakterystyczna dla schizofrenii (Koenig i in., 1999; Lehmann i in., 2005; Nishida i in., 2013; Rieger, Diaz Hernandez, Baenninger, Koenig, 2016; Strelets i in., 2003; Tomescu i in., 2015). Ponadto mikrostan B charakteryzuje się inną topografią w przypadku pacjentów w porównaniu do osób zdrowych (Lehmann i in., 2005; Strelets i in., 2003). Co więcej, zmiany w charakterystykach mikrostanów spontanicznej aktywności mózgu oraz mikrostanów powiązanych z wystąpieniem zdarzenia mogą być endofenotypowym markerem schizofrenii u pacjentów, ale także u ich krewnych w pierwszej linii (Soni i in., 2019; Tomescu i in., 2015). Zaburzenia dynamiki rejestrowane w postaci zmian w charakterystykach mikrostanów ujawniają deficyty w działaniu sieci neuronalnych powiązanych z aktywnością spoczynkową. Skuteczne oddziaływanie farmakologiczne lub inne interwencje terapeutyczne normalizują zmienioną dynamikę, a tym samym ograniczają występowanie objawów schizofrenii (Rieger i in., 2016).

Podsumowując, mikrostany EEG mogą potencjalnie służyć jako marker diagnostyczny wielu zaburzeń. Niezbędne jednak są dalsze badania w celu potwierdzenia tych wyników.

Atomy myśli. Mikrostany nazywane są również „atomami myśli”, ponieważ wielokrotnie pokazywano ich związki z różnymi stanami umysłu i typami rozumowania (Lehmann, Strik, Henggeler, Koenig, Koukkou, 1998). Zadania

angażujące myślenie indukcyjne, analizę relacji przestrzennych, wizualizację (Milz i in., 2016; Zappasodi i in., 2019) oraz werbalizację (np. Milz i in., 2016) czy świadomość własnego ciała (Pipinis i in., 2017) są odmiennymi stanami mentalnymi lub odmiennymi typami myślenia. One zaś angażują sieci neuronalne charakterystyczne dla mikrostanów identyfikowanych podczas spoczynku. Milz i in. (2016) wykazali, że poszczególne mikrostany aktywności mózgu w stanie spoczynku pozwalają odróżniać stany psychiczne od siebie i od aktywności mózgu podczas samego tylko stanu czuwania. Zaobserwowano, że charakterystyki mikrostanu A zmieniały się, tj. wartości parametrów wzrastały podczas wizualizacji, dla B – podczas werbalizacji i dla klasy D – odpoczynku (bez zadania). Czas trwania, proporcja pokrycia skalpu i częstość występowania mikrostanu D były znacznie wyższe podczas wykonywania zadania polegającego na odejmowaniu, a jednocześnie – w tym samym zadaniu – zaobserwowano spadek wartości parametrów mikrostanu C (Seitzmann i in., 2017).

W najnowszych badaniach (Zappasodi i in., 2019), ochotnicy podczas rejestracji EEG wykonywali m.in. zadanie angażujące płynne rozumowanie. Na podstawie cech mikrostanów udało się zróżnicować aktywność charakterystyczną dla rozumowania indukcyjnego, analizy relacji przestrzennych oraz wizualizacji. Okazało się, że ogólny udział mikrostanu D w całym przebiegu istotnie wzrósł, a ogólny udział mikrostanu A zmalał podczas analizy relacji przestrzennych. W przypadku wizualizacji, analizy relacji przestrzennych – w porównaniu z myśleniem indukcyjnym – zaobserwowano natomiast wzrost ogólnego udziału mikrostanu B w całkowitym przebiegu, a w odniesieniu do mikrostanu C – spadek.

We wcześniejszych badaniach (Zhang, Cao, Shi, 2016) sprawdzano z kolei różnice w cechach mikrostanów w stanie spoczynku między uzdolnionymi matematycznie i nieuzdolnionymi w tym zakresie podczas wykonywania zadania opartego na rozumowaniu. Topografie i parametry czterech klas mikrostanów różniły się znacznie między grupami, jednak mapy mikrostanów zostały niepoprawnie przypisane do czterech dobrze znanych klas. Mianowicie mikrostan A należy zidentyfikować jako mikrostan C, klasa B powinna być klasą D, A – C, zaś D – B w porównaniu z topografiami przedstawionymi na przykład przez Britz i in. (2010) czy Pipinis i in. (2017). Niepoprawne przypisanie prowadzi bowiem do nieprawidłowych interpretacji.

Relacja między mikrostanami EEG i inteligencją płynną (Gf) została dotychczas sprawdzona tylko w jednym badaniu. Santarnecchi i in. (2017)

stwierdzili odwrotny związek między Gf a częstotliwością występowania mikrostanów B i C. Ponadto trening poznawczy, który poprawiał wyniki w testach mierzących zdolności płynnego rozumowania, wpłynął również na zmiany w topografii mikrostanu C.

Inne różnice indywidualne, umysł społeczny i błędy poznawcze. Jedyne dotychczas opublikowane wyniki analizy mikrostanów podczas aktywności spoczynkowej w badaniach nad osobowością pokazały różnice między sceptykami i wyznawcami zjawisk paranormalnych (Schlegel i in., 2012). Różnice między tymi grupami w parametrach mikrostanów w spoczynku polegały na wzroście proporcji pokrycia skalpu i występowania mikrostanu B oraz redukcji tych samych parametrów mikrostanu C w grupie wierzących w zjawiska paranormalne. Ponadto przedstawiciele tej populacji wykazywali odwrotny wzorec przejścia z jednej topografii do drugiej w porównaniu do sceptyków.

Z kolei Bailey i in. (2019) badali, w jaki sposób praktyka medytacji (uwagi) wpływa na uwagę i funkcje wykonawcze. Wykazali, że grupa kontrolna i osoby trenujące medytację istotnie różniły się w zakresie charakterystyki komponentu P3. W grupie kontrolnej, podczas wykonywania prób „GO” w zadaniu „GO/NOGO” można było zaobserwować występowanie komponentu P3b (podtyp P3 rejestrowany z odprowadzeń ciemieniowych), a podczas prób „NOGO” komponent P3a (rejestrowany z obszarów czołowo-środkowych), który wiąże się z procesami hamowania odpowiedzi. Analiza mikrostanów pokazała, że medytujący mają krótszą i słabszą aktywność powiązaną z mikrostanem korespondującym z P3b, ponieważ jest częściowo zastąpiona przez przedłużoną aktywność powiązaną z mikrostanem korespondującym z P3a. Co ciekawe, przesunięcie komponentu P3 w kierunku czołowym (większa aktywność powiązaną z mikrostanem korespondującym z P3a) wiązała się raczej z lepszą kontrolą uwagi niż hamowaniem odpowiedzi i prawdopodobnie wynik ten wskazuje na to, że osoby trenujące medytację wkładają mniej wysiłku w wykonanie zadania.

Interesującym zastosowaniem analizy mikrostanów ERP jest próba opisanie z ich pomocą czasowej organizacji procesów poznawczych towarzyszących poznaniu społecznemu, w szczególności utajonemu (Schiller i in., 2016). *Test utajonych skojarzeń* (*Implicit Association Test*, IAT) jest szeroko stosowanym narzędziem w badaniach utajonych postaw (przede wszystkim rasowych, narodowych, ale także związanych z wiekiem, orientacją seksualną, otyłością oraz postaw konsumenckich; metaanaliza: Kurdi i in., 2018). Metoda ta budzi

jednak szereg kontrowersji ze względu na nieprecyzyjną definicję mierzonego konstruktu, czyli postawy utajonej. Narzędzie IAT porównuje czas reakcji kategoryzowania bodźców powiązanych z pewną kategorią i bodźców z tą kategorią niepowiązanych. Czas reakcji (latencja odpowiedzi) jest tu traktowany jako wskaźnik poziomu zautomatyzowania procesu przetwarzania informacji i wiąże się ze wzbudzeniem afektu powiązanego z utajoną postawą. Zgodność afektywna bodźców powoduje skrócenie czasu reakcji, a niezgodność – jego wydłużenie.

W świetle dostępnej literatury pozostaje nadal niejasne, czy efekt IAT wynika z zaangażowania dodatkowych procesów poznawczych, czy też z faktu, że ludzie potrzebują więcej czasu na podjęcie decyzji. W badaniach przeprowadzonych przez Schillera i in. (2016) podjęto próbę rozwiązania tej kwestii z wykorzystaniem analizy mikrostanów. Zbadano osoby identyfikujące się z określoną grupą społeczną, w tym przypadku fanów piłki nożnej i zwolenników jednej z frakcji politycznych. Określono najpierw, jak silnie uczestnicy automatycznie kojarzą grupę własną i grupę obcą ze słowami wartościowanymi pozytywnie i negatywnie. Następnie proszono ich o szybkie i poprawne klasyfikowanie słów należących do czterech kategorii: grupa własna (np. nazwiska piłkarzy z ulubionego klubu piłkarskiego), grupa obca (np. nazwiska piłkarzy z klubu piłkarskiego rywala), pozytywne (np. „miłość”) i negatywne (np. „śmierć”), a podczas wykonywania tego zadania rejestrowano EEG.

Autorzy wykazali, że wszystkie analizowane procesy zachodziły w tej samej sekwencji w obu warunkach – spójnym i niespójnym (spójnym, to znaczy w sytuacji, kiedy występowała zgodność afektywna między klasyfikowanymi słowami a skojarzeniami z grupą własną lub grupą obcą; niespójnym – kiedy występowała niezgodność afektywna między klasyfikowanymi słowami a skojarzeniami z grupą własną lub grupą obcą), ale badani potrzebowali więcej czasu, aby przetworzyć percepcyjnie sytuację bodźcową oraz wdrożyć kontrolę poznawczą w celu wybrania reakcji motorycznej w warunku niespójnym w porównaniu z warunkiem spójnym. Wykazano również, że wydłużenie tego ostatniego procesu przyczynia się do pojawiania się indywidualnych różnic w utajonym poznaniu społecznym pod postacią zniekształceń poznawczych.

Wyniki te są interesujące, ponieważ pozwoliły znaleźć argumenty przemawiające przeciwko podejściu, które wyjaśnia efekt IAT jako wynik działania dodatkowych procesów w warunku niespójnym. W świetle analizy mikrostanów należałoby przyjąć tezę przemawiającą za wydłużeniem się czasu trwania analizowanych procesów.

Podsumowanie i kilka słów krytycznych

Mikrostany pozwalają na wgląd w czasoprzestrzenną dynamikę spontanicznej aktywności bioelektrycznej mózgu lub aktywności związanej ze zdarzeniem (zadaniem). Sugeruje się, że reprezentują one aktywność sieci neuronalnych podczas spoczynku lub wykonywania zadania, dzięki czemu umożliwiają porównanie wyników badania tego samego procesu z użyciem dwóch metod: EEG i fMRI. Kluczową sprawą jest jednak prawidłowe zidentyfikowanie klas mikrostanów.

Wzrasta liczba badań z wykorzystaniem analizy mikrostanów, jak również tych nad samymi mikrostanami, ale też rozszerza się obszar poszukiwań nad zastosowaniem tego podejścia w psychologii klinicznej oraz naukach medycznych i społecznych. Udokumentowano różnice w charakterystykach mikrostanów oraz w ich syntaksie podczas aktywności spoczynkowej związane z wiekiem i płcią osób badanych. Informacje te należy wziąć pod uwagę podczas badania różnic indywidualnych, takich jak inteligencja i osobowość, w dużych i różnorodnych próbach (obejmujących różne grupy wiekowe). Wielokrotnie wykazywano związek między różnicami indywidualnymi a kształtem ERP, jednak jak dotąd w żadnym z badań nie podjęto próby powiązania wymiarów różnic indywidualnych z charakterystykami mikrostanów powiązanych ze zdarzeniem. Mikrostan ERP mogą mieć przewagę nad tradycyjną analizą kształtu ERP w badaniach różnic indywidualnych, ponieważ dostarczają nie tylko informacji czasowych, ale również przestrzennych (rozkład aktywności) ERP. Wyniki kilku ostatnich badań potwierdziły, że mikrostan w stanie spoczynku są przydatnym i obiecującym narzędziem w badaniach inteligencji i osobowości. Przyrasta też liczba takich badań w zastosowaniach klinicznych. Analizowanie mikrostanów podczas spoczynku i mikrostanów ERP w przyszłych badaniach może pozwolić na wgląd w mechanizmy warunkujące różnice indywidualne.

Na koniec należy jednak wspomnieć o pewnej słabości omawianej metody. Analiza mikrostanów opiera się na kilku ogólnych założeniach, które mogą stanowić o jej ograniczeniach. Mianowicie zakłada się, że mózg „przełącza się” pomiędzy dyskretnymi stanami, które zdefiniowane są jako stabilne topografie na skalpie w postaci pików całkowitej mocy pola – GFP. Oznacza to jednak, że analiza ta zaniedbuje każdą aktywność poza tą składającą się na opisane tu quasi-stabilne topografie. Co więcej, implikuje to również, że w danym momencie możemy mieć do czynienia wyłącznie z jednym mikro-

stanem. Shaw, Dhindsa, Reilly i Becker (2019) postulują zastosowanie metod układów złożonych w celu opisanie dynamiki uwzględniającej aktywność poza stabilnymi topografiami. Biorąc ich wstępne rezultaty pod uwagę, może to oznaczać podważenie separowalności klas mikrostanów, rozumianych w klasyczny sposób.

Literatura cytowana

- Antonova, I., Bänninger, A., Dierks, T., Griskova-Bulanova, I., Koenig, T., Kohler, A. (2015). Differential recruitment of brain networks during visuospatial and color processing: Evidence from ERP microstates. *Neuroscience*, 305, 128–138. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2015.07.078>
- Antonova, I., van Swam, C., Hubl, D., Dierks, T., Griskova-Bulanova, I., Koenig, T. (2016). Reaction time in a visual 4-choice reaction time task: ERP effects of motor preparation and hemispheric involvement. *Brain Topography*, 29(4), 491–505. <https://doi.org/10.1007/s10548-016-0473-7>
- Bailey, N. W., Freedman, G., Raj, K., Sullivan, C. M., Rogash, N. C., Chung, S. W., ..., Fitzgerald, P. B. (2019). Mindfulness meditators show altered distributions of early and late neural activity markers of attention in a response inhibition task. *PLoS ONE*, 14(8), e0203096. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0203096>
- Barbey, A. K. (2018). Network neuroscience theory of human intelligence. *Trends in Cognitive Sciences*, 22(1), 8–20. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2017.10.001>
- Boogert, N. J., Madden, J. R., Morand-Ferron, J., Thornton, A. (2018). Measuring and understanding individual differences in cognition. *Philosophical Transactions of The Royal Society B Biological Sciences*, 373(1756), 20170280. <https://doi.org/10.1098/rstb.2017.0280>
- Brandeis, D., Lehmann, D., Michel, C. M., Mingrone, W. (1995). Mapping event-related brain potential microstates to sentence endings. *Brain Topography*, 8(2), 145–159. <https://doi.org/10.1007/BF01199778>
- Britz, J., Van De Ville, D., Michel, C. M. (2010). BOLD correlates of EEG topography reveal rapid resting-state network dynamics. *NeuroImage*, 52(4), 1162–1170. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.02.052>
- Corr, P. J., Mobbs, D. (2018). From epiphenomenon to biologically important phenomena. *Personality Neuroscience*, 1, e1, 1–4. <https://doi.org/10.1017/pen.2017.1>
- Custo, A., Van De Ville, D., Wells, W. M., Tomescu, M. I., Brunet, D., Michel, C. M. (2017). Electroencephalographic resting-state networks: Source localization of microstates. *Brain Connectivity*, 7(10), 671–682. <https://doi.org/10.1089/brain.2016.0476>

- Fillingim, R. B. (2017). Individual differences in pain: Understanding the mosaic that makes pain personal. *Pain*, 158(Suppl 1), S11–S18. <https://doi.org/10.1097/j.pain.0000000000000775>
- Finn, E. S., Shen, X., Scheinost, D., Rosenberg, M. D., Huang, J., Chun, M. M., ... Constable, R. T. (2015). Functional connectome fingerprinting: Identifying individuals using patterns of brain connectivity. *Nature. Neuroscience*, 18(11), 1664–1671. <https://doi.org/10.1038/nn.4135>
- Garrett, D. D., Samanez-Larkin, G. R., MacDonald, S. W. S., Lindenberger, U., McIntosh, A. R., Grady, C. L. (2013). Moment-to-moment brain signal variability: A next frontier in human brain mapping? *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 37(4), 610–624. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.02.015>
- Giroud, N., Lemke, U., Reich, P., Matthes, K. L., Meyer, M. (2017). Longitudinal auditory learning facilitates auditory cognition as revealed by microstate analysis. *Biological Psychology*, 123, 25–36. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2016.11.007>
- Harkness, A. R., Lilienfeld, S. O. (1997). Individual differences science for treatment planning: Personality traits. *Psychological Assessment*, 9(4), 349–360. <https://doi.org/10.1037/1040-3590.9.4.349>
- Hilger, K., Fukushima, M., Sporns, O., Fiebach, C. J. (2019). Temporal stability of functional brain modules associated with human intelligence. *Human Brain Mapping*, 41(2), 362–372. <https://doi.org/10.1002/hbm.24807>
- Khanna, A., Pascual-Leone, A., Farzan, F. (2014). Reliability of resting-state microstate features in electroencephalography. *PLoS ONE*, 9(12), e114163. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0114163>
- Khanna, A., Pascual-Leone, A., Michel, C. M., Farzan, F. (2015). Microstates in resting-state EEG: Current status and future directions. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 49, 105–113. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2014.12.010>
- Koenig, T., Lehmann, D., Merlo, M. C. G., Kochi, K., Hell, D., Koukkou, M. (1999). A deviant EEG brain microstate in acute, neuroleptic-naïve schizophrenics at rest. *European Archives of Psychiatry and Clinical Neuroscience*, 249(4), 205–211. <https://doi.org/10.1007/s004060050088>
- Koenig, T., Pascual-Marqui, R. D. (2009). Multichannel frequency and time-frequency analysis. W: C. M. Michel, T. Koenig, D. Brandeis, L. R. R. Gianotti, J. Wackermann (red.), *Electrical neuroimaging* (s. 145–168). Nowy Jork: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511596889.008>
- Koenig, T., Prichep, L., Lehmann, D., Sosa, P. V., Braeker, E., Kleinlogel, H., ..., John, E. R. (2002). Millisecond by millisecond, year by year: normative EEG microstates and developmental stages. *NeuroImage*, 16(1), 41–48. <https://doi.org/10.1006/nimg.2002.1070>
- Kurdi, B., Seitchik, A. E., Axt, J. R., Carroll, T. J., Karapetyan, A., Kaushik, N., ..., Banaji, M. R. (2019). Relationship between the Implicit Association Test and

- intergroup behavior: A meta-analysis. *American Psychologist*, 74(5), 569–586. <https://doi.org/10.1037/amp0000364>
- Lehmann, D. (1987). Principles of spatial analysis. W: A. Gevins, A. Rémond (red.), *Handbook of electroencephalography and clinical neurophysiology, t. 1: Methods of analysis of brain electrical and magnetic signals* (s. 309–354). Amsterdam: Elsevier.
- Lehmann, D., Faber, P. L., Galderesi, S., Herrmann, H. M., Kinoshita, T., Koukkou, M., ..., Koenig, T. (2005). EEG microstate duration and syntax in acute, medication-naïve, first-episode schizophrenia: A multi-center study. *Psychiatry Research: Neuroimaging*, 138(2), 141–156. <https://doi.org/10.1016/j.psychresns.2004.05.007>
- Lehmann, D., Ozaki, H., Pal, I. (1987). EEG alpha map series: Brain micro-states by space-oriented adaptive segmentation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 67, 271–288. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(87\)90025-3](https://doi.org/10.1016/0013-4694(87)90025-3)
- Lehmann, D., Skrandies, W. (1980). Reference-free identification of components of checkerboard-evoked multichannel potential fields. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 48(6), 609–621. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(80\)90419-8](https://doi.org/10.1016/0013-4694(80)90419-8)
- Lehmann, D., Strik, W. K., Henggeler, B., Koenig, T., Koukkou, M. (1998). Brain electric microstates and momentary conscious mind states as building blocks of spontaneous thinking: I. Visual imagery and abstract thoughts. *International Journal of Psychophysiology*, 29, 1–11. [https://doi.org/10.1016/s0167-8760\(97\)00098-6](https://doi.org/10.1016/s0167-8760(97)00098-6)
- Lubinski, D. (2000). Scientific and social significance of assessing individual differences: „Sinking shafts at a few critical points”. *Annual Review of Psychology*, 51, 405–444. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.51.1.405>
- Michel, C. M., Koenig, T. (2018). EEG microstates as a tool for studying the temporal dynamics of whole-brain neuronal networks: A review. *NeuroImage*, 180, 577–593. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.11.062>
- Michel, C. M., Koenig, T., Brandeis, D. (2009). Electrical neuroimaging in the time domain. W: C. M. Michel, T. Koenig, D. Brandeis, L. R. R. Gianotti, J. Wackermann, (red.), *Electrical neuroimaging* (s. 111–143). Nowy Jork: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511596889.007>
- Milz, P., Faber, P. L., Lehmann, D., Koenig, T., Kochi, K., Pascual-Marqui, R. D. (2016). The functional significance of EEG microstates – Associations with modalities of thinking. *NeuroImage*, 125, 643–656. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.08.023>
- Murray, M. M., Brunet, D., Michel, C. M. (2008). Topographic ERP analyses: A step-by-step tutorial review. *Brain Topography*, 20(4), 249–264. <https://doi.org/10.1007/s10548-008-0054-5>
- Nishida, K., Morishima, Y., Yoshimura, M., Isotani, T., Irisawa, S., Jann, K., ..., Koenig, T. (2013). EEG microstates associated with salience and frontoparietal networks in frontotemporal dementia, schizophrenia and Alzheimer’s disease. *Clinical Neurophysiology*, 124(6), 1106–1114. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2013.01.005>

- Pascual-Marqui, R. D., Michel, C., Lehmann, D. (1995). Segmentation of brain electrical activity into microstates: Model estimation and validation. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 42(7), 658–665. <https://doi.org/10.1109/10.391164>
- Pipinis, E., Melynyte, S., Koenig, T., Jarutyte, L., Linkenkaer-Hansen, K., Ruksenas, O., Griskova-Bulanova, I. (2017). Association between resting-state microstates and ratings on the Amsterdam resting-state questionnaire. *Brain Topography*, 30(2), 245–248. <https://doi.org/10.1007/s10548-016-0522-2>
- Poldrack, R. A. (2011). Inferring mental states from neuroimaging data: From reverse inference to large-scale decoding. *Neuron*, 72, 692–697. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2011.11.001>
- Rieger, K., Diaz Hernandez, L., Baenninger, A., Koenig, T. (2016). 15 years of microstate research in schizophrenia – Where are we? A meta-analysis. *Frontiers in Psychiatry*, 7, 20. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2016.00022>
- Rokach, L., Maimon, O. (2005). Clustering methods. W: L. Rokach, O. Maimon (red.), *Data mining and knowledge discovery handbook* (s. 321–352). Boston: Springer. <https://doi.org/10.1007/b107408>
- Ruggeri, P., Meziane, H. B., Koenig, T., Brandner, C. (2019). A fine-grained time course investigation of brain dynamics during conflict monitoring. *Scientific Reports*, 9, 3667. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-40277-3>
- Santaracchi, E., Khanna, A., Musaeus, C. S., Benwell, C. S., Davila, P., Farzan, F., ..., Honeywell SHARP Team authors (2017). EEG microstate correlates of fluid intelligence and response to cognitive training. *Brain Topography*, 30(4), 502–520. <https://doi.org/10.1007/s10548-017-0565-z>
- Schiller, B., Gianotti, L. R. R., Baumgartner, T., Nash, K., Koenig, T., Knoch, D. (2016). Clocking the social mind by identifying mental processes in the IAT with electrical neuroimaging. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(10), 2786–2791. <https://doi.org/10.1073/pnas.1515828113>
- Schlegel, F., Lehmann, D., Faber, P. L., Gianotti, L. R. (2012). EEG microstates during resting represent personality differences. *Brain Topography*, 25(1), 20–26. <https://doi.org/10.1007/s10548-011-0189-7>
- Seitzmann, B. A., Abell, M., Bartley, S. C., Erickson, M. A., Bolbecker, A. R., Hetrick, W. P. (2017). Cognitive manipulation of brain electric microstates. *NeuroImage*, 146, 533–543. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.10.002>
- Shaw, S. B., Dhindsa, K., Reilly, J. P., Becker, S. (2019). Capturing the forest but missing the trees: Microstates inadequate for characterizing shorter-scale EEG dynamics. *Neural Computation*, 31(11), 2177–2211. https://doi.org/10.1162/neco_a_01229
- Soni, S., Muthukrishnan, S. P., Samanchi, R., Sood, M., Kaur, S. (2019). Pre-trial and pre-response EEG microstates in schizophrenia: An endophenotypic marker. *Behavioural Brain Research*, 371, 111964. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2019.111964>

- Stein, M., Dierks, T., Brandeis, D., Wirth, M., Strik, W., Koenig, T. (2006). Plasticity in the adult language system: A longitudinal electrophysiological study on second language learning. *NeuroImage*, 33, 774–783. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2006.07.008>
- Stern, E. (2017). Individual differences in the learning potential of human beings. *npj Science of Learning*, 2, 2. <https://doi.org/10.1038/s41539-016-0003-0>
- Strelets, V., Faber, P. L., Golikova, J., Novototsky-Vlasov, V., Koenig, T., Gianotti, L. R., ..., Lehmann, D. L. (2003). Chronic schizophrenics with positive symptomatology have shortened EEG microstate durations. *Clinical Neurophysiology*, 114(11), 2043–2051. [https://doi.org/10.1016/s1388-2457\(03\)00211-6](https://doi.org/10.1016/s1388-2457(03)00211-6)
- Tompson, S., Falk, E. B., Vettel, J. M., Bassett, D. S. (2018). Network approaches to understand individual differences in brain connectivity: Opportunities for personality neuroscience. *Personality Neuroscience*, 1, e5. <https://doi.org/10.1017/pen.2018.4>
- Tomescu, M. I., Rihs, T. A., Becker, R., Britz, J., Custo, A., Grouiller, F., ..., Michel, C. M. (2014). Deviant dynamics of EEG resting state pattern in 22q11.2 deletion syndrome adolescents: A vulnerability marker of schizophrenia? *Schizophrenia Research*, 157(1–3), 175–181. <https://doi.org/10.1016/j.schres.2014.05.036>
- Tomescu, M. I., Rihs, T. A., Rochas, V., Hardmeier, M., Britz, J., Allali, G., ..., Michel, C. M. (2018). From swing to cane: Sex differences of EEG resting-state temporal patterns during maturation and aging. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 31, 58–66. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2018.04.011>
- Tomescu, M. I., Rihs, T. A., Roinishvili, M., Karahanoglu, I., Schneider, M., Menghetti, S., ..., Cappeh, C. (2015). Schizophrenia patients and 22q11.2 deletion syndrome adolescents at risk express the same deviant patterns of resting state EEG microstates: A candidate endophenotype of schizophrenia. *Schizophrenia Research: Cognition*, 2(3), 159–165. <https://doi.org/10.1016/j.scog.2015.04.005>
- Van Essen, D. C., Smith, S. M., Barch, D. M., Behrens, T. E. J., Yacoub, E., Ugurbil, K., WU-Minn HCP Consortium (2013). The WU-Minn Human Connectome Project: An overview. *NeuroImage*, 80, 62–79. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2013.05.041>
- Yarkoni, T., Braver, T. S. (2010). Cognitive neuroscience approaches to individual differences in working memory and executive control: Conceptual and methodological issues. W: A. Gruszka, G. Matthews, B. Szymura (red.), *The Springer series on human exceptionality. Handbook of individual differences in cognition: Attention, memory, and executive control* (s. 87–107). Nowy Jork: Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1210-7_6
- Yeo, T. B. T., Krienen, F. M., Sepulcre, J., Sabuncu, M. R., Lashkari, D., Hollinshead, M., ..., Buckner, R. L. (2011). The organization of the human cerebral cortex estimated

- by intrinsic functional connectivity. *Journal of Neurophysiology*, 106(3), 1125–1165. <https://doi.org/10.1152/jn.00338.2011>
- Zappasodi, F., Perrucci, M. G., Saggino, A., Croce, P., Mercuri, P., Romanelli, R., ..., Ebisch, S. J. (2019). EEG microstates distinguish between cognitive components of fluid reasoning. *NeuroImage*, 189, 560–573. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2019.01.067>
- Zhang, L., Cao, M., Shi, B. (2016). Identifying gifted thinking activities through EEG microstate topology analysis. W: A. Hirose, S. Ozawa, K. Doya, K. Ikeda, M. Lee, D. Liu (red.), *Neural information processing. ICONIP 2016. Lecture Notes in Computer Science*, t. 9947 (s. 123–130). Cham: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-46687-3_13

SŁAWOMIR CZACHOWSKI¹, KRYSTIAN DEREZIŃSKI²,
MONIKA LEWANDOWSKA¹, RAFAŁ MILNER³,
EWA RATAJCZAK^{1,5}, MATEUSZ STAWICKI²,
WŁODZISŁAW DUCH^{4,5}

¹ Instytut Psychologii, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

² Instytutu Badań Informacji i Komunikacji, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

³ Światowe Centrum Słuchu, Instytut Fizjologii i Patologii Słuchu

⁴ Katedra Informatyki Stosowanej Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

⁵ Interdyscyplinarne Centrum Nowoczesnych Technologii, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

EEG-Neurofeedback w terapii bólu przewlekłego: aktualny stan wiedzy i dalsze kierunki badań

Sposób cytowania: Czachowski, S., Dereziński, K., Lewandowska, M., Milner, R., Ratajczak, E., Stawicki, M., Duch, W. (2020). EEG-Neurofeedback w terapii bólu przewlekłego: aktualny stan wiedzy i dalsze kierunki badań. W: M. Trojan, M. Gut (red.), *Nowe technologie i metody w psychologii* (s. 281–298). Warszawa: Liberi Libri. <https://doi.org/10.47943/lib.9788363487430.rozdzial13>

Ból przewlekły, zwłaszcza pierwotny, utrzymujący się przez co najmniej sześć miesięcy, stanowi istotny problem w procesach diagnostyki i długotrwałej terapii. Związany jest z wysokimi kosztami opieki medycznej i dlatego stanowi ważne zagadnienie społeczne. Darnall (2018) podaje, że analizy kosztów diagnostyki i terapii dotyczące pacjentów bólowych sięgają w USA 630 mld dolarów rocznie. Nie są one jedynie związane z opłatami za badania i leczenie, ale także z przyjmowaniem dużej ilości leków opioidowych oraz mniejszą efektywnością pacjentów w pracy. Suma ta jest porównywalna z całkowitym budżetem obronnym Stanów Zjednoczonych i stanowi silny kontrast z wydatkami na badania (500 mln USD). Badania epidemiologiczne przeprowadzone wśród populacji krajów Europy i Stanów Zjednoczonych wskazują, że liczba osób zgłaszających przewlekłe dolegliwości bólowe waha się od 25,9% (Smith, Torrance, 2011) do 27% (Leadley, Armstrong, Lee, Allen, Kleijnen, 2012). Breivik, Collett, Vantafredda, Cohen i Gallacher (2006) w badaniach sondażowych wykonanych w 15 krajach Europy, obejmujących 46 394 pacjentów, stwierdzili, że najwyższa zachorowalność występuje w Norwegii i Polsce (27%), a najniższa w Wielkiej Brytanii i Hiszpanii (11%).

Najczęstszymi przyczynami bólu przewlekłego, według badań ankietowych przeprowadzonych w Polsce (Kocot-Kępska, Dobrogowski, Zdziechowska, Czyżak, 2015), są: choroba zwyrodnieniowa stawów, bóle głowy różnego pochodzenia, funkcjonalne zespoły bólowe (np. fibromialgia, bóle krzyża), bóle spowodowane spastycznością mięśni oraz ból neuropatyczny. Istotny jest również fakt, że u części pacjentów występuje ból niereceptorowy, pierwotny, bez towarzyszących cech uszkodzenia tkanek, ale odnoszony przez pacjenta do takiego uszkodzenia, określanej jako ból psychogeny (Wordliczek, Dobrogowski, 2017). Manifestowanie skarg somatycznych, bez uchwytnej przyczyny organicznej, stanowi duże wyzwanie dla klinicystów, zwłaszcza że współwystępują one z innymi zaburzeniami, takimi jak: depresja, lęk czy choroby związane ze stresem (Pedraza, 2019). Leczenie przewlekłego bólu odbywa się za pomocą środków farmakologicznych, interwencji chirurgicznych, a gdy te okazują się nieskuteczne, pacjenci mogą skorzystać z niekonwencjonalnych form terapii, takich jak: medytacja, hipnoza, psychoterapia, biologiczne sprzężenie zwrotne, EEG-neurofeedback (Jensen, Gertz i in., 2013; Thompson, Thompson, 2015).

Klasyfikacja bólu przewlekłego

Definicja bólu obejmuje „nieprzyjemne doznania czuciowe i emocjonalne, związane z obecnym lub potencjalnym uszkodzeniem tkanki” (International Association for the Study of Pain, 2020, par. 1). Zgłaszane przez pacjentów objawy wynikają z ich psychicznej interpretacji zjawisk, modyfikowanych przez wcześniejsze doznania i uwarunkowania psychosomatyczne (Wordliczek, Dobrogowski, 2017). Szczegółowe kryteria tych doznań opisuje *Międzynarodowa Statystyczna Klasyfikacja Chorób i Problemów Zdrowotnych ICD-10 (International Classification of Diseases 10th Revision)* pod postacią uporczywych bólów różnego pochodzenia, w tym bólów psychogennych (F45.4) (Pużyński, Wciórka, 1998). Światowa Organizacja Zdrowia WHO (World Health Organization) zapowiada nową wersję ICD-11, która będzie obowiązywała w Polsce od 2021 roku. Odrębną klasyfikację objawów przebiegających z somatyzacją proponują amerykańskie Kryteria Diagnostyczne DSM-5, które ujmują je w formie zaburzeń pod postacią somatyczną (SSD – 300.82) (American Psychiatric Association, 2013). Ważnym podziałem przewlekłych zespołów bólowych jest klasyfikacja IASP (International Association for the Study of Pain, 2020), która wyróżnia 320 różnych postaci bólu. Istotnym etapem procesu klasyfikowania i wyjaśniania zaburzeń przebiegających z somatyzacją jest polska adaptacja kryteriów oceny Psychologicznych Czynniki Oddziaływujących na Stan Somatyczny (DCPR-R SSI) (Basińska, Woźniewicz, 2016). Autorzy tej klasyfikacji zebrali – w postaci wywiadu ustrukturalizowanego – 12 syndromów, wyodrębnionych w podgrupach: nieprawidłowe zachowania sprzyjające chorobie, somatyzacja, drażliwość, zespół zaniechania/rezygnacji oraz aleksytymia. Kryteria włączenia poszczególnych cech zostały przedstawione w postaci szczegółowych kryteriów (Fava, Cosci, Sonino, 2017).

W ostatnich latach obserwować można próby stworzenia nowego podziału zaburzeń psychicznych, również tych z towarzyszącym bólem przewlekłym. Zbudowany jest on na systemowym wykorzystaniu objawów na wszystkich poziomach – od genów po zachowanie (Insel i in., 2010). Proces ten, rozpoczęty przez Narodowy Instytut Zdrowia Psychicznego w USA, doprowadził do utworzenia nowego modelu – Research Domain Criteria (RDoC). Obejmuje on opis sześciu systemów odpowiedzialnych za funkcjonowanie mózgu. Należą do nich następujące obszary funkcjonalne: I) domena negatywnych wartości (strach, lęk, frustracja, przewlekły stres), II) domena pozytywnych wartości (reakcje na bodźce motywujące do działania, szukanie przyjemności), III)

domena procesów odpowiedzialnych za funkcje poznawcze (uwaga, percepcja, pamięć), IV) domena procesów kontrolujących zachowania społeczne (komunikacja), V) domena procesów pobudzania i regulacji organizmu (czuwanie, sen, rytmy okołodobowe) oraz VI) systemy odpowiedzialne za działania sensomotoryczne (planowanie działań, ruch). Badania naukowe dotyczące głównie obszaru trzeciego w zakresie odczuwania dolegliwości bólowych, budzą nadzieje w zakresie nowych – nefarmakologicznych – metod terapeutycznych (Röhricht, Sattel, Kuhn, Lahmann, 2019).

EEG-Neurofeedback

Proces percepcji bólu jest nadal przedmiotem wielu badań w obszarze diagnostyki i terapii (Bismuth, Vialatte, Lefaucheur, 2020). W przypadku uchwytnej przyczyny bólu można skutecznie zastosować odpowiednią formę leczenia (farmakoterapię, zabiegi chirurgiczne) natomiast w sytuacji, gdy źródło bólu nie jest w pełni poznane, szczególnie przydatne mogą okazać się niespecyficzne metody oddziaływania terapeutycznego, a wśród nich EEG-Neurofeedback (EEG-NF; Thompson, Thompson, 2015).

Przed rozpoczęciem treningu EEG-NF rejestruje się przy pomocy elektrod rozmieszczonych na powierzchni głowy aktywność bioelektryczną (EEG) mózgu w stanie spoczynkowym, gdy dana osoba nie wykonuje żadnego konkretnego zadania. Na podstawie wyników tego badania można uzyskać różne parametry sygnału EEG, np. wartości amplitudy czy mocy poszczególnych pasm częstotliwości (fal mózgowych; por. rysunek 1). W oparciu o powyższe charakterystyki opracowano tzw. bazy normatywne, np. Brain DX (John i in., 1980) czy Neuroguide (Thatcher, Lubar, 2009), które powstają poprzez uśrednienie wyników uzyskanych w relatywnie dużych grupach osób zdrowych, o określonej płci i wieku. Jeśli rezultaty badania EEG pacjenta znacząco odbiegają od tych wartości referencyjnych w zakresie przynajmniej jednego pasma częstotliwości, można zastosować trening EEG-NF w celu „normalizacji” spoczynkowego zapisu fal mózgowych w nadziei, że jeśli uda się uzyskać ten efekt, stan pacjenta ulegnie poprawie. Odchylenia od parametrów EEG, zawartych w bazach normatywnych, stwierdzono w różnych dysfunkcjach ośrodkowego układu nerwowego, np. w ADHD, depresji czy zespołach otępiennych (Thatcher, Lubar, 2009).

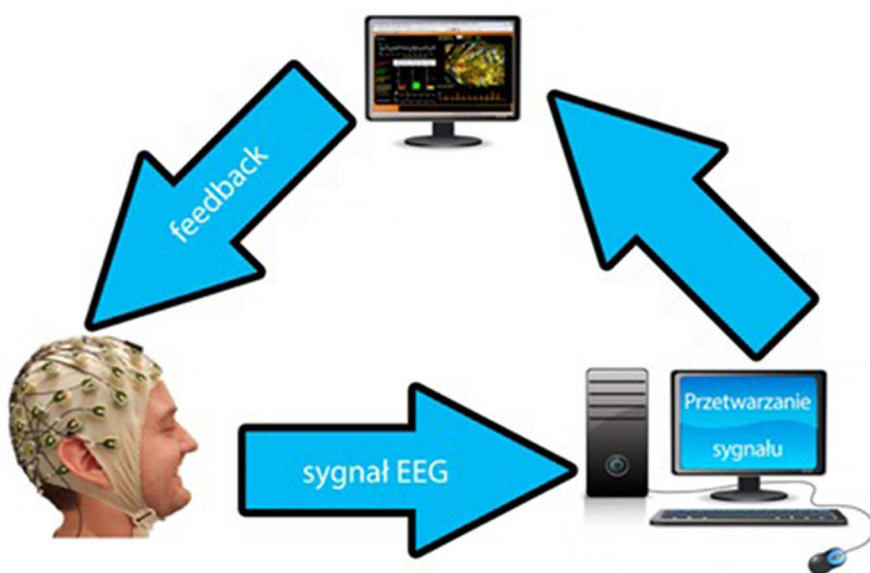
delta	theta	alfa	SMR	niska beta	wysoka beta	gamma
0-4 Hz	4-8 Hz	8-12 Hz	12-15 Hz	13-21 Hz	21-35 Hz	35-45 Hz
głęboki sen	rozkojarzenie	stan relaksacji	stan czujności umysłowej, relaksacja fizyczna	koncentracja	stres, napięcie mięśniowe	proces poznawczy

Rysunek 1. Schemat rozkładu fal mózgowych w zależności od częstotliwości i stanu pobudzenia mózgu (opracowanie własne).

Metoda EEG-NF umożliwia autoregulację czynności bioelektrycznej mózgu, wykorzystując zjawisko warunkowania instrumentalnego (Gruzelier, Egner, 2005). Uczestnik treningu na bieżąco otrzymuje informację zwrotną o zmianach aktywności własnego mózgu w zrozumiałej dla niego formie, np. w postaci obrazu, dźwięku lub podczas oglądania filmu czy wykorzystania gry komputerowej (Hartmann, Lorenz, Weisz, 2011). Na przykład uczestnik treningu odbywa wirtualną podróż pociągiem, który porusza się tylko wówczas, gdy następuje zmiana w aktywności mózgu tej osoby w pożądanym kierunku. Gra zaprogramowana jest w taki sposób, aby zmieniała się dynamicznie w zależności od poziomu monitorowanego parametru EEG. Podczas kolejnych sesji treningowych osoba uczestnicząca „obserwuje” pracę swojego mózgu i uczy się samodzielnie zmieniać jego aktywność. Schemat działania aparatury stosowanej w treningu EEG-NF przedstawiono na rysunku 2.

Przewaga treningu EEG-NF nad innymi formami neuromodulacji, np. metodą przeczaszkowej stymulacji prądem bezpośrednim (*transcranial direct current stimulation*, tDCS), polega przede wszystkim na aktywnym uczestnictwie pacjenta w procesie terapii. Dzięki wykorzystaniu mechanizmu biologicznego sprzężenia zwrotnego pacjent uczy się kontrolować stan własnego umysłu i aktywność swojego mózgu. Umiejętności te może wykorzystać w sytuacjach życia codziennego, już bez pomocy urządzenia do treningów. Istotną zaletą tej metody jest również jej stosunkowo niski koszt, nieinwazyjność i możliwość zastosowania w poważnych chorobach neurologicznych np. w epilepsji, a także u osób po udarach czy urazach mózgu. Ograniczeniem EEG-NF jest natomiast niska rozdzielczość przestrzenna sygnału. W tradycyjnym, powszechnie stosowanym EEG-NF modulacja aktywności mózgu odbywa się poprzez rejestrację i prezentację zwrotną pacjentowi sygnału EEG nabywanego

z jednej lub dwóch elektrod umieszczanych na powierzchni głowy. W efekcie obszar oddziaływania metody jest mało precyzyjnie określony. W ostatnich latach coraz większą popularność zdobywa technika tzw. wielokanałowego EEG-NF, wykorzystująca wiele elektrod do rejestracji sygnału EEG (Michel, Brunet 2019). Dzięki zastosowaniu różnego typu algorytmów lokalizacji źródeł aktywności bioelektrycznej mózgu, metoda ta umożliwia modulację zmian czynności dokładniej zdefiniowanych obszarów kory mózgu, struktur podkorowych, jak również rozległych sieci wzajemnie połączonych ze sobą części.



Rysunek 2. Schemat działania aparatury do treningów EEG-Neurofeedback (opracowanie własne).

Spoczynkowy zapis EEG w bólu przewlekłym

U osób doświadczających bólu przewlekłego obserwowano nieprawidłowe wzorce spoczynkowej aktywności bioelektrycznej mózgu (np. de Vries i in., 2013; Fallon Chiu, Nurmikko, Stancak. 2018; Pinheiro i in., 2016; Ta Dinh i in., 2019). Celem badań EEG z udziałem tej grupy klinicznej była identyfikacja tzw. mózgowego markera bólu, czyli specyficznego dla tej dolegliwości wzorca aktywności mózgu, który byłby przydatny w diagnostyce, klasyfikacji,

prewencji i leczeniu bólu. U pacjentów obserwowano zwiększoną ekspresję fal wolnych, zwłaszcza w paśmie theta (Fallon i in. 2018; Pinheiro i in., 2016), jak również wzmocnione oscylacje wysokoczęstotliwościowe (gamma) w okolicach czołowych (May i in., 2019). Wyniki tych badań wyjaśniano w oparciu o model dysrytmii wzgórzowo-korowej (*thalamocortical dysrhythmia*; Llinás, Ribary, Jeanmonod, Kronberg, Mitra, 1999). Zgodnie z tą koncepcją, długotrwała hiperpolaryzacja komórek nerwowych wzgórza, wskutek odcięcia dopływu impulsów do ośrodków czuciowych w rdzeniu kręgowym (deafferentacja), powoduje wzmocnienie rytmu theta. Jest on generowany przez interneurony hamujące w korze mózgu i może sprzyjać zwiększonej ekspresji fal o wysokich częstotliwościach (> 30 Hz) w okolicznych regionach kory (tzw. „efekt krawędzi”, *edge effect*). Także wyniki najnowszych badań (Ta Dinh i in., 2019) z udziałem 101 pacjentów z przewlekłym bólem, wskazujące na zwiększoną synchronizację oscylacji w paśmie theta i gamma w obszarach czołowych mózgu, potwierdzają powyższą teorię. Nie zmienia to jednak faktu, że dotychczasowe badania EEG nie pozwalają zidentyfikować specyficznego dla chronicznego bólu wzorca aktywności spoczynkowej mózgu.

Oprócz zmian opisanych powyżej, bólowi chronicznemu towarzyszy m.in. zwiększona moc fal delta, theta, alfa i beta (Sarnthein i in., 2006). Odnotowano również wzmocniony rytm theta w tylnej wyspie i korze ciemieniowej przy obniżonej mocy fal theta w okolicy skroniowo-ciemieniowej i przedczołowej (Stern, Jeanmonod, Sarnthein, 2006). Publikacje przytaczają także zwiększoną ekspresję wyłącznie czynności alfa (van den Broeke, Wilder-Smith, van Goor, Vissers, van Rijn, 2013) lub gamma (May i in., 2019). Istnieją również badania, w których nie stwierdzono znaczących różnic w spontanicznej aktywności bioelektrycznej mózgu między pacjentami a osobami zdrowymi (Schmidt i in., 2012). Uważa się, że brak jednego wzorca aktywności mózgu w bólu przewlekłym może być powiązany z obecnością różnych objawów (np. upośledzeniem funkcji poznawczych) i chorób towarzyszących (np. depresji), jak również stosowaniem odmiennych strategii radzenia sobie z bólem (Prichep, Shah, Merkin, Hiesiger, 2018).

Protokoły treningu EEG-Neurofeedback stosowane w terapii bólu przewlekłego

W badaniach oceniających skuteczność metody EEG-NF w łagodzeniu bólu chronicznego scenariusze treningów ustalano głównie w oparciu o dotychczasowy stan wiedzy na temat nieprawidłowości w strukturze/funkcji

mózgu w tej grupie klinicznej. Ten sam protokół stosowano również u każdego badanego (Jensen, Gertz i in., 2013; Jensen, Sherlin i in., 2013; Kayiran i in., 2010). Kayiran (Kayiran i in., 2010) porównywał efektywność terapii farmakologicznej i treningu metodą EEG-Neurofeedback u pacjentów cierpiących na fibromialgię, czyli przewlekły ból mięśni i stawów spowodowany prawdopodobnie przez nadmierne pobudzenie struktur przewodzących ból w rdzeniu kręgowym i mózgu. Protokół EEG-NF miał na celu obniżenie tzw. współczynnika theta/SMR, czyli zmniejszenie amplitudy fal theta i zwiększenie amplitudy tzw. rytmu sensomotorycznego (*sensorimotor rhythm*, SMR). Rytm sensomotoryczny zawiera się w paśmie częstotliwości 12–15 Hz, i występuje w korze czuciowo-ruchowej, w stanie gotowości do odbioru bodźców przy jednoczesnym braku ruchu (Sterman, 1996). Wzmocnienie tego rytmu ułatwia działanie wzgórzowego mechanizmu blokującego nadmierne pobudzenie kory przedczołowej (Thompson, Thompson, 2015), która jest jednym z obszarów mózgu aktywnych podczas odczuwania bólu (Shen i in., 2019). Oczekiwano zatem, że obniżenie współczynnika theta/SMR będzie współwystępować z redukcją pobudliwości okolicy czołowej i w związku z tym – ze złagodzeniem bólu.

W badaniach Kayirana i zespołu (Kayiran, Dursun, Dursun, Ermutlu, Karamürsel, 2010) pacjenci brali udział w 20 sesjach treningowych EEG-NF w okresie jednego miesiąca. Po terapii obserwowano zmniejszenie dolegliwości bólowych, któremu towarzyszyła w sygnale EEG zmiana w pożądanym kierunku.

W kolejnych latach próby łagodzenia chronicznego bólu poprzez modulację aktywności bioelektrycznej mózgu podjął m.in. zespół pod kierownictwem Jensena (Jensen, Gertz i in., 2013; Jensen, Sherlin i in., 2013). W jednym z tych badań pacjenci z urazem rdzenia kręgowego uczestniczyli w treningu EEG-NF, w trakcie którego podczas jednej sesji stosowano aż trzy różne protokoły ukierunkowane na: (1) zwiększenie ekspresji rytmu alfa i zmniejszenie aktywności w paśmie beta w sygnale uzyskanym z elektrod umieszczonych nad okolicami skroniowymi (T3 i T4), w pobliżu kory sensomotorycznej, (2) wzmocnienie rytmu SMR oraz tłumienie aktywności Theta i Beta w sygnale z elektrod C3 i C4 w obszarze centralnym kory, nad korą czuciowo-ruchową oraz (3) wzmacnianie aktywności w paśmie 10–15 Hz przy jednoczesnym tłumieniu fal Theta i Beta w czynności bioelektrycznej rejestrowanej z elektrod P3 i P4. Elektrody te znajdują się nad środkową okolicą mózgu, w pobliżu obszarów ciemieniowych, które zaangażowane są w percepcję bólu (Seifert i in., 2010). Jensen, Gertz i in. (2013) wybrali powyższe protokoły treningu EEG-NF na podstawie wcześniejszych wyników badań wskazujących na nieprawidłowości

w zakresie pasm theta, alfa i beta (w tym SMR) u pacjentów z przewlekłym bólem (np. Sarnthein i in., 2006). Po treningu zaobserwowano zmiany w pożądanym kierunku wyłącznie w zakresie fal Alfa (wzmocnienie) oraz Theta (stłumienie), którym nie towarzyszyły jednak ani znacząca redukcja odczuwanego bólu, ani też, często towarzyszące pacjentom, uczucie zmęczenia. Istotnie nie poprawiła się również jakość snu. Autorzy sugerują, że zwiększenie liczby sesji oraz stosowanie tylko jednego (zamiast wszystkich trzech łącznie) schematu treningu EEG-NF mogłoby przynieść bardziej korzystny efekt terapeutyczny.

W innym badaniu Jensen, Sherlin i in. (2013) porównywali efekty metody EEG-Neurofeedback z terapią z wykorzystaniem hipnozy, medytacji oraz tDCS. Stosowali protokół EEG-NF, którego celem było wzmocnienie mocy fal w paśmie alfa (8–12 Hz) i tłumienie fal w paśmie beta (18–30 Hz) w sygnale EEG rejestrowanym z elektrod T3 i T4. Po zakończeniu, dla każdego z czterech typów terapii użytych w tym badaniu, stwierdzono inne zmiany w zapisie aktywności bioelektrycznej mózgu. Po treningu EEG-NF były one w oczekiwanym kierunku, tj. uzyskano większą ekspresję fal alfa i mniejszą w paśmie beta. Nie zaobserwowano jednak istotnego związku między zmianami w sygnale EEG a intensywnością odczuwanego bólu po żadnej z w/w form terapii.

W innych badaniach (Hassan, Fraser, Conway, Allan, Vuckovic, 2015) pacjenci z porażeniem dwukończynowym (paraplegią), którzy cierpieli z powodu chronicznego bólu neuropatycznego, uczestniczyli w treningu EEG-NF ukierunkowanym na wzmocnienie rytmu SMR lub alfa w sygnale rejestrowanym z elektrod Cz, C3, C4 lub P4 (pasmo centralne kory). Trening zwiększający ekspresję SMR stosowano ze względu na jego możliwe oddziaływanie na pętlę wzgórzowo-korową, prowadzące do tłumienia aktywności kory przedczołowej, podobnie jak w badaniach Kayirana (Kayiran i in., 2010). Z kolei wzmocnienie czynności alfa w treningu EEG-NF uzasadniono w odniesieniu do wyników badań sugerujących mniejszą ekspresję tego rytmu u osób z chronicznym bólem (Vučković i in., 2014). Hassan i in. (2015) do modulacji aktywności mózgu wybrali sygnał z elektrod umiejscowionych w centralnym obszarze kory, powołując się na wcześniejsze wyniki badań, wskazujące powyższe lokalizacje jako preferowane w leczeniu bólu. Autorzy badania nie podali uzasadnienia włączenia do badań sygnału z elektrody P4. Można jednak zakładać dominację prawej półkuli w percepcji bólu. Badacze uzasadniali te ustalenia obserwacjami redukcji bólu przy użyciu wspomnianej techniki tDCS lub przezczaszkowej stymulacji magnetycznej (*repetitive transcranial magnetic stimulation*, rTMS; Lefaucheur i in., 2008).

W terapii analgetycznej przy użyciu EEG-NF wykorzystuje się modulację sygnału z elektrod okolicy pasma centralnego (sygnał z elektrod C3, C4 i Cz). Nie są one precyzyjnie zlokalizowane nad okolicą kory czuciowo-ruchowej, ale biorąc pod uwagę powierzchniowy rozkład fal mózgowych i słabą rozdzielczość przestrzenną fal EEG, nie jest możliwe dokładne oddziaływanie na dany obszar kory przy pomocy EEG-NF (Thompson, Thompson, 2015).

Hassan i in. (2015) zastosowali również tzw. trening pozorny (*sham*), w trakcie którego pacjentom pokazywano plansze z poprzednich sesji treningowych, a nagrody dostarczano, gdy zwiększała się ekspresja fal alfa w okolicach potylicznych niezwiązanych z percepcją bólu. Tylko po właściwym treningu EEG-NF stwierdzono zmniejszenie mocy w paśmie beta w grzbietowo-bocznej korze przedczołowej, przednim zakręcie obręczy i wyspie – strukturach należących do tzw. mózgowej macierzy bólu (Shen i in., 2019). Powyższe zmiany w mózgu współwystępowały ze złagodzeniem dolegliwości bólowych.

W jednym z najnowszych badań Mayaud i in. (2019) pacjenci cierpiący z powodu przewlekłego bólu kręgosłupa krzyżowo-lędźwiowego uczestniczyli w treningu EEG-NF, którego celem było wzmocnienie synchronizacji fazy czynności alfa. Wcześniejsze badania pokazały, że czynność alfa (Horschig i in., 2015) jest zaangażowana w modulację aktywności jądra półleżącego (*nucleus accumbens*). Ta struktura mózgu jest częścią układu nagrody motywującego zachowanie, należy do tzw. macierzy bólu (Shen i in., 2019), a jej pobudzenie wpływa na aktywność wstępujących szlaków nocyceptywnych (bólowych) (Ren i in., 2016). Zdaniem Mayauda i in. zsynchronizowana praca neuronów w paśmie alfa może stanowić mechanizm, za pomocą którego samoregulacja aktywności obszarów korowych z wykorzystaniem warunkowania instrumentalnego (podstawa treningów neurofeedbacku) może wpływać na struktury podkorowe związane z percepcją bólu (jądro półleżące), na które nie możemy bezpośrednio oddziaływać metodą EEG-NF.

Po treningu, obejmującym 30 sesji, badacze ci stwierdzili różnicę w jednym z parametrów synchronizacji fal alfa, której wielkość była powiązana z złagodzeniem bólu. Korzyści z uczestnictwa w tej terapii pacjenci raportowali także sześć miesięcy po jej zakończeniu. Wyniki badania wskazują zatem, że trening EEG-NF synchronicznej aktywności EEG w paśmie alfa może być skuteczny w leczeniu opisywanych dolegliwości bólowych.

Podsumowując, można stwierdzić, że stosunkowo niewiele jest badań dokumentujących skuteczność metody EEG-Neurofeedback w terapii bólu przewlekłego, zwłaszcza tych, w których stosowano również trening kontrolny.

Obserwowane po terapii zmiany w aktywności bioelektrycznej mózgu nie zawsze współwystępują z poprawą stanu pacjenta. Zasadne wydaje się opracowanie rzetelnych kryteriów kwalifikacji do poszczególnych protokołów treningowych (np. na podstawie badania EEG pozwalającego stwierdzić ewentualne nieprawidłowości w aktywności fal mózgowych oraz demonstrowanych przez chorego objawów) oraz zastosowanie indywidualnych protokołów treningowych dla każdego pacjenta.

Perspektywy badawcze

W minionych dekadach próbowano stosować metody jednokanałowego EEG-Neurofeedbacku jako niespecyficznej metody terapii przewlekłego bólu, mając nadzieję, że stanie się alternatywą dla dominujących obecnie metod inwazyjnych i farmakologicznych. Jednakże proste metody neurofeedbacku okazały się mało efektywne (Rogala i in., 2016) i dopiero w ostatnich latach użycie wielokanałowego EEG i nowych metod analizy sygnału pozwoliło na znaczny postęp w terapii przy pomocy neurofeedbacku w przypadku różnych zaburzeń (Marzbani, Marateb, Mansourian, 2016). Dopasowanie protokołów treningowych do indywidualnych map nieprawidłowych dystrybucji sygnałów w EEG będzie kolejnym ważnym krokiem w wykorzystaniu tej metody neuroterapii w kontrolowaniu objawów dysfunkcji kory sensomotorycznej u pacjentów.

Stosowana dotychczas analiza spektralna EEG, polegająca na wyróżnianiu pasm o różnych częstotliwościach i pomiarach energii w tych pasmach, nie daje możliwości regulacji aktywności określonych struktur mózgu czy wyróżnionych obszarów z rozwiniętymi grupami specyficznych podsieci. Oparty na lokalizacji źródeł aktywności w mózgu za pomocą funkcjonalnego rezonansu magnetycznego fMRI-Neurofeedback, nazywany „dekodowanym neurofeedbackiem” (*decoded neurofeedback*, DecNef; Shibata i in., 2019) oraz neurofeedback oparty na analizie funkcjonalnej siły połączeń pomiędzy różnymi obszarami mózgu, (*functional connectivity neurofeedback*, FCNefem; Yamada i in., 2017) są metodami znacznie efektywniejszymi. Zastosowanie neurofeedbacku z użyciem fMRI w praktyce jest nie tylko kosztowne, ale i technicznie trudniejsze ze względu na odmienne wyniki otrzymywane w badaniach z wykorzystaniem różnych skanerów fMRI w poszczególnych ośrodkach naukowych.

Postęp w analizie sygnału EEG stwarza nowe możliwości związane z lokalizacją przestrzenną i identyfikacją sieci funkcjonalnych mózgu, które są podobne do tych uzyskiwanych przy użyciu fMRI. W chwili obecnej metody neurofeedbacku oparte na lokalizacji stosowane były tylko w badaniach eksperymentalnych na niewielką skalę (Bauer, Pllana, 2014). Precyzyjna lokalizacja zbyt aktywnych lub nieaktywnych regionów możliwa jest dzięki zastosowaniu dużej liczby sensorów i intensywnie obecnie rozwijanym technikom lokalizacji źródła sygnałów EEG (Michel, Brunet, 2019). Wymaga to jednak użycia oprogramowania rozwiązującego złożone zagadnienie propagacji potencjałów elektrycznych przez różne rodzaje tkanek w mózgu, uwzględnienia dokładnego kształtu głowy i położenia elektrod oraz rozwiązania problemu odwrotnego, czyli ustalenia położenia źródeł i ich mocy na podstawie obserwowanych sygnałów EEG. Pierwsze publikacje wskazujące, że za pomocą EEG można osiągnąć rezultaty porównywalne z fMRI, pojawiły się w pracach grupy pod kierownictwem Bodurki (Yuan i in., 2016). W późniejszych pracach (Liu, Ganzetti, Wenderoth, Mantini, 2018) udało się, przy wykorzystaniu 256-kanalowego EEG, odtworzyć aktywność 14 rozległych połączeń funkcjonalnych mózgu. Jest to nadal technicznie trudne zagadnienie, zwłaszcza w procedurach neurofeedback, ze względu na długi czas analizy sygnałów z wielokanałowego EEG (określanego często jako *high-density EEG*, hdEEG) (Michel, Brunet 2019). Obserwacja obszarów wykazujących zbyt wysoką aktywność pozwala na osłabienie ich działania za pomocą procedury EEG-Neurofeedback poprzez bezpośrednie oddziaływanie neuromodulacyjne na wybrany obszar mózgu (Sitaram i in., 2017).

Podobnie dzieje się w przypadku nieprawidłowo wzmocnionych lub osłabionych połączeń funkcjonalnych, czyli wtedy, gdy dwa lub więcej obszarów mózgowych nie komunikuje się ze sobą w sposób efektywny. Zjawisko takie występuje np. w autyzmie, zaburzeniach obsesyjno-kompulsywnych czy w głębokiej depresji (Yahata, Kasai, Kawato, 2017). W schorzeniach tych można użyć zmiany dzięki neuromodulacji zwiększającej procesy plastyczne w mózgu. Rozdzielczość czasowa fMRI jest o jeden rząd wielkości zbyt mała, by dostrzec szybkie aktywacje różnych podsieci tworzących mikrostrany (przejściowe stany aktywności mózgu, trwające od 50 do 150 ms) (Michel, Koenig, 2018). Użycie EEG może tu dać znaczną przewagę, zwłaszcza w połączeniu z nieliniowymi metodami analizy wielokanałowych sygnałów, takimi jak ilościowa analiza rekurencyjna (*recurrence quantitative analysis*, RQA) (Zou, Donner, Marwan, Dinges, Kurths, 2019). Pozwala to na monitorowanie aktywności obszarów

należących do macierzy bólu i zaburzeń somatosensorycznych (Legrain, Iannetti, Plaghki, Mouraux, 2011; Liang, Su, Mouraux, Iannetti, 2019).

Uważana obserwacja aktywności rozległych sieci oraz analiza mikrostanów tych struktur wydają się być najlepszą strategią, stwarzającą możliwości lepszego zrozumienia procesów związanych z bólem i zaburzeniami czucia. W przypadku bólu o podłożu organicznym dochodzi do aktywacji pierwszorzędowej kory somatosensorycznej (SI), ale podobne aktywacje pojawiają się w wielu innych sytuacjach, stąd poszukiwania biomarkerów bólu pozwalających na obiektywną ocenę nadal trwają (Martucci, Mackey, 2018; Mouraux, Iannetti, 2018). Jeśli jednak jest to ból o podłożu czynnościowym – nieorganiczny, trudny do umiejscowienia, który powstaje na skutek wzbudzeń pętli wewnętrznej macierzy bólu (podobnie jak w przypadku fobii w zaburzeniach lękowych), to aktywacja kory SI może być niewidoczna, natomiast powinna być pobudzana drugorzędowa kora somatosensoryczna (SII) (Kucyi, Davis 2015; Mano, Seymour 2015). W przypadku braku obecności wzbudzenia w SI, jak i w SII można podejrzewać u osób badanych działania symulowane lub nieprawidłowe procesy analizy somatosensorycznej. Skłania to badaczy do prowadzenia nowatorskich interdyscyplinarnych badań klinicznych w dziedzinach neuropsychologii i psychiatrii.

Nowe wyzwania naukowe wymagają także lepszych narzędzi informatycznych do analizy zapisu EEG oraz prowadzenia liczniejszych eksperymentów łączących fMRI i EEG pozwalających na weryfikację stawianych hipotez. Kolejne etapy działań obejmować będą testowanie treningów EEG-NF w grupach pacjentów z zaburzeniami kory somatosensorycznej, w sposób szczególny związanej z bólem przewlekłym, a w końcowej fazie – opracowanie i wdrożenie procedur klinicznych.

Literatura cytowana

- American Psychiatric Association (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders (DSM-5®)*. Arlington: American Psychiatric Pub.
- Basińska, A., Woźniewicz, A. (2016). Occurrence of diagnostic criteria for psychosomatic research syndromes in Polish patients with chronic illness. *Psychotherapy and Psychosomatics*, 85(6), 386–387. <https://doi.org/10.1159/000447243>
- Bauer, H., Pllana, A. (2014). EEG-based local brain activity feedback training – Topographic neurofeedback. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 1–6. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.01005>

- Bismuth, J., Vialatte, F., Lefaucheur, J. P. (2020). Relieving peripheral neuropathic pain by increasing the power-ratio of low- β over high- β activities in the central cortical region with EEG-based neurofeedback: Study protocol for a controlled pilot trial (SMRPain study). *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology*, 50(1), 5–20. <https://doi.org/10.1016/j.neucli.2019.12.002>
- Breivik, H., Collett, B., Ventafridda, V., Cohen, R., Gallacher, D. (2006). Survey of chronic pain in Europe: Prevalence, impact on daily life, and treatment. *European Journal of Pain*, 10(4), 287–287. <https://doi.org/10.1016/j.ejpain.2005.06.009>
- Darnall, B. (2018). To treat pain, study people in all their complexity. *Nature*, 557, 7.
- de Vries, M., Wilder-Smith, O. H. G., Jongsma, M. L., van den Broeke, E. N., Arns, M., van Goor, H., van Rijn, C. M. (2013). Altered resting state EEG in chronic pancreatitis patients: Toward a marker for chronic pain. *Journal of Pain Research*, 6, 815–824. <https://doi.org/10.2147/JPR.S50919>
- Fallon, N., Chiu, Y., Nurmikko, T., Stancak, A. (2018). Altered theta oscillations in resting EEG of fibromyalgia syndrome patients. *European Journal of Pain*, 22(1), 49–57. <https://doi.org/10.1002/ejp.1076>
- Fava, G. A., Cosci, F., Sonino, N. (2017). Current psychosomatic practice. *Psychotherapy and Psychosomatics*, 86(1), 13–30. <https://doi.org/10.1159/000448856>
- Gruzelier, J., Egner, T. (2005). Critical validation studies of neurofeedback. *Child Adolescent Psychiatric Clinics of North American*, 14(1), 83–104. <https://doi.org/10.1016/j.chc.2004.07.002>
- Hartmann, T., Lorenz, I., Weisz, N. (2011). Neurobiofeedback. W: A. R. Møller, B. Langguth, D. DeRidder, T. Kleinjung (red.), *Textbook of tinnitus* (s. 691–696). Nowy Jork: Springer.
- Hassan, M. A., Fraser, M., Conway, B. A., Allan, D. B., Vuckovic, A. (2015). The mechanism of neurofeedback training for treatment of central neuropathic pain in paraplegia: A pilot study. *BMC Neurology*, 15(1), 200. <https://doi.org/10.1186/s12883-015-0445-7>
- Horschig, J. M., Smolders, R., Bonnefond, M., Schoffelen, J.-M., van den Munckhof, P., Schuurman, P. R., ..., Jensen, O. (2015). Directed communication between nucleus accumbens and neocortex in humans is differentially supported by synchronization in the theta and alpha band. *PLoS ONE*, 10(9), e0138685. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0138685>
- Insel, T., Cuthbert, B., Garvey, M., Heinssen, R., Pine, D. S., Quinn, K., ..., Wang, P. (2010). Research domain criteria (RDoC): Toward a new classification framework for research on mental disorders. *American Journal of Psychiatry*, 167(7), 748–751. <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.2010.09091379>
- International Association for the Study of Pain (2020). Pobrane z: <https://www.iasp-pain.org/>

- Jensen, M. P., Gertz, K. J., Kupper, A. E., Braden, A. L., Howe, J. D., Hakimian, S., Sherlin, L. H. (2013). Steps toward developing an EEG biofeedback treatment for chronic pain. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 38(2), 101–108. <https://doi.org/10.1007/s10484-013-9214-9>.
- Jensen, M. P., Sherlin, L. H., Askew, R. L., Fregni, F., Witkop, G., Gianas, A., ..., Hakimian, S. (2013). Effects of non-pharmacological pain treatments on brain states. *Clinical Neurophysiology*, 124(10), 2016–2024. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2013.04.009>
- John, E. R., Ahn, H., Prichep, L., Trepetin, M., Brown, D., Kaye, H. (1980). Developmental equations for the electroencephalogram. *Science*, 210(4475), 1255–1258. <https://doi.org/10.1126/science.7434026>
- Kayiran, S., Dursun, E., Dursun, N., Ermutlu, N., Karamürsel, S. (2010). Neurofeedback intervention in fibromyalgia syndrome: A randomized, controlled, rater blind clinical trial. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 35(4), 293–302. <https://doi.org/10.1007/s10484-010-9135-9>
- Kocot-Kępska, M., Dobrogowski, J., Zdziechowska, K., Czyżak, I. (2015). Ocena wyników badania ankietowego przeprowadzonego wśród osób cierpiących z powodu bólu przewlekłego. *Ból*, 16(1), 9–1.
- Kucyi, A., Davis, K. D. (2015). The dynamic pain connectome. *Trends in Neurosciences*, 38(2), 86–95. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2014.11.006>
- Leadley, R. M., Armstrong, N., Lee, Y. C., Allen, A., Kleijnen, J. (2012). Chronic diseases in the European Union: The prevalence and health cost implications of chronic pain. *Journal of Pain & Palliative Care Pharmacotherapy*, 26(4), 310–325. <https://doi.org/10.3109/15360288.2012.736933>
- Lefaucheur, J. P., Antal, A., Ahdab, R., Ciampi de Andrade, D., Fregni, F., Khedr, E. M., ..., Paulus, W. (2008). The use of repetitive transcranial magnetic stimulation (rTMS) and transcranial direct current stimulation (tDCS) to relieve pain. *Brain Stimulation*, 1(4), 337–344. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2008.07.003>
- Legrain, V., Iannetti, G. D., Plaghki, L., Mouraux, A. (2011). The pain matrix reloaded: A salience detection system for the body. *Progress in Neurobiology*, 93(1), 111–124. <https://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2010.10.005>
- Liang, M., Su, Q., Mouraux, A., Iannetti, G. D. (2019). Spatial patterns of brain activity preferentially reflecting transient pain and stimulus intensity. *Cerebral Cortex*, 29(5), 2211–2227. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhz026>
- Liu, Q., Ganzetti, M., Wenderoth, N., Mantini, D. (2018). Detecting large-scale brain networks using EEG: Impact of electrode density, head modeling and source localization. *Frontiers in Neuroinformatics*, 12, 4. <https://doi.org/10.3389/fninf.2018.00004>
- Llinás, R. R., Ribary, U., Jeanmonod, D., Kronberg, E., Mitra, P. P. (1999). Thalamocortical dysrhythmia: A neurological and neuropsychiatric syndrome characterized by mag-

- netoencephalography. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 96(26), 15222–15227. <https://doi.org/10.1073/pnas.96.26.15222>
- Mano, H., Seymour, B. (2015). Pain: A distributed brain information network? *PLoS Biology*, 13(1), e1002037. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002037>
- Martucci, K. T., Mackey, S. C. (2018). Neuroimaging of pain: Human evidence and clinical relevance of central nervous system processes and modulation. *Anesthesiology: The Journal of the American Society of Anesthesiologists*, 128(6), 1241–1254. <https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000002137>
- Marzbani, H., Marateb, H. R., Mansourian, M. (2016). Neurofeedback: A comprehensive review on system design, methodology and clinical applications. *Basic and Clinical Neuroscience*, 7(2), 143–158. <https://doi.org/10.15412/J.BCN.03070208>
- May, S. E., Nickel, M. M., Ta Dinh, S., Tiemann, L., Heitmann, H., Voth, I., ..., Ploner, M. (2019). Prefrontal gamma oscillations reflect ongoing pain intensity in chronic back pain patients. *Human Brain Mapping*, 40(1), 293–305. <https://doi.org/10.1002/hbm.24373>
- Mayaud, L., Wu, H., Barthélemy, Q., Favennec, P., Delpierre, Y., Congedo, M., ..., Ritz, M. (2019). Alpha-phase synchrony EEG training for multi-resistant chronic low back pain patients: An open-label pilot study. *European Spine Journal*, 28(11), 2487–2501. <https://doi.org/10.1007/s00586-019-06051-9>
- Michel, C. M., Brunet, D. (2019). EEG source imaging: A practical review of the analysis steps. *Frontiers in Neurology*, 10, 325. <https://doi.org/10.3389/fneur.2019.00325>
- Michel, C. M., Koenig, T. (2018). EEG microstates as a tool for studying the temporal dynamics of whole-brain neuronal networks: A review. *NeuroImage*, 180, 577–593. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.11.062>
- Mouraux, A., Iannetti, G. D. (2018). The search for pain biomarkers in the human brain. *Brain*, 141(12), 3290–3307. <https://doi.org/10.1093/brain/awy281>
- Pinheiro, E. S. S., de Queirós, F. C., Montoya, P., Santos, C. L., do Nascimento, M. A., Ito, C. H., ..., Baptista, A. F. (2016). Electroencephalographic patterns in chronic pain: A systematic review of the literature. *PLoS ONE*, 11(2), e0149085. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0149085>
- Pedraza, O. (red.). (2019). *Clinical cultural neuroscience. An integrative approach to cross-cultural neuropsychology* Nowy Jork: Oxford University Press.
- Prichep, L. S., Shah, J., Merkin, H., Hiesiger, E. M. (2018). Exploration of the pathophysiology of chronic pain using quantitative EEG source localization. *Clinical EEG and Neuroscience*, 49(2), 103–113. <https://doi.org/10.1177/1550059417736444>
- Pużyński, S., Wciórka, J. (1998). *Klasyfikacja zaburzeń psychicznych i zaburzeń zachowania w ICD-10. Badawcze kryteria diagnostyczne*. Kraków–Warszawa: Uniwersyteckie Wydawnictwo Medyczne „Vesalius”.

- Ren, W., Centeno, M. V., Berger, S., Wu, Y., Na, X., Liu, X., ..., Surmeier, D. J. (2016). The indirect pathway of the nucleus accumbens shell amplifies neuropathic pain. *Nature Neuroscience*, 19(2), 220–222. <https://doi.org/10.1038/nn.4199>
- Rogala, J., Jurewicz, K., Paluch, K., Kublik, E., Cetnarski, R., Wróbel, A. (2016). The do's and don'ts of neurofeedback training: A review of the controlled studies using healthy adults. *Frontiers in Human Neuroscience*, 10, 301. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00301>
- Röhricht, F., Sattel, H., Kuhn, C., Lahmann, C. (2019). Group body psychotherapy for the treatment of somatoform disorder – a partly randomised-controlled feasibility pilot study. *BMC Psychiatry*, 19, 120. <https://doi.org/10.1186/s12888-019-2095-6>
- Sarnthein, J., Stern, J., Aufenberg, C., Rousson, V., Jeanmonod, D. (2006). Increased EEG power and slowed dominant frequency in patients with neurogenic pain. *Brain*, 129(Pt 1), 55–64. <https://doi.org/10.1093/brain/awh631>
- Schmidt, S., Naranjo, J. R., Brenneisen, C., Gundlach, J., Schultz, C., Kaube, H., ..., Jeanmonod, D. (2012). Pain ratings, psychological functioning and quantitative EEG in a controlled study of chronic back pain patients. *PLoS ONE*, 7(3), e31138. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0031138>
- Seifert, F., Fuchs, O., Nickel, F. T., Garcia, M., Dorfler, A., Schaller, G., ..., Maihöfner, C. (2010). A functional magnetic resonance imaging navigated repetitive transcranial magnetic stimulation study of the posterior parietal cortex in normal pain and hyperalgesia. *Neuroscience*, 170(2), 670–677. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2010.07.024>
- Shen, W., Tu, Y., Gollub, R. L., Ortiz, A., Napadow, V., Yu, S., ..., Kong, J. (2019). Visual network alterations in brain functional connectivity in chronic low back pain: A resting state functional connectivity and machine learning study. *NeuroImage: Clinical*, 22, 101775. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2019.101775>
- Shibata, K., Lisi, G., Cortese, A., Watanabe, T., Sasaki, Y., Kawato, M. (2019). Toward a comprehensive understanding of the neural mechanisms of decoded neurofeedback. *NeuroImage*, 188, 539–556. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.12.022>
- Sitaram, R., Ros, T., Stoeckel, L., Haller, S., Scharnowski, F., Lewis-Peacock, J., ..., Sulzer, J. (2017). Closed-loop brain training: The science of neurofeedback. *Nature Reviews Neuroscience*, 18(2), 86–100. <https://doi.org/10.1038/nrn.2016.164>
- Smith, B., Torrance, N. (2011). Management of chronic pain in primary care. *Current Opinion in Supportive and Palliative Care*, 5(2), 137–142. <https://doi.org/10.1097/SPC.0b013e328345a3ec>
- Sterman, M. B. (1996). Physiological origins and functional correlates of EEG rhythmic activities: Implications for self-regulation. *Biofeedback and Self-Regulation*, 21(1), 3–33. <https://doi.org/10.1007/BF02214147>

- Stern, J., Jeanmonod, D., Sarnthein, J. (2006). Persistent EEG overactivation in the cortical pain matrix of neurogenic pain patients. *NeuroImage*, 31(2), 721–731. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2005.12.042>
- Ta Dinh, S., Nickel, M. M., Tiemann, L., May, E. S., Heitmann, H., Hohn, V. D., ..., Ploner, M. (2019). Brain dysfunction in chronic pain patients assessed by resting-state electroencephalography. *Pain*, 60(12), 2751–2765. <https://doi.org/10.1097/j.pain.0000000000001666>
- Thatcher, R. W., Lubar, J. F. (2009). History of the scientific standards of QEEG normative databases. W: T. Budzinsky, H. Budzinsky, J. Evans, A. Abarbanel (red.), *Introduction to QEEG and neurofeedback: Advanced theory and applications* (s. 29–59). San Diego: Academic Press.
- Thompson, M., Thompson, L. (2015). *The neurofeedback book: An introduction to basic concepts in applied psychophysiology*. Wheat Ridge: The Association for Applied Psychophysiology and Biofeedback.
- van den Broeke, E. N., Wilder-Smith, O. H. G., van Goor, H., Vissers, K. C. P., van Rijn, C. M. (2013). Patients with persistent pain after breast cancer treatment show enhanced alpha activity in spontaneous EEG. *Pain Medicine*, 14(12), 1893–1899. <https://doi.org/10.1111/pme.12216>
- Vuckovic, A., Hasan, M. A., Fraser, M., Conway, B. A., Nasserolelami, B., Allan, D. B. (2014). Dynamic oscillatory signatures of central neuropathic pain in spinal cord injury. *The Journal of Pain*, 15(6), 645–655. <https://doi.org/10.1016/j.jpain.2014.02.005>
- Wordliczek, J., Dobrogowski, J. (red.). (2017). *Leczenie bólu*. Warszawa: Wydawnictwo Lekarskie PZWL.
- Yamada, T., Hashimoto, R. I., Yahata, N., Ichikawa, N., Yoshihara, Y., Okamoto, Y., Kawato, M. (2017). Resting-state functional connectivity-based biomarkers and functional MRI-based neurofeedback for psychiatric disorders: A challenge for developing theranostic biomarkers. *International Journal of Neuropsychopharmacology*, 20(10), 769–781. <https://doi.org/10.1093/ijnp/pyx059>
- Yahata, N., Kasai, K., Kawato, M. (2017). Computational neuroscience approach to biomarkers and treatments for mental disorders. *Psychiatry and Clinical Neurosciences*, 71(4), 215–237. <https://doi.org/10.1111/pcn.12502>
- Yuan, H., Ding, L., Zhu, M., Zotev, V., Phillips, R., Bodurka, J. (2016). Reconstructing large-scale brain resting-state networks from high-resolution EEG: Spatial and temporal comparisons with fMRI. *Brain Connectivity*, 6(2), 122–135. <https://doi.org/10.1089/brain.2014.0336>
- Zou, Y., Donner, R. V., Marwan, N., Donges, J. F., Kurths, J. (2019). Complex network approaches to nonlinear time series analysis. *Physics Reports*, 787, 1–97 <https://doi.org/10.1016/j.physrep.2018.10.005>

EWA RATAJCZAK, MARCIN HAJNOWSKI,
SŁAWOMIR CZACHOWSKI

Instytut Psychologii, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

HRV Biofeedback – terapia przez samokontrolę rytmu serca

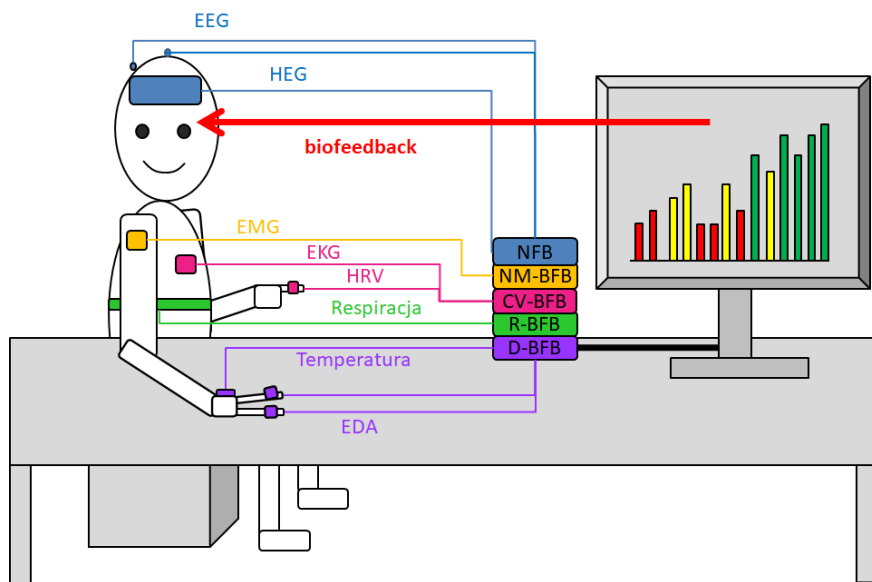
Sposób cytowania: Ratajczak, E., Hajnowski, M., Czachowski, S. (2020). HRV Biofeedback – terapia przez samokontrolę rytmu serca. W: M. Trojan, M. Gut (red.), *Nowe technologie i metody w psychologii* (s. 299–327). Warszawa: Liberi Libri. <https://doi.org/10.47943/lib.9788363487430.rozdzial14>

Biofeedback, czyli biologiczne (a ściślej: psychofizjologiczne) sprzężenie zwrotne, jest nieinwazyjną metodą terapii polegającą na dostarczaniu pacjentowi informacji na temat jego stanu fizjologicznego. Dzięki temu może on nauczyć się świadomie regulować procesy, które normalnie nie podlegają wolicjonalnej kontroli, np. aktywność mózgu czy rytm serca (Nagai, 2011). Owa autokorekta procesów fizjologicznych składa się z trzech podstawowych kroków: (1) manipulacji zachowania, aby wpłynąć na określony parametr fizjologiczny, (2) obserwacji efektów wynikających z zastosowanej manipulacji oraz (3) zrozumienia zależności przyczynowo-skutkowych pomiędzy manipulacją, zmianą parametrów fizjologicznych i ich wpływem na stan zdrowia. Biofeedback jest szeroko stosowany w psychologii, medycynie, a także sporcie czy biznesie.

Po terapii obserwuje się m.in. poprawę kondycji psychofizycznej, zdolności poznawczych oraz samokontroli emocji (McCraty, Atkinson, Tomasino, Bradley, 2009). Głównym problemem w stosowaniu tej techniki jest percepcja czynności fizjologicznych, na które zamierzamy wywierać wpływ. Procesy wewnętrzne są często nieświadome, dlatego istotną kwestią jest dobór obserwowalnych i mierzalnych parametrów, reprezentujących dane zjawisko fizjologiczne. Z pomocą przychodzi technologia – czujniki rejestrujące zmiany w parametrach fizjologicznych, podłączone do komputerów przetwarzających dane biologiczne w czasie rzeczywistym, a następnie prezentujące informację zwrotną. W ten sposób nieodczuwalne procesy wewnętrzne zostają przedstawione w formie dostępnej ludzkim zmysłom, pozwalając na uzyskanie nad nimi świadomej kontroli. Informacja zwrotna prezentowana jest zwyczajowo w formie wizualnej, chociaż zdarza się wykorzystanie innych modalności, dźwiękowej lub dotykowej (Yucha, Montgomery, 2008).

Współczesne techniki biofeedbacku można podzielić, ze względu na rodzaj mierzonego biosygnału, na biofeedback fizjologiczny oraz biomechaniczny. Ten ostatni bazuje na sygnałach z ciała jedynie pośrednio, raczej w oparciu o ich biomechaniczną reprezentację, a więc mechanicznych właściwościach ruchu, kontroli postawy oraz sił wywieranych przez ciało. Wymaga to zastosowania różnych czujników mechanicznych i elektromechanicznych, od bardzo prostych po skomplikowane systemy oparte na technice wideo (przegląd badań w: Giggins i in., 2013). Natomiast biofeedback fizjologiczny sprowadza się do przetwarzania rejestrowanego z ciała sygnału elektromagnetycznego. W zależności od organu, z którego sygnał ten pochodzi, możemy wyróżnić *neurofeedback* (NFB), w którym udzielana jest informacja zwrotna dotycząca aktywności mózgu, biofeedback skórno-galwaniczny (*galvanic skin reaction*

biofeedback, GSR-BFB), nerwowo-mięśniowy (*neuro-muscular biofeedback* NM-BFB), oddechowy (*respiratory biofeedback*, R-BFB) oraz sercowo-naczyniowy, w tym biofeedback zmienności rytmu serca (*heart rate variability biofeedback*, HRV-BFB). Standardową lokalizację czujników rejestrujących biosygnały w różnych metodach biofeedbacku przedstawiono schematycznie na rysunku 1.



Rysunek 1. Schemat zasady działania biofeedbacku oraz lokalizacji czujników najpopularniejszych modalności (materiał własny).

Adnotacja. NFB – neurofeedback prowadzony przy użyciu elektroencefalografii (EEG) lub hemoencefalografii (HEG), NM-BFB – biofeedback nerwowo-mięśniowy (*neuro-muscular biofeedback*) oparty o technikę elektromiografii (EMG), CV-BFB – biofeedback układu sercowo-naczyniowego (*cardiovascular biofeedback*), wykorzystujący czujniki pletyzmograficzne lub elektrokardiograficzne (EKG) m.in. do treningu zmienności rytmu serca (HRV, *heart rate variability*), R-BFB – biofeedback oddechowy (*respiratory biofeedback*), D-BFB – biofeedback skórny (*dermal biofeedback*), polegający na regulowaniu powierzchniowej temperatury skóry lub kontrolowaniu reakcji elektrodermalnej (EDA, *electrodermal activity*).

Biofeedback sercowo-naczyniowy

Celem tego rodzaju treningu jest nauczenie pacjenta świadomej kontroli nad pracą jego serca. Informacja zwrotna bazuje na aktywności narządu, obrazowanej przy użyciu pletyzmografii pulsu (*pulse plethysmography*, PPG) lub elektrokardiografii (EKG). Metoda PPG wykorzystuje różnice w odbiciu promieniowania podczerwonego zależne od poziomu utlenowania krwi przepływającej przez naczynia w punkcie pomiaru. Zmienia się on cyklicznie podczas kolejnych uderzeń serca, dzięki czemu pletyzmografia jest w stanie oszacować rytm serca. Lokalizacja pomiaru zależy od rodzaju czujnika pletyzmograficznego; najczęściej stosuje się pomiary na kończynach (palcach rąk i stóp, nadgarstkach) lub na płątku usznym. Pomiary EKG bazują bezpośrednio na aktywności elektrycznej mięśnia sercowego. Kolejne fazy skurczów generują cykliczne zmiany pola elektromagnetycznego serca (Giggins i in., 2013; Yucha, Montgomery, 2008). Ze względu na rodzaj zastosowanej techniki pomiarowej niekiedy w literaturze wyróżnia biofeedback pulsu objętości krwi (*blood volume pulse biofeedback*, BVP-BFB; Hoon, 1980), jednakże w nowszych badaniach termin ten wychodzi z użycia na rzecz nazewnictwa związanego z oddechową metodą treningu zmienności rytmu serca (*heart rate variability*, HRV). Badania sugerują bowiem, że parametry HRV wyznaczone na podstawie sygnału PPT oraz EKG nie różnią się istotnie (Russoniello, Pougatchev, Zhirnov, Mahar, 2010).

Stosunkowo wiarygodnym, a jednocześnie łatwym w pomiarze, wskaźnikiem funkcjonowania układu sercowo-naczyniowego jest zmienność rytmu serca (*heart rate variability*, HRV). W odróżnieniu od metod bezpośredniej kontroli nad rytmem pracy serca, zmiany HRV wywoływane są pośrednio za pomocą manipulacji częstotliwością oddychania. Jest to możliwe dzięki fizjologicznemu sprzężeniu funkcjonowania układu sercowo-naczyniowego i układu oddechowego. Z jednej strony, częstotliwość tętna kontrolowana jest przez odruch z baroreceptorów, korygujący na bieżąco pracę serca w zależności od aktualnego poziomu ciśnienia krwi. Wzrost ciśnienia powyżej wartości optymalnej prowadzi do obniżenia częstości uderzeń serca (bradykardii), podczas gdy nadmierny spadek ciśnienia wywołuje skutek odwrotny (tachykardia). Idealne działanie tego systemu prowadziłoby do utrzymywania stałego, stabilnego ciśnienia krwi, jednakże funkcjonowanie układów biologicznych charakteryzują nieodzowne opóźnienia, wynikające chociażby z czasu koniecznego na przepływ informacji i uruchomienie reakcji fizjolo-

gicznej. Działanie odruchu z baroreceptorów obarczone jest 5-sekundowym opóźnieniem, co skutkuje powstawaniem pewnych odchyłeń od optymalnego poziomu ciśnienia krwi, występujących cyklicznie w okresach co 10 sekund. W rezultacie ciśnienie krwi oraz tętno fluktuują sinusoidalnie z częstotliwością około 0,1 Hz, choć dokładna częstotliwość podlega różnicom indywidualnym, wynikającym z osobniczych własności układu sercowo-naczyniowego (Vaschillo, Vaschillo, Lehrer, 2006). Z drugiej zaś strony, tętno podlega regulacji ze strony układu oddechowego w postaci niemiaryowości oddechowej (*respiratory sinus arrhythmia*, RSA; z tego powodu HRV-biofeedback występuje czasem pod nazwą RSA-biofeedback). Proces ten ma na celu optymalizację wymiany gazowej pomiędzy powietrzem a krwią, zachodzącej w pęcherzykach płucnych. Podczas wdechu częstotliwość bicia serca wzrasta (tachykardia), umożliwiając przetoczenie większej ilości krwi przez płuca, natomiast w czasie wydechu tętno zwalnia (bradykardia). Oddychanie w częstotliwości dopasowanej do opóźnienia występującego podczas działania odruchu z baroreceptorów prowadzi do synchronizacji obydwu zjawisk fizjologicznych oraz wywołania rezonansu fluktuacji ciśnienia krwi oraz tętna, wzmacniającego występujące oscylacje oraz ich amplitudę (Vaschillo i in., 2006). Zjawisko to znane jest także pod nazwą stanu koherencji (*coherence state*; McCraty i in., 2009).

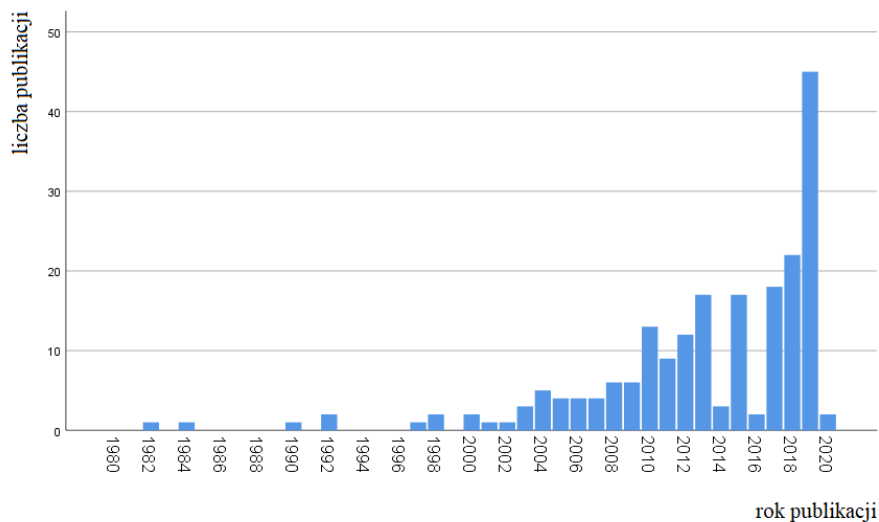
W badaniach wykorzystujących technikę biofeedbacku zmienności rytmu serca stosuje się monitorowanie rytmu serca oddzielnie bądź w połączeniu z respiracją (Yucha, Montgomery, 2008). Co ciekawe, rezonans w układzie sercowo-naczyniowym można wywołać nie tylko stosując odpowiednią częstotliwość oddychania, lecz również poprzez rytmiczne skurcze mięśni szkieletowych, oczywiście także w tempie 0,1 Hz, a więc 6 razy na minutę. Obydwa rodzaje interwencji wywołują porównywalne oscylacje funkcji sercowo-naczyniowych (HR, BP, przewodnictwo skórne, odległości między kolejnymi uderzeniami serca), aczkolwiek obserwuje się różnice płciowe, jako że w przypadku kobiet metoda oddechowa jest skuteczniejsza niż technika skurczu mięśni (Vaschillo, Vaschillo, Pandina, Bates, 2011).

Zmiany w poziomie HRV odzwierciedlają szereg procesów fizjologicznych. Oprócz odruchu z baroreceptorów, zmienność rytmu serca wyraża fizjologiczną przemienność pracy dwóch gałęzi autonomicznego układu nerwowego (AUN) – kontrolę współczulną i przywspółczulną. Spadek HRV związany z zanikiem fluktuacji tętna obrazuje zaburzenia pracy AUN, najczęściej spowodowane niewystarczającą aktywnością parasympatyczną (Yucha, Montgomery, 2008). Obszary mózgu zaangażowane w kontrolę HRV (m.in. ciało migdałowe oraz

przysiódkowa kora przedczołowa) są również odpowiedzialne za percepcję zagrożenia (Thayer, Ahs, Fredrikson, Sollers, Wager, 2012). Z tego względu wskaźniki zmienności rytmu serca odzwierciedlają poziom integracji pomiędzy centralną i podkorową regulacją pracy serca, jak również dalszą integrację układów związanych z aktywnością percepcyjną, motoryczną, interoceptywną oraz pamięciową w jeden „super system”, reprezentujący bieżącą sytuację oraz możliwe odpowiedzi adaptacyjne. W ten sposób wskaźniki HRV odzwierciedlają nie tylko stan układu sercowo-naczyniowego, ale też całego organizmu (Thayer i in., 2012). Metody wykorzystywane do obliczania wskaźników HRV dzieli się na liniowe oraz nieliniowe. Te ostatnie wywodzą się z zastosowania analizy złożoności, entropii oraz chaosu, niestety ich interpretacja fizjologiczna jest jak dotąd dość niejasna (Sassi i in., 2015). W zależności od podejścia do analizowanego sygnału, metody liniowe dzielą się na stosowane w domenie czasowej oraz w domenie przestrzennej. Wskaźniki liniowe odzwierciedlają rozmaite aspekty funkcjonowania układu sercowo-naczyniowego. Najlepiej ugruntowaną interpretację posiadają miary widmowe, utworzone poprzez podział widma mocy sygnału na trzy pasma: bardzo niskich (*very low frequencies*, VLF; 0,0033–0,04 Hz), niskich (*low frequencies*, LF; 0,04–0,15 Hz) oraz wysokich częstotliwości (*high frequencies*, HF; 0,15–0,40 Hz). Pomiar LF umożliwia ocenę odruchu z baroreceptorów oraz kontroli współczulnej AUN, podczas gdy poziom HF odpowiada za aktywność przywspółczulną AUN. Stosunek tych dwóch miar (LF/HF) bywa często używany jako wyznacznik równowagi autonomicznej organizmu. Wskaźnik VLF uznawany jest za odzwierciedlenie innych procesów fizjologicznych, jak regulacja ciepłota, hormonalna, czy kontrola stanów zapalnych (Berntson i in., 1997; Shaffer, Ginsberg, 2017).

Zastosowania HRV-BFB

Biofeedback oparty na HRV znalazł szerokie zastosowanie w psychologii, edukacji czy medycynie. Wraz z obserwowanym w ostatnich latach rozwojem badań dotyczących tej techniki, jej popularność i zakres aplikacji ciągle rośnie (rysunek 2).



Rysunek 2. Rosnąca popularność HRV biofeedbacku w badaniach naukowych zobrazowana liczbą publikacji zawierających słowa kluczowe „HRV” lub „RSA” oraz „biofeedback” według angielskojęzycznej wyszukiwarki w internetowych bazach danych PubMed. Źródło: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>.

Zastosowania kliniczne i subkliniczne. Wysoki poziom HRV odzwierciedla zbalansowaną aktywność obydwu gałęzi AUN oraz ogólną homeostazę (lub raczej, jako że mowa o układzie dynamicznym: homeorezę) całego organizmu. Z tego powodu HRV-BFB jest szczególnie użyteczny w terapii wszelkich zaburzeń związanych z przeżywaniem szeroko pojętego stresu (Giggins i in., 2013; Wheat, Larkin, 2010). Wiadomo m.in., że klinicznie istotne obniżenie poziomu lęku (82,8%) lub depresji (81,1%) przejawia się w istotnych zmianach na poziomie sygnału EEG, częstości oddechu oraz właśnie wskaźników HRV (White i in., 2017).

Trening zmienności rytmu serca stanowi doskonałą formę relaksacji w sytuacji doświadczania stresu zawodowego oraz szkolnego. Równoważy efekty stresu związanego z pracą na pozycji menadżerskiej poprzez redukcję poziomu lęku, poprawę jakości życia oraz wprowadzenie równowagi autonomicznej w układzie sercowo-naczyniowym (Munafò, Patron, Palomba, 2016). Wyniki neuroobrazowania techniką EEG wykonanego u osób doświadczających stresu zawodowego podczas pojedynczej sesji HRV-BFB oraz zaraz po interwencji

sugerują wzrost uwagi wewnętrznej oraz relaksacji (Prinsloo, Rauch, Karpul, Derman, 2013). Trening wydaje się być skuteczny u różnych grup podwyższonego ryzyka stresu oraz wypalenia zawodowego, takich jak funkcjonariusze policji (Weltman, Lamon, Freedy, Chartrand, 2014) czy opiekunowie paliatywni (Hasuo, Kanbara, Sakuma, Fukunaga, 2018), a nawet osoby bezrobotne (Wu, Gil, Lee, 2012). Podobnie biofeedback oparty na treningu HRV powoduje redukcję lęku rozumianego jako cecha lub stan, jak również negatywnego nastroju u lękowych studentów (Henriques, Keffer, Abrahamson, Horst, 2011; Lee, Kim, Wachholtz, 2015), obserwowalne już po jednej sesji (Meier, 2013; Meier, Welch, 2016). Efekty mogą być odroczone, co sugerują wyniki badań przeprowadzonych z grupą młodych sportowców, u których redukcja lęku oraz poprawa wskaźników funkcjonowania autonomicznego podczas egzaminu uwidoczniła się po 12 tygodniach od zakończenia treningu (Deschodt-Arsac, Lalanne, Spiluttini, Bertin, Arsac, 2018). Ze względu na łatwość zastosowania metody HRV-BFB, jest ona stosowana również w przypadku uczniów szkoły podstawowej oraz średniej, u których przeciwdziała efektom stresu szkolnego, skutkując poprawą HRV, wyników w nauce, obniżeniem poziomu lęku oraz negatywnego nastroju (Bradley i in., 2007; Bradley i in., 2010). Obserwuje się również poprawę radzenia sobie ze stresem i złością, redukcję zachowań ryzykownych, lepszą koncentrację oraz organizację pracy, poprawę relacji interpersonalnych, utrzymujące się po sześciu miesiącach (McCraty, Atkinson, Tomasino, Goelitz, Mayrovitz, 1999).

Trening zmienności rytmu serca redukuje też poczucie stresu i silnego lęku przed porodem (Narita, Shinohara, Kodama, 2018), jak również po przedwczesnym rozwiązaniu (Siepmann i in., 2014). Pomaga obniżyć lęk u dzieci i młodzieży (Pop-Jordanova, 2019), poprawia tolerancję na stres oraz redukuje dysfориę u młodych osób przejawiających wysokie ryzyko rozwoju psychozy (McAusland, Addington, 2018). Ponadto proponuje się HRV-BFB jako formę relaksacji podczas zabiegów dermatologicznych (Shenefelt, 2010) oraz koronarografii (Mikosch i in., 2010). Działa również terapeutycznie w leczeniu zespołu stresu pourazowego (PTSD), redukuje objawy agorafobii, uzależnienia, bezsenności i depresji, poprawia nastrój i poziom HRV (Gevirtz, Dalenberg, 2008; Tan, Dao, Farmer, Sutherland, Gevirtz, 2011; Zucker, Samuelson, Muench, Greenberg, Gevirtz, 2009). Oddziałuje także korzystnie na funkcje poznawcze, takie jak przetwarzanie informacji, uwaga, pamięć oraz uczenie się (Ginsberg, Berry, Powell, 2010), jak również odporność na stres fizjologiczny podczas symulacji sytuacji walki (Lewis i in., 2015). Mimo że nie wszystkie

badania potwierdzają przewagę tej techniki nad standardową formą leczenia PTSD (Lande, Williams, Francis, Gragnani, Morin, 2010), wydaje się ona być korzystną terapią dla weteranów, prowadzącą do poprawy HRV oraz większej aktywności fizycznej, a także redukcji odczuwanego stresu, bólu oraz negatywnych emocji (Berry i in., 2014). Ponadto biofeedback HRV obniża poziom lęku w zaburzeniach odżywiania (anoreksja, bulimia, napadowe objadanie się; Scolnick, Mostofsky, Keane, 2014), jak również w zaburzeniach lękowych oraz związanych z dysfunkcją autonomiczną (zespół lęku zgeneralizowanego, fobie, fobia społeczna, zaburzenie obsesyjno-kompulsyjne, zespół jelita drażliwego, bezsenność), w przypadku których dodatkowo obniża poziom złości oraz poprawia jakości snu (Reiner, 2008). W ciężkich zaburzeniach depresyjnych trening zmienności rytmu serca skutkuje redukcją symptomów depresyjnych oraz lęku, jak również poprawą poziomu HRV i jakości snu (Caldwell, 2015; Lin i in., 2019). Jest on skuteczny także w leczeniu stanów depresyjnych, lęku oraz bezsenności w depresji poporodowej (Beckham, Greene, Meltzer-Brody, 2013; Kudo, Shinohara, Kodama, 2014). Trening HRV-BFB redukuje też objawy depresyjne po operacji serca oraz po zawale mięśnia sercowego (Li i in., 2015; Patron i in., 2013), jak również w chorobie wieńcowej, w przypadku której dodatkowo obniża poziom wrogości (Yu, Lin, Fan, Chien, Lin, 2018) oraz w ostrej chorobie niedokrwiennej, w której ponadto obniża lęk, a także prowadzi do poprawy funkcjonowania poznawczego (Chang i in., 2019). W chorobach serca nieocenione są również medyczne efekty treningów zmienności rytmu serca, objawiające się trwałą poprawą HRV oraz redukcją liczby przypadków ponownej hospitalizacji i wizyt pogotowia ratunkowego w porównaniu z pacjentami poddanymi standardowemu leczeniu (Chang i in., 2019; Yu i in., 2018).

Szybko rosnąca liczba publikacji wskazuje na korzystne zastosowanie biofeedbacku HRV również w leczeniu uzależnienia od narkotyków oraz alkoholu, ponieważ redukuje on poziom odczuwanego głodu oraz lęku (Eddie, Kim, Lehrer, Deneke, Bates, 2014; Penzlin i in., 2017; Penzlin, Siepmann, Illigens, Weidner, Siepmann, 2015; Teeravisutkul, Chumchua, Saengcharnchai, Leelahanj, 2019). Metoda ta prowadzi do przywrócenia równowagi autonomicznej u uzależnionych od heroiny osób z objawami depresyjnymi (Lin, Ko, Fan, Yen, 2016), jak również tych nadużywających marihuany, u których dodatkowo sprzyja poprawie wyników akademickich, redukcji lęku oraz osiągnięciu i utrzymaniu trzeźwości (Thurstone, Lajoie, 2013). Trening HRV powoduje również obniżenie nadmiernego łaknienia w zaburzeniach odżywiania (Meule, Freund, Skirde, Vögele, Kübler, 2012; Meule, Kübler, 2017). Skutecz-

ność HRV-BFB w terapii uzależnień potwierdzają wyniki neuroobrazowania efektów treningu, np. najnowsze badania fMRI (Bates, Lesnewich, Uhouse, Gohel, Buckman, 2019) wskazują na redukcję aktywacji obszarów mózgu odpowiedzialnych za przetwarzanie informacji związanych z przedmiotem uzależnienia oraz wzrost pobudzenia obszarów zaangażowanych w kontrolę zachowania i poznanie ukierunkowane wewnątrz.

Technika ta wywołuje również szereg pozytywnych efektów psychofizjologicznych, takich jak efekt przeciwwzpalny (Lehrer i in., 2010; Lehrer, 2012; Nolan i in., 2012), przeciwbólowy (Chalaye, Goffaux, Lafrenaye, Marchand, 2009) czy poprawa jakości snu (Sakakibara, Hayano, Oikawa, Katsamanis, Lehrer, 2013). Trening HRV-BFB przynosi też znakomite efekty z pogranicza psychologii i medycyny, w terapii chorób psychosomatycznych oraz bólowych. W leczeniu syndromu chronicznego zmęczenia (*chronic fatigue syndrome*, CFS) redukuje odczuwane zmęczenie, obniża poziom depresji oraz poprawia psychiczną jakość życia poprzez wpływ na mechanizmy poznawcze podtrzymujące CFS (np. koncentrowanie się na zmęczeniu, dysfunkcjonalne przekonania na temat aktywności i zmęczenia; Windthorst i in., 2017). Ponadto dobrze sprawdza się w leczeniu zaburzeń seksualnych u kobiet (Stanton, Boyd, Fogarty, Meston, 2019). Co więcej, dowiedziono, że nawet pojedyncza krótka sesja treningowa obniża podatność na stres, redukując objawy astmatyczne (Taghizadeh, Eslaminejad, Raoufy, 2019). Dwa studia przypadków donoszą także o skutecznym zastosowaniu biofeedbacku zmienności rytmu serca w leczeniu nieresponsywnej formy zespołu wymiotów cyklicznych (Slutsker, Konichezky, Gothelf, 2010) oraz chronicznej czkawki (Hurst, Purdom, Hogan, 2013), w przypadku których terapia doprowadziła do całkowitego ustania objawów. Spośród zaburzeń bólowych, biofeedback HRV wydaje się być dobrym podejściem terapeutycznym w leczeniu fibromialgii, gdyż sprzyja redukcji objawów depresyjnych oraz symptomów bólowych, jak również poprawie jakości snu oraz funkcjonowania autonomicznego i somatycznego (Reneau, 2019). Prowadzi także do obniżenia objawów bólowych oraz poprawia funkcjonowanie w przypadku czynnościowego bólu brzucha u dzieci (Sowder, Gevirtz, Shapiro, Ebert, 2010), zespołu jelita drażliwego (Stern, Guiles, Gevirtz, 2014), bólów menstruacyjnych (Berger i in., 2019), chronicznego bólu szyi i barku (Hallman, Olsson, von Schéele, Melin, Lyskov, 2011). Ponadto, już jedna sesja treningowa skutkuje poprawą wskaźników HRV, poczucia kontroli i redukcją stanu paranoi w subklinicznych zaburzeniach psychotycznych (Clamor, Koenig, Thayer, Lincoln, 2016). Obserwuje się również obiecujące efekty wzmacniania

zmienności rytmu serca w przypadku nabytego ciężkiego uszkodzenia mózgu w postaci poprawy funkcjonowania oraz redukcji dysregulacji emocjonalnej (Kim i in., 2018; Kim i in., 2013; Kim i in., 2019).

Poprawa funkcjonowania poznawczego. Poza intensywnym rozwojem zastosowań biofeedbacku HRV w kierunku leczenia zaburzeń nerwicowych, afektywnych i powiązanych, drugą silnie rozwijającą się gałęzią badań w tej dziedzinie jest trening funkcjonowania poznawczego. Wydaje się, że HRV-BFB jest w stanie wzmacniać funkcje poznawcze w stopniu porównywalnym do popularnego i chętnie stosowanego w gabinetach terapeutycznych oraz pedagogicznych neurofeedbacku (Gruzelier, Thompson, Redding, Brandt, Steffert, 2014; Thayer, Lane, 2009). Trening zmienności rytmu serca wywołuje stan jednoczesnej relaksacji oraz uważności, charakteryzujący się znaczną poprawą wykonania zadań poznawczych pod względem czasu i poprawności reakcji (Prinsloo, Derman, Lambert, Laurie Rauch, 2013). Poprawę funkcjonowania poznawczego obserwuje się zarówno w badaniach skupiających się na zaburzeniach neuropsychologicznych, jak również w tych prowadzonych z udziałem osób zdrowych.

W leczeniu zaburzeń uwagowych oraz hiperaktywności z impulsywnością zaobserwowano skuteczne efekty połączenia terapii neurofeedback z HRV-biofeedback w postaci poprawy koncentracji uwagi oraz wyników w zakresie ADHD u 87,2% dorosłych oraz 80,0% dzieci. Badanie EEG, wykonane przed oraz po serii treningów, wykazało przesunięcie parametrów qEEG w kierunku prawidłowego zapisu, określonego w bazach normatywnych (Groeneveld i in., 2019).

U osób zdrowych po treningu HRV-BFB obserwuje się ogólną relaksację oraz poprawę funkcjonowania poznawczego, w tym uwagowego (Prinsloo, Rauch i in., 2013; Prinsloo i in., 2011), widoczne w postaci zmian w aktywności bioelektrycznej mózgu już po jednej sesji (Sherlin, Gevirtz, Wyckoff, Muench, 2009; Sherlin, Muench, Wyckoff, 2010). Ponadto zastosowanie biofeedbacku HRV skutkuje poprawą funkcjonowania emocjonalnego, pamięci epizodycznej (Francis, Penglis, McDonald, 2016), wzrostem uspokojenia, poprawą wskaźników HRV oraz skróceniem czasu reakcji w zadaniu uwagowym już po pojedynczej sesji (McCraty, 2002). Co więcej, zaobserwowano poprawę kontroli emocjonalnej w odpowiedzi na bodźce wywołujące gniew oraz lepszą regulację powiązanej reakcji fizjologicznej (Francis i in., 2016), a także niższe niż w grupie kontrolnej ciśnienie krwi w reakcji na stres arytmetyczny oraz lepszy nastrój (Steffen, Austin, DeBarros, Brown, 2017). Poprawę funkcyjono-

wania obserwuje się również u osób starszych: w wyniku treningu HRV-BFB zanotowano obniżenie poziomu depresji oraz lęku, poprawę funkcjonowania uwagi, poziomu pozytywnego nastroju, jakości snu oraz radzenia sobie ze stresem (Jester, Rozek, McKelley, 2019). Jednakże aby oddać rzetelnie stan obecnych badań, należy wziąć pod uwagę również doniesienia podające w wątpliwość pozytywny wpływ biofeedbacku zmienności rytmu serca na poziom odczuwanego stresu oraz negatywnego afektu (Whited, Larkin, Whited, 2014), poprawę regulacji emocjonalnej, hamowania, pamięci roboczej oraz giętkości poznawczej u dzieci (Kenien, 2015), a także wykonania poznawczego w wyniku pojedynczej sesji (Lee, Finkelstein, 2015).

Podobnie ze względu na jego wpływ na funkcje poznawcze, jak i funkcjonowanie autonomiczne, badacze sugerują stosowanie treningu HRV-BFB w celu redukcji odczuwanego lęku oraz poprawy osiągnięć (*performance enhancement*) w sporcie, tańcu, muzyce i funkcjonowaniu poznawczym w warunkach wysokiego obciążenia. Badania funkcjonowania operatorów maszyn, pracujących w warunkach długotrwałej, wytężonej uwagi, potwierdzają pozytywny wpływ treningu zmienności rytmu serca na wskaźniki HRV, nastroj, szybkość przetwarzania informacji, liczbę popełnianych błędów (Suvorov, 2006), działanie pamięci, uwagi oraz funkcji wykonawczych (Sutarto, Wahab, Zin, 2010), jak również poziom stresu, lęku oraz depresji (Sutarto, Wahab, Zin, 2012). Podjęto również próby zastosowania biofeedbacku HRV w celu podniesienia poziomu kreatywności oraz poprawy osiągnięć zawodowych artystów. Wyniki wskazują, że HRV-BFB wpłynął pozytywnie na poziom artyzmu oraz techniki wykonania tancerzy baletowych (Raymond, Sajid, Parkinson, Gruzelier, 2005) oraz studentów tańca współczesnego, u których zaobserwowano również wzrost HRV oraz redukcję poziomu lęku (Gruzelier i in., 2014). Podobnie w przypadku zawodowych muzyków już pojedyncza 30-minutowa sesja treningu HRV doprowadziła do obniżenia poziomu lęku wywołanego silnie stresującym wystąpieniem muzycznym (Wells, Outhred, Heathers, Quintana, Kemp, 2012). W związku z powyższym, autorzy sugerują zastosowanie biofeedbacku HRV jako skutecznej interwencji w leczeniu lęku przed publicznym wystąpieniem muzycznym (*music performance anxiety*, MPA).

Zbliżone wyniki uzyskano w przypadku badania wpływu działania techniki HRV-BFB na zawodowych sportowców, którzy w wyniku treningu wykazali wzrost HRV oraz pewności siebie, redukcję stresu, złości, napięcia oraz zmęczenia, jak również ataków paniki, poziomu lęku i depresji. Prowadziło to do osiągnięcia osobistych rekordów w grze w golfa (Lagos i in., 2011). Po-

dobnie wyglądały efekty treningu w przypadku profesjonalnych bejsbolistów, manifestujące się jako poprawa reakcji na sytuacje krytyczne, koncentracji na zadaniu oraz wydajności wykonania (Carlstedt, 2007) oraz zawodowych koszykarzy, u których wykazano trwałą poprawę koncentracji, czasu reakcji podejmowania decyzji, szybkości i celności w grze, ale też redukcję lęku jako stanu oraz cechy (Paul, Garg, 2012). W badaniach Rijken i in. (2016) zdolność koncentracji, stabilność emocjonalna, poziom HRV oraz moc sygnału EEG w paśmie alfa poprawiła się w wyniku zastosowania biofeedbacku HRV również u zawodowych piłkarzy. Co więcej, trening HRV pomaga uzyskać lepszą regulację emocji nie tylko podczas zawodów sportowych, lecz również w życiu codziennym (Gross i in., 2016), a znaczna redukcja poziomu lęku przejawia się w neuroobrazowaniu EEG w postaci zmian aktywności fal mózgowych – ściślej, w symetrii fal alfa, jak również mocy fal alfa oraz theta (Dziembowska i in., 2016). Technika HRV-BFB jest użyteczna w sporcie również po kontuzji, powodując poprawę stanu psychicznego oraz fizycznego sportowców, redukcję odczuwanego bólu oraz przyspieszenie procesu gojenia (Rollo, 2014). Przegląd literatury dotyczącej zastosowania tej techniki w sporcie, ćwiczeniach fizycznych oraz rehabilitacji urazów i kontuzji wskazuje na dobroczynny wpływ treningu na redukcję psychospołecznego stresu, rozwoju chronicznych form doświadczanych chorób oraz związanej z nimi śmiertelności (Prinsloo, Rauch, Derman, 2014). A zatem HRV-BFB jest terapią stosowaną z powodzeniem w sporcie, rehabilitacji, a nawet leczeniu wstrząsów pourazowych w armii (przegląd badań w: Conder, Conder, 2014; Prinsloo i in., 2014).

Biofeedback multimodalny

W ostatnim czasie szczególnym zainteresowaniem cieszy się biofeedback multimodalny, a więc połączenie szeregu różnych rodzajów biofeedbacku w celu lepszego odzwierciedlenia zachodzących procesów psychofizjologicznych. Przykładem tego typu zastosowań jest wielomodalna kontrola interfejsu mózg-komputer oraz np. gry komputerowe sterowane biologicznym sygnałem zwrotnym (takim jak przewodnictwo skórne, tętno oraz temperatura). Zaskakująca jest łatwość uczenia w tego typu systemach, w przypadku których użytkownik jest w stanie nabyć pełną kontrolę już podczas pierwszej sesji treningowej (Parente, Parente, 2006). Inną popularną dziedziną, w której biofeedback wielu modalności znalazł zastosowanie, jest poprawa osiągnięć

oraz odporności na stres u zawodowych sportowców. W badaniu z udziałem wybitnych przedstawicieli różnych dyscyplin sportowych zastosowano wielomodalny trening z wykorzystaniem biofeedbacku w zakresie oddechu, przewodnictwa skórniego, amplitudy przepływu krwi, rytmu serca, jego zmienności oraz koherencji z oddechem. W odpowiedzi na stresor sportowcy poddani treningowi biofeedback lepiej kontrolowali przewodnictwo skórne i HR oraz uzyskiwali wyższy poziom koherencji w porównaniu z bierną grupą kontrolną. W badaniu odroczonym rok po zakończeniu treningów wszyscy uczestnicy grupy eksperymentalnej nadal stosowali wyuczone techniki autoregulacji, a także przypisywali treningowi zasługi w poprawie osiągnięć oraz ogólnego samopoczucia (Pusenjak, Grad, Tusak, Leskovsek, Schwarzlin, 2015). Wybór dodatkowych modalności zależy m.in. od celu prowadzenia terapii, np. w leczeniu przewlekłej obturacyjnej choroby płuc oprócz HRV-BFB zastosowano pulsoksymetrię (Giardino, Chan, Borson, 2004). W terapii zaburzeń depresyjnych oraz lękowych White i in. (2017) połączyli HRV-BFB z neurofeedbackiem, zaś Groenvelde i in. (2019) w leczeniu ADHD – z tzw. terapią Z-score neurofeedback, w której różne miary EEG (takie jak moc, amplituda, koherencja oraz faza sygnału) sprowadza się do pojedynczego znormalizowanego wskaźnika Z-score, podlegającego manipulacji podczas treningu.

Zalety i wady HRV-BFB

Ogromną przewagą biofeedbacku nad wieloma tradycyjnymi (np. farmakologicznymi, operacyjnymi) formami leczenia jest minimalne ryzyko efektów ubocznych (Nagai, 2011). Technika ta bazuje na wykorzystaniu regeneracyjnych odpowiedzi własnego ciała, przez co jest zasadniczo zupełnie nieinwazyjna (Yucha, Montgomery, 2008). Jedyne łagodne skutki uboczne, występujące podczas lub krótko po treningu, obejmują bóle głowy, mdłości, uczucie lęku i/lub zmęczenia, zawroty głowy i senność. Mogą być spowodowane zbyt długim trwaniem sesji, jednakże już po krótkim czasie ustępują całkowicie (Hammond, 2011; Lehrer, 2012; Reiner, 2008; Sierpina, Astin, Giordano, 2007), a z kolei pozytywne efekty często utrzymują się nawet do 10 lat po zakończeniu treningu (Parnandi, Gutierrez-Osuna, 2017). W leczeniu stresu terapia HRV-BFB wydaje się dawać podobne efekty jak medytacja mindfulness czy ćwiczenia fizyczne (de Bruin, van der Zwan, Bögels, 2016; van der Zwan, de Vente, Huizink, Bögels, de Bruin, 2015). Ostatnie lata przyniosły rozkwit

technologii wirtualnej (*virtual reality*, VR) oraz gier wideo w nurcie tzw. *exergaming* (*exercising by gaming*, ćwiczenie poprzez granie), otwierając nowe możliwości dla biofeedbacku immersyjnego. Jest to zdecydowanie bardziej atrakcyjna i rozrywkowa forma treningu (Giggins i in., 2013). W porównaniu ze standardową metodą HRV-BFB, trening w VR wzmógł relaksację i poprawił koncentrację uwagi na zadaniu treningowym (Blum, Rockstroh, Göritz, 2019). Mimo coraz nowszych i bardziej angażujących form prezentowania sygnału, warto uczyć internalizacji stosowanej techniki. Badania dowodzą bowiem, że w przypadku stopniowego uniezależniania osób trenujących od informacji zwrotnej, uzyskuje się silniejsze i trwalsze efekty treningu np. w redukcji bólu chronicznego (Weeks, Whitney, Tindall, Carter, 2015). Warto również stosować treningi w warunkach ekologicznych, co sprzyja uzyskaniu długotrwałych efektów oraz ich transferowi na sytuacje życia codziennego (Yucha, Montgomery, 2008). Obecnie poddanie się treningowi HRV biofeedback nie wymaga już wizyt w laboratorium lub wyspecjalizowanych przychodniach i gabinetach terapeutycznych. Coraz większy wybór programów komputerowych (Lee, Finkelstein, 2015) oraz aplikacji (Abtahi, Berndtsson, Abtahi, Seoane, Lindecrantz, 2014) i gier na smartfony (Schumann, Köhler, Brotte, Bär, 2019) umożliwia odbywanie sesji treningowych w warunkach domowych. Obecnie można już dokonać dokładnego pomiaru HRV nawet za pomocą wbudowanej w smartfon lampy aparatu fotograficznego, zastosowanej jako sensor pletyzmograficzny (Bánhalmi i in., 2018). Decydując się na trening z wykorzystaniem telefonu, warto jednak zaopatrzyć się w kompatybilny czujnik. Długotrwałe działanie lampy jest energochłonne i prowadzi do silnego nagrzewania się urządzenia, co z kolei jest mocno niekomfortowe, a czasem wręcz niebezpieczne dla użytkownika (grozi poparzeniem).

Postęp technologiczny umożliwił zastosowanie mikrosensorów w niewielkich przenośnych urządzeniach służących do kontroli poziomu doświadczanego stresu poprzez biofeedback. Powstał w ten sposób prototyp tkaniny intarsjowanej przewodzącym włóknem, zastosowanym w celu monitorowania oddechu na potrzeby biofeedbacku zmienności rytmu serca, rejestrującym sygnały na zadowalającym poziomie, zbliżonym do urządzeń mierzących EKG lub bioimpedancję (Abtahi, Ji, Lu, Rodby, Seoane, 2015). Dla dzieci projektuje się nawet pluszaki pomagające w kontrolowaniu HRV (Uratani, Yoshino, Ohsuga, 2014).

W Polsce metoda HRV biofeedback nie ma statusu procedury medycznej, treningi dostępne są w komercyjnej ofercie nielicznych prywatnych gabinetów terapeutycznych. Jako przedmiot rodzimych badań naukowych HRV-BFB cieszy

się równie niewielką popularnością. Nieliczne opublikowane prace dotyczą interwencji w przypadku ostrych zespołów wieńcowych (Sztembis, Moss, 2004), uzależnienia od hazardu (Gorzelańczyk, Feit, Pasgreta, Laskowska, Walecki, 2016), poprawy funkcjonowania młodych sportowców (Dziembowska i in., 2016; Ziółkowski i in., 2012) oraz efektów rytmicznego oddychania o częstotliwości 0,1 Hz (Szulczewski, Rynkiewicz, 2018). Ponadto autorzy niniejszego rozdziału przeprowadzili badanie wpływu treningu zmienności rytmu serca na pracę mózgu, funkcjonowanie uwagi oraz myślenia twórczego u osób zdrowych. Projekt jest obecnie w fazie analizy zebranych danych.

Choć technika HRV-BFB jest bardzo obiecująca, jej metodologia cierpi z powodu braku jasnych wytycznych w kwestii liczby, częstotliwości i długości trwania sesji treningowych oraz kryterium jakościowego, pozwalającego określić poziom opanowania trenowanej techniki. Podobnymi problemami dotknięte były terapie wykorzystujące pozostałe modalności BFB. Z tego powodu w 2001 roku grupa zadaniowa powołana przez Stowarzyszenie ds. Psychofizjologii Stosowanej i Biofeedbacku (*Association for Applied Psychophysiology and Biofeedback*, AAPB) oraz Międzynarodowe Towarzystwo ds. Regulacji Neuronalnej (*International Society for Neuronal Regulation*, ISNR) opublikowała oficjalne standardy metodologii badawczej. W oparciu o ówczesnie dostępne badania, opracowano pięciostopniową skalę oceny skuteczności terapii biofeedback w rozmaitych zaburzeniach zdrowotnych (Yucha, Gilbert, 2004). Niestety, ze względu na specyficzną naturę biofeedbacku, często niezwykle trudno jest sprostać wszystkim sformułowanym przez nich kryteriom, jak np. zastosowanie podwójnie ślepej próby w terapii opartej na samoświadomości. Z tego powodu rzadko stosuje się ją klinicznie jako samodzielną formę terapii, a raczej w połączeniu z inną, bardziej klasyczną formą interwencji (Thabrew, Ruppeltdt, Sollers, 2018). Na przykład z psychoterapią w leczeniu depresji (Caldwell, Steffen, 2018), standardową terapią uzależnień (Eddie, Vaschillo, Vaschillo, Lehrer, 2015), terapią ćwiczeń gradualnych w leczeniu syndromu chronicznego zmęczenia (Windthorst i in., 2017) lub w ramach przygotowania do psychoterapii, zwracając uwagę pacjenta na wpływ, jaki myśli i uczucia wywierają na reakcje całego ciała (Kropp, Gerber, Keinath-Specht, Kopal, Niederberger, 1997).

Wiele współczesnych badań wciąż nie jest prawidłowo kontrolowanych, np. nie bierze pod uwagę efektu placebo, jest wykonanych z udziałem bardzo małych grup i bez podawania siły efektu, choć na szczęście trend w kierunku poprawy jest silny i obiecujący. Nadal jednak istnieją luki w stosowanej meto-

dologii, takie jak np. brak standaryzacji protokołów treningowych (lokalizacja rejestracji sygnału, pozycja treningowa, liczba, częstotliwość i czas trwania sesji lub kryterium treningowe), ujednolicenia pomiarów i analizowanych wskaźników pomiędzy badaniami. Dzięki metodycznemu wysiłkowi badaczy, biofeedback może stać się standaryzowaną, dobrze zorganizowaną i właściwie kontrolowaną techniką terapeutyczną, dzięki czemu przestanie być postrzegany jako podejście „magiczne”, lub co najmniej „podejrzane”. Pozwoliłoby to na szerokie zastosowanie biofeedbacku w placówkach służby zdrowia oraz edukacyjnych jako refundowanej terapii, stanowiącej podstawową formę leczenia, skierowanej zwłaszcza, choć nie tylko, do grup szczególnego ryzyka (dzieci, osoby starsze, osłabione, pacjenci nie reagujący na tradycyjne leczenie), terapii silnie zindywidualizowanej, naturalnej, opartej na samoregulacji, bez ryzyka efektów ubocznych (Hammond, 2011; Yucha, Gilbert, 2004). Oczywiście ceną za wysoką indywidualizację będzie wzrost niekontrolowanej zmienności, obniżający naukową rzetelność badań (Yucha, Gilbert, 2004), jednakże cena ta nie wydaje się zbyt wygórowana, kiedy mowa o ludzkim zdrowiu i życiu.

Literatura cytowana

- Abtahi, F., Berndtsson, A., Abtahi, S., Seoane, F., Lindecrantz, K. (2014). Development and preliminary evaluation of an Android based heart rate variability biofeedback system. *Proceedings of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Annual Conference*, 3382–3385. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2014.6944348>
- Abtahi, F., Ji, G., Lu, K., Rodby, K., Seoane, F. (2015). A knitted garment using intarsia technique for Heart Rate Variability biofeedback: Evaluation of initial prototype. *Proceedings of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 2015*, 3121–3124. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2015.7319053>
- Bánhalmi, A., Borbás, J., Fidrich, M., Bilicki, V., Gingl, Z., Rudas, L. (2018). Analysis of a pulse rate variability measurement using a smartphone camera. *Journal of Healthcare Engineering*, 2018(11), 1–15. <https://doi.org/10.1155/2018/4038034>
- Bates, M. E., Lesnewich, L. M., Uhouse, S. G., Gohel, S., Buckman, J. F. (2019). Resonance-paced breathing alters neural response to visual cues: Proof-of-concept for a neuroscience-informed adjunct to addiction treatments. *Frontiers in Psychiatry*, 10, 624. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2019.00624>
- Beckham, A. J., Greene, T. B., Meltzer-Brody, S. (2013). A pilot study of heart rate variability biofeedback therapy in the treatment of perinatal depression on a spe-

- cialized perinatal psychiatry inpatient unit. *Archives of Women's Mental Health*, 16(1), 59–65. <https://doi.org/10.1007/s00737-012-0318-7>
- Berger, B., Böning, A., Martin, H., Fazeli, A., Martin, D. D., Vagedes, J. (2019). Personal perception and body awareness of dysmenorrhea and the effects of rhythmical massage therapy and heart rate variability biofeedback—A qualitative study in the context of a randomized controlled trial. *Complementary Therapies in Medicine*, 45, 280–288. <https://doi.org/10.1016/j.ctim.2019.04.007>
- Berntson, G. G., Bigger, J. T., Jr., Eckberg, D. L., Grossman, P., Kaufmann, P. G., Malik, M., ..., van der Molen, M. W. (1997). Heart rate variability: Origins, methods, and interpretive caveats. *Psychophysiology*, 34(6), 623–648. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1997.tb02140.x>
- Berry, M. E., Chapple, I. T., Ginsberg, J. P., Gleichauf, K. J., Meyer, J. A., Nagpal, M. L. (2014). Non-pharmacological intervention for chronic pain in veterans: A pilot study of heart rate variability biofeedback. *Global Advances in Health and Medicine*, 3(2), 28–33. <https://doi.org/10.7453/gahmj.2013.075>
- Blum, J., Rockstroh, C., Göritz, A. S. (2019). Heart rate variability biofeedback based on slow-paced breathing with immersive virtual reality nature scenery. *Frontiers in Psychology*, 10, 2172. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02172>
- Bradley, R. T., McCraty, R., Atkinson, M., Arguelles, L., Rees, R. A., Tomasino, D. (2007). *Reducing test anxiety and improving test performance in America's schools. Results from the TestEdge® National Demonstration Study*. Boulder Creek: HeartMath Research Center.
- Bradley, R. T., McCraty, R., Atkinson, M., Tomasino, D., Daugherty, A., Arguelles, L. (2010). Emotion self-regulation, psychophysiological coherence, and test anxiety: Results from an experiment using electrophysiological measures. *Applied Psychophysiology Biofeedback*, 35(4), 261–283. <https://doi.org/10.1007/s10484-010-9134-x>
- Caldwell, H. W. (2015). Impact of heart-rate variability biofeedback on major depression disorder in resting-state fMRI. *Theses and Dissertations*, 5633. Pobrane z: <https://scholarsarchive.byu.edu/etd/5633/>
- Caldwell, Y. T., Steffen, P. R. (2018). Adding HRV biofeedback to psychotherapy increases heart rate variability and improves the treatment of major depressive disorder. *International Journal of Psychophysiology*, 131, 96–101. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2018.01.001>
- Carlstedt, R. A. (2007). Integrative evidence-based athlete assessment and intervention: A field-tested and validated protocol American board of sport psychology. *The Journal of the American Board of Sport Psychology*, 1, 1–30.
- Chalaye, P., Goffaux, P., Lafrenaye, S., Marchand, S. (2009). Respiratory effects on experimental heat pain and cardiac activity. *Pain Medicine*, 10(8), 1334–1340. <https://doi.org/10.1111/j.1526-4637.2009.00681.x>

- Chang, W. L., Lee, J. T., Li, C. R., Davis, A. H. T., Yang, C. C., Chen, Y. J. (2019). Effects of heart rate variability biofeedback in patients with acute ischemic stroke: A randomized controlled trial. *Biological Research for Nursing*, 22(1), 34–44. <https://doi.org/10.1177/1099800419881210>
- Clamor, A., Koenig, J., Thayer, J. F., Lincoln, T. M. (2016). A randomized-controlled trial of heart rate variability biofeedback for psychotic symptoms. *Behaviour Research and Therapy*, 87, 207–215. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2016.10.003>
- Conder, R. L., Conder, A. A. (2014). Heart rate variability interventions for concussion and rehabilitation. *Frontiers in Psychology*, 5, 890. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00890>
- de Bruin, E. I., van der Zwan, J. E., Bögels, S. M. (2016). A RCT comparing daily mindfulness meditations, biofeedback exercises, and daily physical exercise on attention control, executive functioning, mindful awareness, self-compassion, and worrying in stressed young adults. *Mindfulness*, 7(5), 1182–1192. <https://doi.org/10.1007/s12671-016-0561-5>
- Deschodt-Arsac, V., Lalanne, R., Spiluttini, B., Bertin, C., Arsac, L. M. (2018). Effects of heart rate variability biofeedback training in athletes exposed to stress of university examinations. *PLoS ONE*, 13(7), e0201388. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201388>
- Dziembowska, I., Izdebski, P. P., Rasmus, A., Brudny, J., Grzelczak, M., Cysewski, P. (2016). Effects of heart rate variability biofeedback on EEG alpha asymmetry and anxiety symptoms in male athletes: A pilot study. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 41(2), 141–150. <https://doi.org/10.1007/s10484-015-9319-4>
- Eddie, D., Kim, C., Lehrer, P., Deneke, E., Bates, M. E. (2014). A pilot study of brief heart rate variability biofeedback to reduce craving in young adult men receiving inpatient treatment for substance use disorders. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 39(3–4), 181–192. <https://doi.org/10.1007/s10484-014-9251-z>
- Eddie, D., Vaschillo, E., Vaschillo, B., Lehrer, P. (2015). Heart rate variability biofeedback: Theoretical basis, delivery, and its potential for the treatment of substance use disorders. *Addiction Research and Theory*, 23(4), 266–272. <https://doi.org/10.3109/16066359.2015.1011625>
- Francis, H. M., Penglis, K. M., McDonald, S. (2016). Manipulation of heart rate variability can modify response to anger-inducing stimuli. *Social Neuroscience*, 11(5), 545–552. <https://doi.org/10.1080/17470919.2015.1115777>
- Gevirtz, R., Dalenberg, C. (2008). Heart rate variability biofeedback in the treatment of trauma symptoms. *Biofeedback*, 36(1), 22–23.
- Giardino, N. D., Chan, L., Borson, S. (2004). Combined heart rate variability and pulse oximetry biofeedback for chronic obstructive pulmonary disease: Preliminary findings. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 29(2), 121–133. <https://doi.org/10.1023/B:APBI.0000026638.64386.89>
- Giggins, O. M., Persson, U., Caulfield, B., Tate, J., Milner, C., Onate, J., ... Fitzgerald, D. (2013). Biofeedback in rehabilitation. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 10(1), 60. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-10-60>

- Ginsberg, J. P., Berry, M. E., Powell, D. A. (2010). Cardiac coherence and posttraumatic stress disorder in combat veterans. *Alternative Therapies in Health and Medicine*, 16(4), 52–60.
- Gorzelańczyk, E., Feit, J., Pasgreta, K., Laskowska, E., Walecki, P. (2016). Effects of BF-HRV of opioid-dependent persons with pathological gambling. *European Psychiatry*, 33(Suppl), S389. <https://doi.org/10.1016/j.eurpsy.2016.01.1106>Get rights and content
- Groeneveld, K. M., Mennenga, A. M., Heidelberg, R. C., Martin, R. E., Tittle, R. K., Meeuwssen, K. D., ..., White, E. K. (2019). Z-score neurofeedback and heart rate variability training for adults and children with symptoms of attention-deficit/hyperactivity disorder: A retrospective study. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 44(4), 291–308. <https://doi.org/10.1007/s10484-019-09439-x>
- Gross, M. J., Shearer, D. A., Bringer, J. D., Hall, R., Cook, C. J., Kilduff, L. P. (2016). Abbreviated resonant frequency training to augment heart rate variability and enhance on-demand emotional regulation in elite sport support staff. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 41(3), 263–274. <https://doi.org/10.1007/s10484-015-9330-9>
- Gruzelier, J. H. H., Thompson, T., Redding, E., Brandt, R., Steffert, T. (2014). Application of alpha/theta neurofeedback and heart rate variability training to young contemporary dancers: State anxiety and creativity. *International Journal of Psychophysiology*, 93(1), 105–111. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2013.05.004>
- Hallman, D. M., Olsson, E. M. G., von Schéele, B., Melin, L., Lyskov, E. (2011). Effects of heart rate variability biofeedback in subjects with stress-related chronic neck pain: A pilot study. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 36(2), 71–80. <https://doi.org/10.1007/s10484-011-9147-0>
- Hammond, D. C. (2011). What is neurofeedback: An update. *Journal of Neurotherapy*, 15(4), 305–336. <https://doi.org/10.1080/10874208.2011.623090>
- Hasuo, H., Kanbara, K., Sakuma, H., Fukunaga, M. (2018). Awareness of comfort immediately after a relaxation therapy session affects future quality of life and autonomic function: A prospective cohort study on the expectations of therapy. *BioPsychoSocial Medicine*, 12(1). <https://doi.org/10.1186/s13030-018-0135-y>
- Henriques, G., Keffer, S., Abrahamson, C., Horst, S. J. (2011). Exploring the effectiveness of a computer-based heart rate variability biofeedback program in reducing anxiety in college students. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 36(2), 101–112. <https://doi.org/10.1007/s10484-011-9151-4>
- Hoon, E. F. (1980). Biofeedback-assisted sexual arousal in females: A comparison of visual and auditory modalities. *Biofeedback and Self-Regulation*, 5(2), 175–191.
- Hurst, D. F., Purdom, C. L., Hogan, M. J. (2013). Use of paced respiration to alleviate intractable hiccups (Singultus): A case report. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 38(2), 157–160. <https://doi.org/10.1007/s10484-013-9215-8>

- Jester, D. J., Rozek, E. K., McKelley, R. A. (2019). Heart rate variability biofeedback: Implications for cognitive and psychiatric effects in older adults. *Aging and Mental Health*, 23(5), 574–580. <https://doi.org/10.1080/13607863.2018.1432031>
- Kenien, N. (2015). The impact of cardiac coherence on executive functioning in children with emotional disturbances. *Global Advances in Health and Medicine*, 4(2), 25–29. <https://doi.org/10.7453/gahmj.2014.060>
- Kim, S., Rath, J. F., Zemon, V., Cavallo, M. M., McCraty, R., Sostre, A., Foley, F. W. (2018). Problem solving, biofeedback, and severe brain injury: The moderating role of positive affect. *Rehabilitation Psychology*, 63(1), 148–154. <https://doi.org/10.1037/rep0000197>
- Kim, S., Zemon, V., Cavallo, M. M., Rath, J. F., McCraty, R., Foley, F. W. (2013). Heart rate variability biofeedback, executive functioning and chronic brain injury. *Brain Injury*, 27(2), 209–222. <https://doi.org/10.3109/02699052.2012.729292>
- Kim, S., Zemon, V., Lehrer, P., McCraty, R., Cavallo, M. M., Raghavan, P., ..., Foley, F. W. (2019). Emotion regulation after acquired brain injury: A study of heart rate variability, attentional control, and psychophysiology. *Brain Injury*, 33(8), 1012–1020. <https://doi.org/10.1080/02699052.2019.1593506>
- Kropp, P., Gerber, W. D., Keinath-Specht, A., Kopal, T., Niederberger, U. (1997). Behavioral treatment in migraine. Cognitive-behavioral therapy and blood-volume-pulse biofeedback: A cross-over study with a two-year follow-up. *Functional Neurology*, 12(1), 17–24.
- Kudo, N., Shinohara, H., Kodama, H. (2014). Heart rate variability biofeedback intervention for reduction of psychological stress during the early postpartum period. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 39(3–4), 203–211. <https://doi.org/10.1007/s10484-014-9259-4>
- Lagos, L., Vaschillo, E., Vaschillo, B., Lehrer, P., Bates, M. E., Pandina, R. (2011). Virtual reality-assisted heart rate variability biofeedback as a strategy to improve golf performance: A case study. *Biofeedback*, 39(1), 15–20. <https://doi.org/10.5298/1081-5937-39.1.11>
- Lande, R. G., Williams, L. B., Francis, J. L., Gagnani, C., Morin, M. L. (2010). Efficacy of biofeedback for post-traumatic stress disorder. *Complementary Therapies in Medicine*, 18(6), 256–259. <https://doi.org/10.1016/j.ctim.2010.08.004>
- Lee, J., Finkelstein, J. (2015). Evaluation of a portable stress management device. *Studies in Health Technology and Informatics*, 208, 248–252. <https://doi.org/10.3233/978-1-61499-488-6-248>
- Lee, J., Kim, J. K., Wachholtz, A. (2015). The benefit of heart rate variability biofeedback and relaxation training in reducing trait anxiety. *Han'guk Simni Hakhoe Chi. Kon'gang = The Korean Journal of Health Psychology*, 20(2), 391–408. <https://doi.org/10.17315/kjhp.2015.20.2.002>
- Lehrer, P., Karavidas, M. K., Lu, S.-E., Coyle, S. M., Oikawa, L. O., Macor, M., ..., Lowry, S. F. (2010). Voluntarily produced increases in heart rate variability modulate autonomic ef-

- fects of endotoxin induced systemic inflammation: An exploratory study. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 35(4), 303–315. <https://doi.org/10.1007/s10484-010-9139-5>
- Lehrer, P. M. (2012). Biofeedback therapy for asthma. W: R. D. Anbar (red.), *Functional respiratory disorders: When respiratory symptoms do not respond to pulmonary treatment* (s. 179–205). Nowy Jork: Humana Press. <https://doi.org/10.1007/978-1-61779-857-3>
- Lewis, G. F., Hourani, L., Tueller, S., Kizakevich, P., Bryant, S., Weimer, B., Strange, L. (2015). Relaxation training assisted by heart rate variability biofeedback: Implication for a military predeployment stress inoculation protocol. *Psychophysiology*, 52(9), 1167–1174. <https://doi.org/10.1111/psyp.12455>
- Li, X., Zhang, T., Song, L.-P., Zhang, Y., Zhang, G.-G., Xing, C.-X., Chen, H. (2015). Effects of heart rate variability biofeedback therapy on patients with poststroke depression: A case study. *Chinese Medical Journal*, 128(18), 2542–2545. <https://doi.org/10.4103/0366-6999.164986>
- Lin, I.-M., Fan, S.-Y., Yen, C. F., Yeh, Y. C., Tang, T. C., Huang, M. F., ..., Tsai, Y. C. (2019). Heart rate variability biofeedback increased autonomic activation and improved symptoms of depression and insomnia among patients with major depression disorder. *Clinical Psychopharmacology and Neuroscience*, 17(2), 222–232. <https://doi.org/10.9758/cpn.2019.17.2.222>
- Lin, I.-M., Ko, J.-M., Fan, S.-Y., Yen, C.-F. (2016). Heart rate variability and the efficacy of biofeedback in heroin users with depressive symptoms. *Clinical Psychopharmacology and Neuroscience*, 14(2), 168–176. <https://doi.org/10.9758/cpn.2016.14.2.168>
- McAusland, L., Addington, J. (2018). Biofeedback to treat anxiety in young people at clinical high risk for developing psychosis. *Early Intervention in Psychiatry*, 12(4), 694–701. <https://doi.org/10.1111/eip.12368>
- McCraty R. (2002). Influence of cardiac afferent input on heart-brain synchronization and cognitive performance. *International Journal of Psychophysiology*, 45(1–2), 72–73.
- McCraty, R., Atkinson, M., Tomasino, D., Bradley, R. T. (2009). The coherent heart: Heart-brain interactions, psychophysiological coherence, and the emergence of system-wide order. *Integral Review*, 5(2), 10–115.
- McCraty, R., Atkinson, M., Tomasino, D., Goelitz, J., Mayrovitz, H. N. (1999). The impact of an emotional self-management skills course on psychosocial functioning and autonomic recovery to stress in middle school children. *Integrative Physiological and Behavioral Science*, 34(4), 246–268. <https://doi.org/10.1007/BF02688693>
- Meier, N. (2013). *The effects of acute self-paced exercise and respiration biofeedback on anxiety and affect in high-stress university students* (Niepublikowana praca magisterska). Iowa State University. Ames.
- Meier, N. F., Welch, A. S. (2016). Walking versus biofeedback: A comparison of acute interventions for stressed students. *Anxiety, Stress, and Coping*, 29(5), 463–478. <https://doi.org/10.1080/10615806.2015.1085514>

- Meule, A., Freund, R., Skirde, A. K., Vögele, C., Kübler, A. (2012). Heart rate variability biofeedback reduces food cravings in high food cravers. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 37(4), 241–251. <https://doi.org/10.1007/s10484-012-9197-y>
- Meule, A., Kübler, A. (2017). A pilot study on the effects of slow paced breathing on current food craving. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 42(1), 59–68. <https://doi.org/10.1007/s10484-017-9351-7>
- Mikosch, P., Hadrawa, T., Laubreiter, K., Brandl, J., Pilz, J. J., Stettner, H., Grimm, G. (2010). Effectiveness of respiratory-sinus-arrhythmia biofeedback on state-anxiety in patients undergoing coronary angiography. *Journal of Advanced Nursing*, 66(5), 1101–1110. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2648.2010.05277.x>
- Munafò, M., Patron, E., Palomba, D. (2016). Improving managers' psychophysical well-being: Effectiveness of respiratory sinus arrhythmia biofeedback. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 41(2), 129–139. <https://doi.org/10.1007/s10484-015-9320-y>
- Nagai, Y. (2011). Biofeedback and epilepsy. *Current Neurology and Neuroscience Reports*, 11(4), 443–450. <https://doi.org/10.1007/s11910-011-0201-3>
- Narita, Y., Shinohara, H., Kodama, H. (2018). Resting heart rate variability and the effects of biofeedback intervention in women with low-risk pregnancy and prenatal childbirth fear. *Applied Psychophysiology Biofeedback*, 43(2), 113–121. <https://doi.org/10.1007/s10484-018-9389-1>
- Nolan, R. P., Floras, J. S., Ahmed, L., Harvey, P. J., Hiscock, N., Hendrickx, H., Talbot, D. (2012). Behavioural modification of the cholinergic anti-inflammatory response to C-reactive protein in patients with hypertension. *Journal of Internal Medicine*, 272(2), 161–169. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2796.2012.02523.x>
- Parente, A., Parente, R. (2006). Mind-operated devices: Mental control of a computer using biofeedback. *Cyberpsychology and Behavior*, 9(1), 1–4. <https://doi.org/10.1089/cpb.2006.9.1>
- Parnandi, A., Gutierrez-Osuna, R. (2017). Physiological modalities for relaxation skill transfer in biofeedback games. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 21(2), 361–371. <https://doi.org/10.1109/JBHI.2015.2511665>
- Patron, E., Messerotti Benvenuti, S., Favretto, G., Valfrè, C., Bonfà, C., Gasparotto, R., ..., Palomba, D. (2013). Biofeedback assisted control of respiratory sinus arrhythmia as a biobehavioral intervention for depressive symptoms in patients after cardiac surgery: A preliminary study. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 38(1), 1–9. <https://doi.org/10.1007/s10484-012-9202-5>
- Paul, M., Garg, K. (2012). The effect of heart rate variability biofeedback on performance psychology of basketball players. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 37(2), 131–144. <https://doi.org/10.1007/s10484-012-9185-2>
- Penzlin, A. I., Barlinn, K., Illigens, B. M.-W., Weidner, K., Siepmann, M., Siepmann, T. (2017). Effect of short-term heart rate variability biofeedback on long-term

- abstinence in alcohol dependent patients – A one-year follow-up. *BMC Psychiatry*, 17(1), 325. <https://doi.org/10.1186/s12888-017-1480-2>
- Penzlin, A. I., Siepmann, T., Illigens, B. M.-W., Weidner, K., Siepmann, M. (2015). Heart rate variability biofeedback in patients with alcohol dependence: A randomized controlled study. *Neuropsychiatric Disease and Treatment*, 11, 2619–2627. <https://doi.org/10.2147/NDT.S84798>
- Pop-Jordanova, N. (2019). Different clinical expression of anxiety disorders in children and adolescents: Assessment and treatment. *PRILOZI*, 40(1), 5–40. <https://doi.org/10.2478/prilozi-2019-0001>
- Prinsloo, G. E., Derman, W. E., Lambert, M. I., Laurie Rauch, H. G. (2013). The effect of a single session of short duration biofeedback-induced deep breathing on measures of heart rate variability during laboratory-induced cognitive stress: A pilot study. *Applied Psychophysiology Biofeedback*, 38(2), 81–90. <https://doi.org/10.1007/s10484-013-9210-0>
- Prinsloo, G. E., Rauch, H. G. L., Derman, W. E. (2014). A brief review and clinical application of heart rate variability biofeedback in sports, exercise, and rehabilitation medicine. *The Physician and Sportsmedicine*, 42(2), 88–99. <https://doi.org/10.3810/psm.2014.05.2061>
- Prinsloo, G. E., Rauch, H. G. L., Karpul, D., Derman, W. E. (2013). The effect of a single session of short duration heart rate variability biofeedback on EEG: a pilot study. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 38(1), 45–56. <https://doi.org/10.1007/s10484-012-9207-0>
- Prinsloo, G. E., Rauch, H. G. L., Lambert, M. I., Muench, F., Noakes, T. D., Derman, W. E. (2011). The effect of short duration heart rate variability (HRV) biofeedback on cognitive performance during laboratory induced cognitive stress. *Applied Cognitive Psychology*, 25(5), 792–801. <https://doi.org/10.1002/acp.1750>
- Pusenjak, N., Grad, A., Tusak, M., Leskovsek, M., Schwarmlin, R. (2015). Can biofeedback training of psychophysiological responses enhance athletes' sport performance? A practitioner's perspective. *The Physician and Sportsmedicine*, 43(3), 287–299. <https://doi.org/10.1080/00913847.2015.1069169>
- Raymond, J., Sajid, I., Parkinson, L. A., Gruzelier, J. H. (2005). Biofeedback and dance performance: A preliminary investigation. *Applied Psychophysiology Biofeedback*, 30(1), 65–73. <https://doi.org/10.1007/s10484-005-2175-x>
- Reiner, R. (2008). Integrating a portable biofeedback device into clinical practice for patients with anxiety disorders: Results of a pilot study. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 33(1), 55–61. <https://doi.org/10.1007/s10484-007-9046-6>
- Reneau, M. (2019). Heart rate variability biofeedback to treat fibromyalgia: An integrative literature review. *Pain Management Nursing*, 21(3), 225–232. <https://doi.org/10.1016/j.pmn.2019.08.001>

- Rijken, N. H., Soer, R., de Maar, E., Prins, H., Teeuw, W. B., Peuscher, J., Oosterveld, F. G. J. (2016). Increasing performance of professional soccer players and elite track and field athletes with peak performance training and biofeedback: A pilot study. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 41(4), 421–430. <https://doi.org/10.1007/s10484-016-9344-y>
- Rollo, A. (2014). Effects of a heart rate variability biofeedback intervention on athletes' psychological response following injury. *Theses and Dissertations (Comprehensive)*, 1658. Pobrane z: <http://scholars.wlu.ca/etd/1658>
- Russoniello, C. V., Pougatchev, V., Zhirnov, E., Mahar, M. T. (2010). A measurement of electrocardiography and photoplethysmography in obese children. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 35(3), 257–259. <https://doi.org/10.1007/s10484-010-9136-8>
- Sakakibara, M., Hayano, J., Oikawa, L. O., Katsamanis, M., Lehrer, P. (2013). Heart rate variability biofeedback improves cardiorespiratory resting function during sleep. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 38(4), 265–271. <https://doi.org/10.1007/s10484-013-9232-7>
- Sassi, R., Cerutti, S., Lombardi, F., Malik, M., Huikuri, H. V., Peng, C. K., ..., Lip, G. Y. (2015). Advances in heart rate variability signal analysis: Joint position statement by the e-Cardiology ESC Working Group and the European Heart Rhythm Association co-endorsed by the Asia Pacific Heart Rhythm Society. *Europace*, 17(9), 1341–1353. <https://doi.org/10.1093/europace/euv015>
- Schumann, A., Köhler, S., Brotte, L., Bär, K.-J. (2019). Effect of an eight-week smart-phone-guided HRV-biofeedback intervention on autonomic function and impulsivity in healthy controls. *Physiological Measurement*, 40(6), 064001. <https://doi.org/10.1088/1361-6579/ab2065>
- Scolnick, B., Mostofsky, D. I., Keane, R. J. (2014). Pilot study employing heart rate variability biofeedback training to decrease anxiety in patients with eating disorders. *Journal of Eating Disorders*, 2, 17. <https://doi.org/10.1186/2050-2974-2-17>
- Shaffer, F., Ginsberg, J. P. (2017). An overview of heart rate variability metrics and norms. *Frontiers in Public Health*, 5, 258. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00258>
- Shenefelt, P. D. (2010). Relaxation strategies for patients during dermatologic surgery. *Journal of Drugs in Dermatology*, 9(7), 795–799.
- Sherlin, L., Gevirtz, R., Wyckoff, S., Muench, F. (2009). Effects of respiratory sinus arrhythmia biofeedback versus passive biofeedback control. *International Journal of Stress Management*, 16(3), 233–248. <https://doi.org/10.1037/a0016047>
- Sherlin, L., Muench, F., Wyckoff, S. (2010). Respiratory sinus arrhythmia feedback in a stressed population exposed to a brief stressor demonstrated by quantitative EEG and sLORETA. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 35(3), 219–228. <https://doi.org/10.1007/s10484-010-9132-z>

- Siepmann, M., Hennig, U.-D., Siepmann, T., Nitzsche, K., Mück-Weymann, M., Petrowski, K., ..., Weidner, K. (2014). The effects of heart rate variability biofeedback in patients with preterm labour. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 39(1), 27–35. <https://doi.org/10.1007/s10484-013-9238-1>
- Sierpina, V., Astin, J., Giordano, J. (2007). Mind-body therapies for headache. *American Family Physician*, 76(10), 1518–1522.
- Slutsker, B., Konichezky, A., Gothelf, D. (2010). Breaking the cycle: Cognitive behavioral therapy and biofeedback training in a case of cyclic vomiting syndrome. *Psychology, Health Medicine*, 15(6), 625–631. <https://doi.org/10.1080/13548506.2010.498893>
- Sowder, E., Gevirtz, R., Shapiro, W., Ebert, C. (2010). Restoration of vagal tone: A possible mechanism for functional abdominal pain. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 35(3), 199–206. <https://doi.org/10.1007/s10484-010-9128-8>
- Stanton, A. M., Boyd, R. L., Fogarty, J. J., Meston, C. M. (2019). Heart rate variability biofeedback increases sexual arousal among women with female sexual arousal disorder: Results from a randomized-controlled trial. *Behaviour Research and Therapy*, 115, 90–102. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2018.10.016>
- Steffen, P. R., Austin, T., DeBarros, A., Brown, T. (2017). The impact of resonance frequency breathing on measures of heart rate variability, blood pressure, and mood. *Frontiers in Public Health*, 5, 222. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00222>
- Stern, M. J., Guiles, R. A. F., Gevirtz, R. (2014). HRV biofeedback for pediatric irritable bowel syndrome and functional abdominal pain: A clinical replication series. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 39(3–4), 287–291. <https://doi.org/10.1007/s10484-014-9261-x>
- Sutarto, A. P., Wahab, M. N. A., Zin, N. M. (2010). Heart rate variability (HRV) biofeedback: A new training approach for operator's performance enhancement. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 3(1), 176–198. <https://doi.org/10.3926/jiem.2010.v3n1.p176-198>
- Sutarto, A. P., Wahab, M. N. A., Zin, N. M. (2012). Resonant breathing biofeedback training for stress reduction among manufacturing operators. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 18(4), 549–561. <https://doi.org/10.1080/10803548.2012.11076959>
- Suvorov, N. (2006). Psychophysiological training of operators in adaptive biofeedback cardiorythm control. *The Spanish Journal of Psychology*, 9(2), 193–200.
- Sztembis, R., Moss, D. (2014). From percutaneous coronary intervention (PCI) to heart rate variability (HRV) biofeedback: The bridge between high-tech medicine and high-tech psychology – How can we proceed in clinical practice? *Biofeedback*, 42(1), 24–27. <https://doi.org/10.5298/1081-5937-42.1.03>
- Szulczewski, M. T., Rynkiewicz, A. (2018). The effects of breathing at a frequency of 0.1 Hz on affective state, the cardiovascular system, and adequacy of ventilation. *Psychophysiology*, 55(12), e13221. <https://doi.org/10.1111/psyp.13221>

- Taghizadeh, N., Eslaminejad, A., Raoufy, M. R. (2019). Protective effect of heart rate variability biofeedback on stress-induced lung function impairment in asthma. *Respiratory Physiology and Neurobiology*, 262, 49–56. <https://doi.org/10.1016/j.resp.2019.01.011>
- Tan, G., Dao, T. K., Farmer, L., Sutherland, R. J., Gevirtz, R. (2011). Heart rate variability (HRV) and posttraumatic stress disorder (PTSD): A pilot study. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 36(1), 27–35. <https://doi.org/10.1007/s10484-010-9141-y>
- Teeravisutkul, P., Chumchua, V., Saengcharnchai, P., Leelahanaj, T. (2019). Stress and craving reduction under treatment with heart rate variability biofeedback and the Phramongkutklao model among patients with alcohol use disorder. *Psychology Research and Behavior Management*, 12, 619–627. <https://doi.org/10.2147/PRBM.S199762>
- Thabrew, H., Ruppeldt, P., Sollers, J. J. (2018). Systematic review of biofeedback interventions for addressing anxiety and depression in children and adolescents with long-term physical conditions. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 43(3), 179–192. <https://doi.org/10.1007/s10484-018-9399-z>
- Thayer, J. F., Ahs, F., Fredrikson, M., Sollers, J. J., Wager, T. D. (2012). A meta-analysis of heart rate variability and neuroimaging studies: Implications for heart rate variability as a marker of stress and health. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 36(2), 747–756. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2011.11.009>
- Thayer, J. F., Lane, R. D. (2009). Claude Bernard and the heart-brain connection: Further elaboration of a model of neurovisceral integration. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 33(2), 81–88. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2008.08.004>
- Thurstone, C., Lajoie, T. (2013). Heart rate variability biofeedback in adolescent substance abuse treatment. *Global Advances in Health and Medicine*, 2(1), 22–23. <https://doi.org/10.7453/gahmj.2013.2.1.005>
- Uratani, H., Yoshino, K., Ohsuga, M. (2014). Basic study on the most relaxing respiration period in children to aid the development of a respiration-leading stuffed toy. *IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 2014*, 3414–3417. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2014.6944356>
- van der Zwan, J. E., de Vente, W., Huizink, A. C., Bögels, S. M., de Bruin, E. I. (2015). Physical activity, mindfulness meditation, or heart rate variability biofeedback for stress reduction: A randomized controlled trial. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 40(4), 257–268. <https://doi.org/10.1007/s10484-015-9293-x>
- Vaschillo, E. G., Vaschillo, B., Lehrer, P. M. (2006). Characteristics of resonance in heart rate variability stimulated by biofeedback. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 31(2), 129–142. <https://doi.org/10.1007/s10484-006-9009-3>
- Vaschillo, E. G., Vaschillo, B., Pandina, R. J., Bates, M. E. (2011). Resonances in the cardiovascular system caused by rhythmical muscle tension. *Psychophysiology*, 48(7), 927–936. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2010.01156.x>

- Weeks, D. L., Whitney, A. A., Tindall, A. G., Carter, G. T. (2015). Pilot randomized trial comparing intersession scheduling of biofeedback results to individuals with chronic pain: Influence on psychologic function and pain intensity. *American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*, 94(10), 869–878. <https://doi.org/10.1097/PHM.0000000000000285>
- Wells, R., Outhred, T., Heathers, J. A. J., Quintana, D. S., Kemp, A. H. (2012). Matter over mind: A randomised-controlled trial of single-session biofeedback training on performance anxiety and heart rate variability in musicians. *PLoS ONE*, 7(10), e46597. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0046597>
- Weltman, G., Lamon, J., Freedy, E., Chartrand, D. (2014). Police department personnel stress resilience training: An institutional case study. *Global Advances in Health and Medicine*, 3(2), 72–79. <https://doi.org/10.7453/gahmj.2014.015>
- Wheat, A. L., Larkin, K. T. (2010). Biofeedback of heart rate variability and related physiology: A critical review. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 35(3), 229–242. <https://doi.org/10.1007/s10484-010-9133-y>
- White, E. K., Groeneveld, K. M., Tittle, R. K., Bolhuis, N. A., Martin, R. E., Royer, T. G., Fotuhi, M. (2017). Combined neurofeedback and heart rate variability training for individuals with symptoms of anxiety and depression: A retrospective study. *NeuroRegulation*, 4(1), 37–55. <https://doi.org/10.15540/nr.4.1.37>
- Whited, A., Larkin, K. T., Whited, M. (2014). Effectiveness of emWave biofeedback in improving heart rate variability reactivity to and recovery from stress. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 39(2), 75–88. <https://doi.org/10.1007/s10484-014-9243-z>
- Windthorst, P., Mazurak, N., Kuske, M., Hipp, A., Giel, K. E., Enck, P., ..., Teufel, M. (2017). Heart rate variability biofeedback therapy and graded exercise training in management of chronic fatigue syndrome: An exploratory pilot study. *Journal of Psychosomatic Research*, 93, 6–13. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychores.2016.11.014>
- Wu, W., Gil, Y., Lee, J. (2012). Combination of wearable multi-biosensor platform and resonance frequency training for stress management of the unemployed population. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 12(10), 13225–13248. <https://doi.org/10.3390/s121013225>
- Yu, L.-C., Lin, I.-M., Fan, S.-Y., Chien, C.-L., Lin, T.-H. (2018). One-year cardiovascular prognosis of the randomized, controlled, short-term heart rate variability biofeedback among patients with coronary artery disease. *International Journal of Behavioral Medicine*, 25(3), 271–282. <https://doi.org/10.1007/s12529-017-9707-7>
- Yucha, C., Gilbert, C. (2004). *Evidence-based practice in biofeedback and neurotherapy*. Wheat Ridge: Association for Applied Psychophysiology and Biofeedback.
- Yucha, C., Montgomery, D. (2008). *Evidence-based practice in biofeedback and neurofeedback*. Wheat Ridge: Association for Applied Psychophysiology and Biofeedback.

- Ziółkowski, A., Graczyk, M., Strzałkowska, A., Wilczyńska, D., Włodarczyk, P., Zarańska, B. (2012). Neuronal, cognitive and social indicators for the control of aggressive behaviors in sport. *Acta Neuropsychologica*, 10(4), 537–546.
- Zucker, T. L., Samuelson, K. W., Muench, F., Greenberg, M. A., Gevirtz, R. N. (2009). The effects of respiratory sinus arrhythmia biofeedback on heart rate variability and posttraumatic stress disorder symptoms: A pilot study. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 34(2), 135–143. <https://doi.org/10.1007/s10484-009-9085-2>

MARTA SZYMAŃSKA, MAŁGORZATA GUT

Instytut Psychologii, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

Edukacja matematyczna i terapia dyskalkulii oparte na percepcji czasu. Czy istnieje wspólny mianownik procesów przetwarzania liczb, czasu i muzyki?

Sposób cytowania: Szymańska, M., Gut, M. (2020). Edukacja matematyczna i terapia dyskalkulii oparte na percepcji czasu. Czy istnieje wspólny mianownik procesów przetwarzania liczb, czasu i muzyki? W: M. Trojan, M. Gut (red.), *Nowe technologie i metody w psychologii* (s. 329–346). Warszawa: Liberi Libri. <https://doi.org/10.47943/lib.9788363487430.rozdzial15>

Zdaniem Vincenta Walsha, autora tzw. Teorii Wielkości (*A Theory of Magnitude*, ATOM, 2003) istnieje wzajemna relacja pomiędzy różnego rodzaju wielkościami, np. fizycznym rozmiarem, liczbą, prędkością czy czasem. Dzieje się tak za sprawą powiązania poznawczych umysłowych reprezentacji wspomnianych miar oraz neuronalnych mechanizmów odpowiedzialnych za ich przetwarzanie. Trudno wyobrazić sobie codzienne funkcjonowanie człowieka (choć warto zaznaczyć, że część kompetencji w tym obszarze dotyczy także innych gatunków; zob. dalej), gdyby nie był on w stanie ocenić np. odległości, jaka go dzieli od drzwi czy wielkości miejsca parkingowego, na którym musi się zmieścić samochodem. Dotyczy to także oszacowania czasu potrzebnego na dojście do przystanku autobusowego, nie wspominając o ocenie ilości potrzebnej nagle gotówki czy liczby osób w kolejce do kasy. W dodatku najczęściej jednostka staje w obliczu ciągłej kumulacji tego rodzaju poznawczych problemów, wobec czego musi posiadać właściwy umysłowy aparat pozwalający na bezwysiłkowe i szybkie przetwarzanie tych wszystkich miar wielkości. Wspomniana teoria znalazła potwierdzenie w licznych badaniach eksperymentalnych i klinicznych, z których część przybliżono w ramach niniejszego rozdziału, ze szczególnym uwzględnieniem wspólnego mianownika dla liczb i czasu. Jak się bowiem okazuje, problemy w pierwszej z tych sfer przekładają się na trudności w wykonywaniu zadań opierających się na umiejętnościach właściwych dla tej drugiej (i na odwrót). Wiąże się to rzeczą jasną ze wspólnym neuronalnym podłożem przetwarzania mentalnych reprezentacji informacji numerycznej i czasowej (np. muzycznej). Zagadnienie to staje się jeszcze bardziej interesujące oraz zyskuje wartość aplikacyjną, kiedy rozłożymy na czynniki pierwsze takie narzędzie terapeutyczne, jakim jest muzykoterapia lub jej elementy, np. rytmika. Nietrudno zauważyć, że u podstaw tych metod leży prawidłowa ocena interwałów czasowych, dokonywana w celu obrania prawidłowego tempa w grze na instrumentach, śpiewie, wystukiwaniu prostych rytmów czy w tańcu. Dochodzimy zatem do problemu badawczego zasygnalizowanego w tytule – zagadnienia, w którym dostrzega się wzajemne powiązanie pomiędzy percepcją i przetwarzaniem materiału liczbowego a muzyką i jej oddziaływaniem terapeutycznym w zakresie procesów poznawczych. Również ta zależność została poddana badaniom. Równie istotną kwestią o charakterze aplikacyjnym jest też możliwość wdrażania metod opartych na percepcji czasu (np. rytmu) nie tylko do terapii, ale także edukacji, m.in. matematycznej. Przedstawienie możliwości terapeutycznych w zakresie umiejętności matematycznych, jakich dostarcza nam zależność

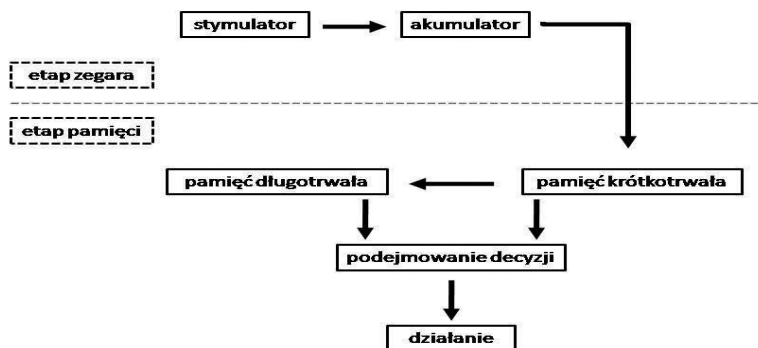
czasowo-numeryczna może być bowiem dobrym punktem wyjścia do opracowywania pomocy dydaktycznych, niezwykle prostych a skutecznych do zastosowania w klasie szkolnej.

Współczesne metody badania percepcji czasu i ich teoretyczne podstawy

Czas psychologiczny – inaczej niż fizyczny – płynie niejako w dwóch kierunkach, tj. w stronę przeszłości i przyszłości. Tworzy sekwencje zdarzeń, pozwala ustalać odległości czasowe między określonymi punktami odniesienia, regularność interwałów czasowych między nimi lub czas trwania samych zdarzeń. System poznawczy posiada zdolność pomiaru tych charakterystyk, co jest podstawą percepcji czasu i percepcji rytmu, które mają dobrze poznane i opisane w literaturze neuronalne podstawy (Freitas i in., 2018; Sokolowski, Fias, Ononye, Ansari, 2017; Szelaąg, Dreszer, Lewandowska, Szymaszek, 2009).

Jednym z obowiązujących do dziś modeli mających wyjaśnić działanie wewnętrznego zegara biologicznego¹ jest model Gibbona (Gibbon, Church, Meck, 1984) oparty na teorii skalarnej oceny czasu (*scalar expectancy theory*, SET). Zgodnie z jej założeniami, proces przetwarzania informacji temporalnej przebiega kilkietapowo. Punktem wyjścia jest istnienie mechanizmu mającego na celu wyznaczanie tempa poprzez generowanie rytmicznych impulsów. Jest to tzw. stymulator (*pacemaker*). Następnie ma miejsce magazynowanie przybliżonej liczby impulsów przez akumulator (*accumulator*), zaś oba te etapy tworzą razem stadium zegara (*clock stage*). W dalszej kolejności informacja zebrana w akumulatorze przekazywana jest do pamięci krótkotrwałej lub – w przypadku potrzeby zachowania istotnych informacji – do zasobów pamięci długotrwałej, co razem stanowi stadium pamięci (*memory stage*; zob. rysunek 1).

1 Należy tu bardzo wyraźnie podkreślić odrębność tak rozumianego zegara biologicznego, związanego z percepcją czasu (czyli przetwarzaniem poznawczym informacji czasowej), od zegara biologicznego będącego jednym z generatorów okołodobowych rytmów biologicznych, którego neuronalne podłoże zlokalizowano m.in. w strukturach podwzgórza (zob. Łaszewska, w tym tomie).



Rysunek 1. Schemat działania zegara biologicznego człowieka, oparty o model SET.

Innym, bardziej współczesnym, modelem odnoszącym się (w tym przypadku – między innymi) do przetwarzania czasu, lecz w kontekście percepcji i produkcji muzyki, jest model opisany przez Peretz i Colthearta (2003), który zakłada, że percepcja informacji muzycznej ma swoje modułarne reprezentacje, wyspecjalizowane w zakresie określonych funkcji, związanych m.in. z analizą rytmu, metrum, kodowania tonalnego czy konwersji akustyczno-fonologicznej. Zgodnie z nim, analiza akustyczna wiąże się odrębnie z przetwarzaniem wysokości dźwięku, długością trwania, natężenia i barwy, a następnie wyniki tej obróbki podlegają przetwarzaniu informacji muzycznej lub językowej (Racette, Hyde, Peretz, 2004). Analiza tej ostatniej odbywa się w modułach melodycznym i rytmicznym, zaś zaburzenie któreś z powyższych funkcji reprezentowanych przez dany moduł lub komunikacji między modułami wywołuje określone zaburzenia w przetwarzaniu muzyki (Peretz i in., 2003).

Podobnie jak percepcję muzyki rozpatruje się zarówno w wymiarze czasowym i wymiarze dotyczącym wysokości dźwięków, tak również wykonanie muzyki (tzw. produkcję) analizuje się pod kątem odtwarzania czasowości bodźców (odstępów między dźwiękami i czasu trwania dźwięków), jak i ich wysokości. Modelem, który odnosi się do wykonania muzycznego w wymiarze czasowym, jest model synchronizacji sensomotorycznej (Vorberg, Wing, 1996; zob. też: Repp, 2006). Gra na instrumentach muzycznych wymaga dostosowywania (synchronizowania) swoich ruchów do ruchów pozostałych grających, dyrygenta lub rytmu narzucanego np. przez metronom. Taka synchronizacja jest zdolnością, którą posiada każdy, nie tylko osoby wykształcone muzycznie. Wspomniany model zakłada występowanie czasomierza wewnętrznego,

asynchroniczności i procesów jej korekcji (błędu w ruchowym odtwarzaniu czasowości bodźców). W synchronizacji swoich ruchów (np. do innych) niezbędna jest kontrola tych ruchów, ale też zdolność do określenia czasu wystąpienia kolejnego dźwięku. Podczas wykonywania zadań polegających na synchronizowaniu się np. z metronomem obecny jest odstęp czasowy między prezentacją bodźca a ruchem badanego (Repp, 2006). Uderzenia pojawiają się z opóźnieniem w stosunku do prezentowanego dźwięku (asynchroniczność pozytywna) lub wyprzedzają pojawiające się dźwięki (negatywna).

Jednym z narzędzi pozwalających na diagnozę deficytów w percepcji czasowości dźwięków jest bateria testów *Montreal Battery of Evaluation of Amusia* (MBEA; Peretz i in., 2003). Zawiera sześć testów do oceny percepcji i pamięci muzycznej i podzielona jest na trzy części. Pierwsza to testy do pomiaru wymiaru melodycznego (kontur, interwały, skala), druga pozwala określić zdolności w zakresie czasowym (rytm i metrum), a trzecia mierzy pamięć muzyczną. W MBEA znajdują się m.in. zadania polegające na określaniu przez badanego, czy prezentowana para melodii ma taki sam rytm, czy raczej każda z nich jest odmienna rytmicznie. Pomiar w tym wypadku dotyczy poprawności odpowiedzi badanych (określenia liczby błędów lub poprawnych odpowiedzi). Jeśli zaś chodzi o metody pomiaru wykonania (odtworzenia, produkcji) w wymiarze czasowym, stosuje się np. takie zadania jak w eksperymencie Dalla Bella i Peretz (2003). Badani wystukiwali – w połączonej z komputerem podkładkę precyzyjnie rejestrującą uderzenia – muzyczny bit obecny w prezentowanych utworach muzycznych, jak również wystukiwali regularną sekwencję dźwięków niemuzycznych (prezentowaną w określonym tempie). Badania te wykazały m.in., że osoby z tzw. wrodzoną amuzją, przejawiające deficyt percepcji czasowości, miały problem (w porównaniu z grupą kontrolną) z synchronizacją z muzyką, ale nie z izochronicznymi sekwencjami dźwięków niemuzycznych. Późniejsze badania z użyciem tego rodzaju narzędzi (Sowiński, Dalla Bella, 2013) wykazały też możliwość występowania deficytu odtwarzania czasowości przy jednoczesnej prawidłowej percepcji.

Kilka lat temu Dalla Bella i in. (2016) opracowali i opisali baterię do precyzyjnego i kompleksowego pomiaru poziomu umiejętności zarówno w zakresie percepcji, jak i wykonania w odniesieniu do czasowości bodźców słuchowych (*Battery for the Assessment of Auditory Sensorimotor and Timing Abilities*, BAASTA). Zawiera ona zadania, które pozwalają m.in. na pomiar umiejętności oceny czasu trwania dźwięków (czy jeden z pary trwał dłużej), porównywanie odstępów czasowych w sekwencjach dźwięków (czy jeden z nich pojawił się

nieco wcześniej lub później niż powinien, zgodnie z regularnością sekwencji) oraz umiejętności detekcji regularności rytmu fragmentów utworów muzycznych (w warunku z nieregularnym rytmem dokonuje się eksperymentalnej manipulacji prezentowanego fragmentu utworu). Badani wykonują także zadanie, w którym krótkie fragmenty muzyczne prezentowane są z różną prędkością, a w trakcie prezentacji razem z muzyką pojawia się dźwięk metronomu. W jednym z warunków sekwencja dźwięków metronomu jest zgodna z bitem utworu, w drugim zaś – nie (stosuje się w nim cztery rodzaje manipulacji w celu uzyskania nieregularności). Bateria obejmuje także szereg zadań na pomiar zdolności odtwarzania czasowości materiału dźwiękowego (muzycznego i niemuzycznego). Pomiar dokonywany jest zarówno w warunku synchronizacji tappingu (uderzania w podkładkę rejestrującą reakcje) z prezentowanym materiałem, jak i warunku synchronizacji-kontynuacji, w którym w chwili przerwania prezentacji materiału badany kontynuuje wystukiwanie zgodnie z wcześniej odtwarzanym rytmem. Jak widać, testy do pomiaru zdolności percepcji czasowości czy wysokości dźwięków opierają się tu zazwyczaj na rejestracji dychotomicznych odpowiedzi badanych, określających np. czy w prezentowanej sekwencji dźwięków jeden z nich był wyższy/nniższy od pozostałych lub czy jeden z nich „zaburza” rytm sekwencji czy nie. Natomiast zadania mierzące produkcję pozwalają już na bardzo precyzyjną (w zakresie czasu reakcji) rejestrację zdolności do synchronizowania własnych reakcji do prezentowanego materiału.

Neuronalne podłoże przetwarzania informacji czasowej (w tym – muzycznej)

Które struktury mózgowe odpowiadają za przetwarzanie informacji temporalnej? Techniki neuroobrazowania pozwoliły na ich lokalizację, jednak wzorzec aktywacji mózgu w dużym stopniu zależy od rodzaju przetwarzanej informacji (Nosal, 2004). Przykładowo w przypadku przetwarzania materiału w interwale poniżej 1 sekundy zaobserwować można aktywację mózdzku, jąder podstawy, czy w okolicach kory ruchowej, przedruchowej i górnego zakrętu skroniowego (Lewis, Miall, 2006). Z kolei podczas przetwarzania interwałów dłuższych niż 1 sekunda obserwujemy głównie aktywację kory przedczołowej i ciemieniowej. Ponadto, można wyróżnić obszary wspólne dla przetwarzania obu rodzajów materiału czasowego. Do tej grupy zaliczamy m.in. wyspę, grzbietowo-boczną korę przedczołową i dodatkowe pole ruchowe (Szeląg

i in., 2009). Co natomiast wiadomo na temat przetwarzania tak szczególnej charakterystyki czasowej bodźców, jak ich rytmiczność? Zdolność do percypowania parametru czasowości dźwięków jest ściśle powiązana z wrodzonymi zdolnościami do przetwarzania oraz odtwarzania muzyki. Analizą rytmu, harmonii i konturu melodycznego zawiaduje drugorzędowa kora słuchowa, zaś w zakresie synchronizacji sensomotorycznej („dostrajanie się” do zewnętrznie narzucanego rytmu, np. serii prezentowanych dźwięków albo bitu muzycznego) istotną rolę odgrywa mózdzek i jądra podstawy (zob. Brattico, Tervaniemi, Näätänen, Peretz, 2006; Peretz, Zatorre, 2005; Philips-Silver i in., 2011). Model rozpoznawania muzyki autorstwa Peretz i Colthearta (2003) wskazuje na istnienie odrębnego modułu (i jego neuronalnej podstawy) zajmującego się rytmem i metrum. Analiza rytmu dotyczy różnicowania dźwięków na podstawie czasu ich trwania oraz grupowania z wykorzystaniem interwałów czasowych pomiędzy dźwiękami. Literatura w obszarze badań klinicznych opisuje także deficyty percepcji muzyki w wymiarze czasowym, określane mianem amuzji wrodzonej, która jest skutkiem dysfunkcji tej części kory słuchowej, w której przetwarzane są różnice w wysokościach tonów i proporcji muzycznych interwałów (Dalla Bella, Giguere, Peretz, 2009; Zatorre, 2005).

Czas i liczby

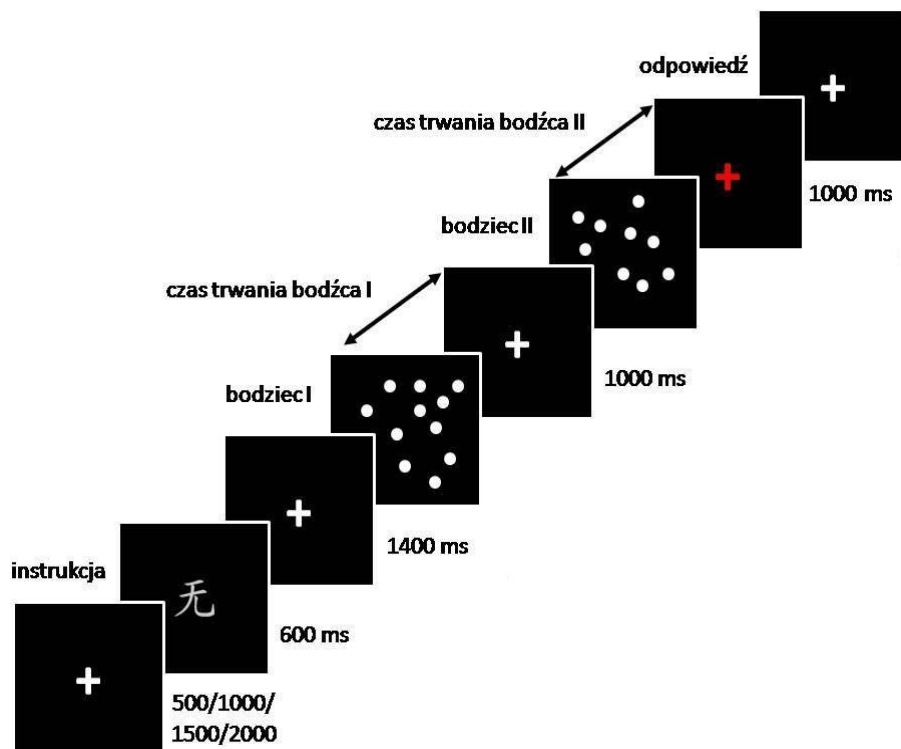
Wspominając o poznawczym przetwarzaniu kolejności zdarzeń w czasie, nie sposób nie zauważyć w tym miejscu analogii do tak zwanej mentalnej osi liczbowej (*mental number line*, MNL; Dehaene, 2011). Tak, jak porządkujemy na niej liczby w kolejności od najmniejszej do największej, tak – podobnie – na mentalnej osi czasu porządkujemy zdarzenia, poczynając od tych, które miały miejsce najwcześniej, a kończąc na tych, które miały miejsce w niedawnej przeszłości. Czas i liczby mają też inny wspólny mianownik. Posiadamy bowiem z jednej strony wrodzoną zdolność, będącą przejawem istnienia tzw. zmysłu numerycznego (przegląd badań w: Brożek, Hohol, 2014; Mielewczyk, Gut, 2019), polegającą m.in. na szacowaniu liczebności zbiorów, zaś z drugiej – funkcjonowanie w środowisku naturalnym wymaga od człowieka i innych gatunków zwierząt (zob. Trojan, 2013) szacowania odległości, wysokości i właśnie – upływu czasu pomiędzy zdarzeniami, jak i czasu trwania zdarzeń (np. dźwięków). Umiejętność przetwarzania materiału numerycznego, w tym zależności numeryczno-przestrzennych, ma dobrze określone neuronalne

podstawy, zaś nieprawidłowości w rozwoju tych struktur skutkują deficytem definiowanym jako dyskalkulia (np. Butterworth, 2010; Butterworth, Varma, Laurillard, 2011; Kucian, von Aster, 2015).

Zgodnie ze wspomnianą teorią wielkości ATOM Walsha (2003), wzajemna relacja pomiędzy różnego rodzaju wielkościami, np. rozmiarem, czasem, prędkością czy liczbą, jest możliwa dzięki powiązaniu ich reprezentacji oraz mechanizmów przetwarzania z tym samym systemem neuronalnym. Dzięki temu można m.in. spostrzegać wielkość w kategoriach mniejszy/wiekszy czy koordynować swoje działania, poprzez ocenę odległości pomiędzy poszczególnymi obiektami w przestrzeni, co pozwala m.in. na odpowiednią koordynację ruchową (Winter, Marghetis, Matlock, 2015). Zdaniem Walsha kluczową rolę w funkcjonowaniu tego mechanizmu pełni kora ciemieniowa (istotna dla przetwarzania relacji numeryczno-przestrzennej oraz zmysłu numerycznego; Hubbard, Piazza, Pinel, Dehaene, 2005; von Aster, Shalev, 2007), co weryfikowano między innymi w badaniach klinicznych. Opisano szereg zaburzeń neurologicznych wynikających z uszkodzeń w obrębie kory ciemieniowej, których skutkami są – z jednej strony – problemy w zakresie przetwarzania informacji przestrzennej, zaś z drugiej przetwarzania liczb (Liu, Yin, Song, 2017). Kora ciemieniowa (szczególnie tzw. bruzda śródciemieniowa) jest także obszarem kluczowym dla przetwarzania przestrzennych reprezentacji liczb (czyli wspomnianej MNL), zaś skutkiem atypowego rozwoju tego obszaru są trudności w szacowaniu miejsca liczby na osi, które są jednym z możliwych objawów dyskalkulii (zob. Geary, Hoard, Nugent, Byrd-Craven, 2008).

Jeśli zaś chodzi o badanie wspólnego podłoża neuronalnego przetwarzania informacji numerycznej i czasowej, Hayashi i in. (2013) przeprowadzili szereg eksperymentów mających na celu zbadanie wzajemnej zależności pomiędzy percepcją czasu i percepcją materiału numerycznego. W jednym z nich zadaniem uczestników była ocena, który spośród dwóch wyświetlanych na ekranie zbiorów kropek był prezentowany dłużej, a także – w drugiej części tego samego zadania – który z nich był większy (liczniejszy; zob. rysunek 2). Podczas wykonywania tych zadań rejestrowano aktywność mózgu przy użyciu metody funkcjonalnego rezonansu magnetycznego (*functional Magnetic Resonance Imaging*, fMRI). Zaobserwowano aktywację obszarów neuronalnych, które były wymieniane w dotychczasowej literaturze jako regiony związane z przetwarzaniem materiału numerycznego oraz temporalnego (Buetti, Walsh, 2009; Kaufmann i in., 2008). Zarówno podczas oceny czasu wyświetlania bodźca, jak i jego wielkości (liczebności) zaobserwowano głównie lewopół-

kulowe pobudzenie kory ciemieniowej, a także tylnej części zakrętu obręczy, wyspy oraz jąder podstawy (ściślej: skorupy).



Rysunek 2. Procedura eksperymentalna w badaniach Hayashi i in. (2013).

Kolejnym ze sposobów empirycznej weryfikacji teorii Walsha okazało się być zastosowanie metody przezczaszkowej stymulacji magnetycznej (*Transcranial Magnetic Stimulation*, TMS; Javadi, Forouzbakhsh, 2014). Bazując na wynikach badań Hayashi i in. (2013), założono, że określona stymulacja odpowiednich obszarów neuronalnych spowoduje wzrost ich aktywności i poprawę umiejętności w zakresie operowania materiałem zarówno numerycznym, jak i temporalnym. Badacze potwierdzili swoje przypuszczenia w jednym z eksperymentów, w trakcie którego stymulowali struktury odpowiadające za przetwarzanie wielkości dotyczących m.in. czasu i liczb, tj. bruzdę śródciemieniową oraz dolny zakręt czołowy. Skutkiem tego oddziaływania była

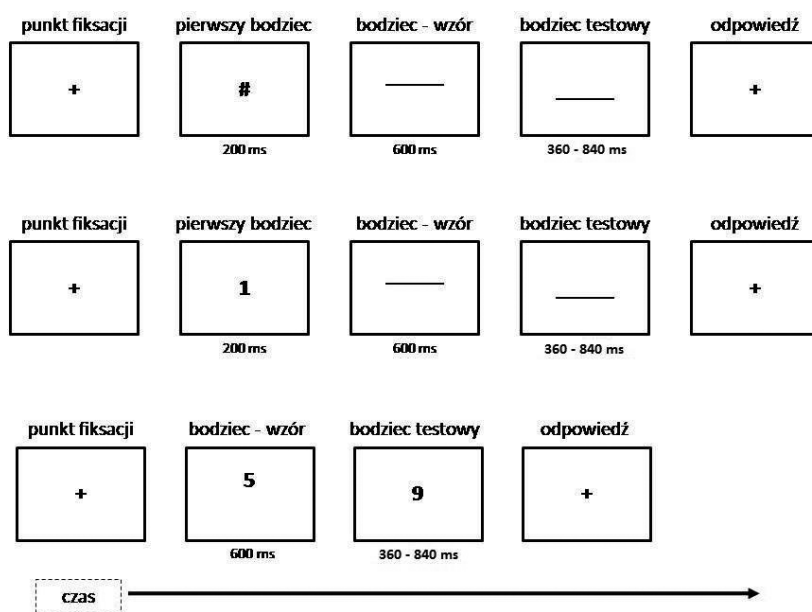
redukcja liczby błędnych odpowiedzi w trakcie zadania wykorzystanego we wspomnianych wyżej badaniach Hayashi i in.

Przeprowadzono również szereg badań behawioralnych (np. z pomiarem czasu i poprawności reakcji), których wyniki pozwalają na potwierdzenie istnienia zależności pomiędzy percepcją czasu i liczb. Uwaga badaczy skupia się między innymi na tzw. efekcie STEARC (*Spatial-Temporal Association of Response Codes*; Ishihara, Keller, Rossetti, Prinz, 2008). Efekt ten został nazwany tak przez analogię do opisywanego obszernie wcześniej efektu SNARC (*Spatial-Numerical Association of Response Codes*), który jest odzwierciedleniem zależności między liczbami i przestrzenią (Dehaene, Bossini, Giraux, 1993; Fischer, Shaki, 2014), polegającego na tym, że szybciej reagujemy prawą ręką (lub nogą) na liczby o wyższej wartości, zaś lewą – na te o niższej wartości liczbowej. Różnica między SNARC i STEARC polega jedynie na rodzaju prezentowanego bodźca. W przypadku tego drugiego obserwuje się szybszą reakcję lewą ręką na dźwięki krótsze oraz szybsze reakcje ręką prawą na dźwięki dłuższe. Takie wyniki odnotowali np. Zhao i in. (2018).

Warto wspomnieć na marginesie o jeszcze innym efekcie wskazującym na łącznik między przetwarzaniem liczb i muzyki, choć w tym przypadku dotyczy on innego niż czasowy aspekt przetwarzania dźwięków. W badaniach wykazano bowiem także istnienie zależności między wartością liczbową i wysokością dźwięku (Rusconi, Kwan, Giordano, Umiltà, Butterworth, 2006), co nazwano efektem SMARC (*Spatial-Musical Association of Response Codes*).

W badaniach behawioralnych zaobserwowano także inną zależność pomiędzy percepcją czasu i liczb. Hayashi i in. (2013) sprawdzili, czy materiał numeryczny (wartość liczbową prezentowanego bodźca) może wpłynąć na percepcję jego czasu trwania. Manipulowano także długością czasu ich prezentacji (500, 600, 700, 800 lub 900 ms), a zadaniem badanego była reprodukcja (poprzez trzymanie klawisza spacji) subiektywnego czasu prezentacji bodźca. Wyniki pokazały, że badani wykazywali tendencję do przeszacowywania długości prezentacji liczb większych niż 5, niezależnie od formatu ich prezentacji. Nieco wcześniej Cappelletti, Freeman i Butterworth (2011) wykazali w badaniach, że już samo wprowadzenie materiału numerycznego do zadania, niekoniecznie w formie bodźca eksperymentalnego, może mieć wpływ na percepcję czasu prezentacji innych obiektów. W jednym z warunków wyświetlano kolejno dwie linie, z których druga zawsze znajdowała się wyżej lub niżej od tej pierwszej. Pierwszą z nich, czyli linię-wzór poprzedzał nie-liczbowy znak #. W drugim warunku zadanie wyglądało niemal identycznie, z tą różnicą,

że tym razem pierwszą linię poprzedzano liczbą 1 lub 9. Z kolei w ostatnim warunku w każdej z dwóch kolejnych próbek wyświetlano jedynie liczby 1, 5 lub 9. Nie były one poprzedzone żadnym innym symbolem (zob. rysunek 3). W każdym z trzech warunków zadaniem osoby badanej było oszacowanie, który z bodźców – pierwszy czy drugi – był wyświetlany dłużej. Wyniki wykazały, że w przypadku osób zmagających się z dyskalkulią, w porównaniu do grupy kontrolnej (osoby zdrowe), wprowadzenie materiału numerycznego w drugim i trzecim warunku powodowało spadek liczby poprawnych odpowiedzi.



Rysunek 3. Schemat procedury eksperymentalnej w badaniach Cappelletti i in. (2011).

Czas, liczby i przestrzeń w deficytach umiejętności matematycznych. Możliwe perspektywy treningów w edukacji matematycznej

Przedmiotem zainteresowania badaczy jest także sposób percepcji czasu u dzieci i dorosłych zmagających się z dyskalkulią. Pellerone (2013) zaprojektowała procedurę, za pomocą której sprawdzała, czy dzieci ze stwierdzoną dyskalkulią rozwojową wykazują problemy w operowaniu czasem. Badanie

podzielone było na dwa bloki, a uczestnikowi kolejno wyświetlano na ekranie czerwony okrąg (bodziec wzór), a następnie czarny (bodziec testowy). Za każdym razem zadaniem osoby badanej była ocena, czy bodziec testowy był wyświetlany dłużej czy krócej niż bodziec-wzór. Okazało się, że dzieci z dyskalkulią, w porównaniu do grupy kontrolnej, gorzej radzą sobie z szacowaniem długości interwałów, ale tylko tych poniżej 1 sekundy (co ujawniły wyniki z pierwszego bloku eksperymentu).

Skończywszy tak, kolejnym krokiem wydaje się być pomoc w deficytach związanych z operowaniem liczbami, oparta na percepcji czasu (a zatem również rytmu). Być może więc korzystną formą terapii dyskalkulii może być muzykoterapia lub jej elementy, np. rytmika? Wspomniany wcześniej mechanizm opisujący działanie naszego zegara biologicznego można bowiem przyrównać do metronomu, którego zadaniem jest wyznaczanie rytmu, w relacji do którego odnosimy nasze oceny czasu trwania zdarzeń. Ponadto (jak wspomniano wcześniej) wewnętrzny czasomierz umożliwia nam synchronizację sensomotoryczną do rytmicznych bodźców, czyli koordynowania ruchów z percypowanym rytmem (Repp, 2006), co jest przydatne w grze na instrumentach czy w tańcu. W takiej synchronizacji niezbędny jest mechanizm kontrolujący wykonywanie ruchów oraz określający czas wystąpienia kolejnego bodźca, wzrokowego czy słuchowego. Badania nad synchronizacją ujawniły, że podczas odtwarzania rytmu pojawia się zawsze pewna asynchroniczność, która korygowana jest jednak przez procesy korekcji błędów, w czym istotną rolę odgrywa m.in. mózdzek i jądra podstawne (Repp, 2006; Wing, 2002).

Choć początkowo terapia za pomocą muzyki miała służyć np. poprawie samopoczucia u pacjentów zmagających się z zaburzeniami depresyjnymi, szybko dostrzeżono jej korzystny wpływ m.in. na pamięć (Kaviani, Mirbaha, Pournaseh, Sagan, 2014; Roden i in., 2014) czy umiejętności związane z językiem (Fujioka i in., 2018; Kang, Williamson, 2014; Ludke, Ferreira, Overly, 2014; Slater i in., 2014). Badacze wzięli na warsztat także umiejętności matematyczne. Na przykład celem badania przeprowadzonego przez Tauba, McGrew i Keitha (2015) było sprawdzenie, czy zajęcia z wykorzystaniem metronomu mogą wpłynąć na poziom umiejętności z zakresu matematyki u uczniów czwartej klasy. W tym celu dzieci poddano tzw. treningowi SMT (*Synchronized Metronome Tapping*), którego celem jest zmniejszenie wielkości błędów w odtwarzaniu (tzw. produkcji) rytmu przez dziecko wsłuchujące się w rytm metronomu. W trakcie wykonywania zadania dostarczano badanym informację zwrotną o dokładności wyklaskiwanego tempa w postaci krótkiego

sygnału dźwiękowego za każdym razem, kiedy się pospieszyło lub działało zbyt wolno. Wyświetlano także na ekranie komputera informację na temat tego, jak duże było przyspieszenie lub opóźnienie jego reakcji. Trening trwał 15–18 godzin, w trakcie których uczestnik badania wykonywał średnio 25 000 powtórzeń. Przed i po treningu dzieci wykonywały dwa podtesty wchodzące w skład *Testu osiągnięć Woodcocka-Johnsona* (*Woodcock-Johnson Test of Achievement III*) oceniającego zdolności matematyczne uczniów. Podtest Obliczenia (*Calculation*) sprawdzał umiejętność zapisywania liczb i wykonywania prostych działań matematycznych, natomiast podtest Płynność matematyczna (*Math Fluency*) sprawdzał umiejętność szybkiego (w czasie do 3 min) wykonywania obliczeń w pamięci. Pierwszym zaobserwowanym przez badaczy efektem treningu było zmniejszenie w post-tescie błędu wyklaskiwania rytmu przez uczestników badania. Różnica między rytmem nadanym przez metronom a tym wybijanym przez dzieci zmniejszyła się z 80–100 ms do ok. 15 ms. Wyniki post-testów ujawniły jednak także poprawę umiejętności matematycznych u uczestników treningów w porównaniu z grupą kontrolną, mimo że umiejętności nie były przedmiotem treningu! Mamy tu zatem do czynienia z transferem zdolności trenowanych na nietrenowane, który jest wynikiem współpracy mechanizmów poznawczych odpowiedzialnych z jednej strony za przetwarzanie czasu, a z drugiej, za przetwarzanie informacji numerycznej.

Niestety brakuje badań oceniających wpływ przetwarzania czasowego aspektu muzyki na umiejętności matematyczne u dzieci zmagających się z dyskalkulią. Jest to dość zaskakujące, biorąc pod uwagę wspomniane dowody istnienia punktów wspólnych dla percepcji czasu i liczb. Jedną z prawdopodobnych przyczyn może być fakt, że osoby cierpiące na dyskalkulię stanowią niewielką populację (Shalev, Manor, Gross-Tsur, 2005) i dlatego realizacja badań z wykorzystaniem treningu poznawczego jest obciążona trudnościami w pozyskaniu wyników odpowiednio licznej grupy dzieci, które najpierw spełnią wszystkie kryteria włączenia do próby, a następnie odbędą całą procedurę eksperymentalną. Może zatem dotarliśmy do punktu, w którym współczesnej neuropsychologii stawia się takie wyzwanie? Pozytywny wpływ tego typu interwencji poznawczych mógłby w istotny sposób uzupełnić inne metody pokonywania deficytów obecnych w dyskalkulii, takie jak metody angażujące ruch ciała czy gry komputerowe (zob. Słupczewski, Gut, w tym tomie; Sobolewska, Gut, w tym tomie). Kiedy już wiemy, że problemy z percepcją i produkcją czasowości bodźców stanowią jeden z objawów tego zaburzenia i mają wspólne neuronalne podstawy, to dla czegożby nie podjąć się jego te-

rapii z wykorzystaniem takiego specyficznego materiału i bazującej na nim metody, czyli zajęć muzycznych? Wydaje się to być uzasadnione tym bardziej, że tego rodzaju treningi są skuteczne w przypadku umiejętności językowych i pokonywania ich deficytów, takich jak dysleksja (np. Szymaszek, Dacewicz, Urban, Szeląg, 2018) czy afazja (Szymaszek, Wolak, Szeląg, 2017). Skuteczność ćwiczeń opartych na percepcji i odtwarzaniu rytmu warto zresztą badać nie tylko w odniesieniu do pokonywania deficytów związanych z trudnościami w matematyce. Jeśli trening muzyczny może mieć korzystny wpływ na przetwarzanie liczb u dzieci z dyskalkulią, warto też pomyśleć o wdrażaniu na lekcjach matematyki, także dla dzieci prawidłowo rozwijających się, metod dydaktycznych opartych na rytmie. Może się okazać, że edukacja matematyczna wspierana gram i zabawami z treningiem czasowego aspektu dźwięków będzie bardziej efektywna albo nawet przyczyni się do wczesnego zapobiegania problemów z liczbami u dzieci u progu edukacji wczesnoszkolnej.

Podziękowania

Rozdział został przygotowany w ramach grantu Narodowego Centrum Nauki SONATA BIS, pt. *Kompleksowe badanie neuronalnego podłoża trudności w nauce matematyki oraz zmian behawioralnych i neuroplastycznych wywołanych treningiem zależności liczbowo przestrzennej* (umowa nr: UMO-2017/26/E/HS6/00033).

Literatura cytowana

- Brattico, E., Tervaniemi, M., Näätänen, R. i Peretz, I. (2006). Musical scale properties are automatically processed in the human auditory cortex. *Brain Research*, 1117(1), 162–174. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2006.08.023>
- Brożek, B., Hohol, M. (2014). *Umysł matematyczny*. Kraków: Copernicus Center Press.
- Bueti, D., Walsh, V. (2009). The parietal cortex and the representation of time, space, number and other magnitudes. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1525), 1831–1840. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0028>
- Butterworth, B. (2010). Foundational numerical capacities and the origins of dyscalculia. *Trends in Cognitive Sciences*, 14, 534–541. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2010.09.007>

- Butterworth, B., Varma, S., Laurillard, D. (2011). Dyscalculia: From brain to education. *Science*, 332, 1049–1053. <https://doi.org/10.1126/science.1201536>
- Cappelletti, M., Freeman, E. D., Butterworth, B. L. (2011). Time processing in dyscalculia. *Frontiers in Psychology*, 2, 364. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00364>
- Dalla Bella, S., Giguere, J.-F., Peretz, I. (2009). Singing in congenital amusia. *The Journal of Acoustical Society of America*, 126(1), 414–424. <https://doi.org/10.1121/1.3132504>
- Dalla Bella, S., Peretz, I. (2003). Congenital amusia interferes with the ability to synchronize with music. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 999, 166–169. <https://doi.org/10.1196/annals.1284.021>
- Dehaene, S. (2011). *Number sense. How the mind creates mathematics*. Nowy Jork: Oxford University Press.
- Dehaene, S., Bossini, S., Giraux, P. (1993). The mental representation of parity and number magnitude. *Journal of Experimental Psychology: General*, 122(3), 371–396. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.122.3.371>
- Fischer, M. H., Shaki, S. (2014). Spatial associations in numerical cognition: From single digits to arithmetic. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 67(8), 1461–1483. <https://doi.org/10.1080/17470218.2014.927515>
- Freitas, C., Manzato, E., Burini, A., Taylor, M. J., Lerch, J., Anagnostou, E. (2018). Neural correlates of familiarity in music listening: A systematic review and a neuroimaging meta-analysis. *Frontiers in Neuroscience*, 12, 686. <https://doi.org/10.3389/fnins.2018.00686>
- Fujioka, T., Dawson, D. R., Wright, R., Honjo, K., Chen, J. L., Chen, J. J., ..., Ross, B. (2018). The effects of music-supported therapy on motor, cognitive, and psychosocial functions in chronic stroke. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1423(1), 264–274. <https://doi.org/10.1111/nyas.13706>
- Geary, D. C., Hoard, M. K., Nugent, L., Byrd-Craven, J. (2008). Development of number line representations in children with mathematical learning disability. *Developmental Neuropsychology*, 33(3), 277–299. <https://doi.org/10.1080/87565640801982361>
- Gibbon, J., Church, R. M., Meck, W. H. (1984). Scalar timing in memory. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 423(1), 52–77. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1984.tb23417.x>
- Hayashi, M. J., Kanai, R., Tanabe, H. C., Yoshida, Y., Carlson, S., Walsh, V., Sadato, N. (2013). Interaction of numerosity and time in prefrontal and parietal cortex. *Journal of Neuroscience*, 33(3), 883–893. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.6257-11.2013>
- Hubbard, E. M., Piazza, M., Pinel, P., Dehaene, S. (2005). Interactions between number and space in parietal cortex. *Nature Review of Neuroscience*, 6, 435–448. <https://doi.org/10.1038/nrn1684>

- Ishihara, M., Keller, P. E., Rossetti, Y., Prinz, W. (2008). Horizontal spatial representations of time: Evidence for the STEARC effect. *Cortex*, 44(4), 454–461. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2007.08.010>
- Javadi, H., Forouzabakhsh, F. (2014). Interactions between real and virtual spacetimes. *International Journal of Fundamental Physical Sciences*, 4(4), 114–121. <https://doi.org/10.14331/ijfps.2014.330075>
- Kang, H. J., Williamson, V. J. (2014). Background music can aid second language learning. *Psychology of Music*, 42(5), 728–747. <https://doi.org/10.1177/0305735613485152>
- Kaufmann, L., Vogel, S. E., Wood, G., Kremser, C., Schocke, M., Zimmerhackl, L. B., Koten, J. W. (2008). A developmental fMRI study of nonsymbolic numerical and spatial processing. *Cortex*, 44(4), 376–385. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2007.08.003>
- Kaviani, H., Mirbaha, H., Pournaseh, M., Sagan, O. (2014). Can music lessons increase the performance of preschool children in IQ tests? *Cognitive Processing*, 15(1), 77–84. <https://doi.org/10.1007/s10339-013-0574-0>
- Kucian, K., von Aster, M. G. (2015). Developmental dyscalculia. *European Journal of Pediatrics*, 174(1), 1–13. <https://doi.org/10.1007/s00431-014-2455-7>
- Lewis, P. A., Miall, R. C. (2006). A right hemispheric prefrontal system for cognitive time measurement. *Behavioural Processes*, 71(2–3), 226–234. <https://doi.org/10.1016/j.beproc.2005.12.009>
- Liu, X., Yin, W., Song, L. (2017). A acalculia case of mathematical concepts deficits from multiple lacunar infarction. *Proceedings of the 10th International Congress on Image and Signal Processing, BioMedical Engineering and Informatics (CISP-BMEI)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/CISP-BMEI.2017.8302084>
- Ludke, K. M., Ferreira, F., Overy, K. (2014). Singing can facilitate foreign language learning. *Memory & Cognition*, 42(1), 41–52. <https://doi.org/10.3758/s13421-013-0342-5>
- Mielewczyk, A., Gut, M. (2019). Czy rodzimy się matematykami? O biologicznych podstawach zdolności matematycznych. *Kosmos. Problemy Nauk Biologicznych*, 68(3), 355–362.
- Nosal, C. S. (2004). Neuropsychologia kodowania temporalnego i poczucia czasu. *Przegląd Psychologiczny*, 47(2), 175–190.
- Pellerone, M. (2013). Time perception in children with developmental dyscalculia. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 103, 1220–1227. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.10.450>
- Peretz, I., Champod, A. S., Hyde, K. (2003). Varieties of musical disorders. The Montreal Battery of Evaluation of Amusia. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 999, 58–75. <https://doi.org/10.1196/annals.1284.006>
- Peretz, I., Coltheart, M. (2003). Modularity of music processing. *Nature Neuroscience*, 6(7), 688–691. <https://doi.org/10.1038/nn1083>

- Peretz, I., Zatorre, R. J. (2005). Brain organization for music processing. *Annual Review of Psychology*, 56, 89–114. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.56.091103.070225>
- Philips-Silver, J., Toiviainen, P., Gosselin, N., Piche, O., Nozaradan, S., Palmer, C., Peretz, I. (2011). Born to dance but beat deaf: A new form of congenital amusia. *Neuropsychologia*, 49(5), 961–969. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2011.02.002>
- Racette, A., Hyde, K. L., Peretz, I. (2004). The Amusias. *Polskie Forum Psychologiczne*, 9(1), 25–36.
- Repp, B. H. (2006). Musical synchronization. W: E. Altenmüller, J. Kesselring, M. Wiesendanger (red.), *Music, motor control, and the brain*. Oxford: Oxford University Press.
- Roden, I., Könen, T., Bongard, S., Frankenberg, E., Friedrich, E. K., Kreutz, G. (2014). Effects of music training on attention, processing speed and cognitive music abilities—Findings from a longitudinal study. *Applied Cognitive Psychology*, 28(4), 545–557. <https://doi.org/10.1002/acp.3034>
- Rusconi, E., Kwan, B., Giordano, B. L., Umiltà, C., Butterworth, B. (2006). Spatial representation of pitch height: The SMARC effect. *Cognition*, 99, 113–129. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2005.01.004>
- Shalev, R. S., Manor, O., Gross-Tsur, V. (2005). Developmental dyscalculia: A prospective six-year follow-up. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 47(2), 121–125. <https://doi.org/10.1017/S0012162205000216>
- Slater, J., Strait, D. L., Skoe, E., O'Connell, S., Thompson, E., Kraus, N. (2014). Longitudinal effects of group music instruction on literacy skills in low-income children. *PLoS ONE*, 9(11), e113383. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0113383>
- Sokolowski, H. M., Fias, W., Ononye, C. B., Ansari, D. (2017). Are numbers grounded in a general magnitude processing system? A functional neuroimaging meta-analysis. *Neuropsychologia*, 105, 50–69. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2017.01.019>
- Sowiński, J., Dalla Bella, S. (2013). Poor synchronization to the beat may result from deficient auditory-motor mapping. *Neuropsychologia*, 51(10), 1953–1963. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2013.06.027>
- Szeląg, E., Dreszer, J., Lewandowska, M., Szymaszek, A. (2009). Neural representation of time and timing processes. W: E. Kraft, B. Gulyás, E. Pöppel (red.), *Neural correlates of thinking, t. 1. On thinking*. Berlin–Heidelberg: Springer.
- Szymaszek, A., Dacewicz, A., Urban, P., Szeląg, E. (2018). Training in temporal information processing ameliorates phonetic identification. *Frontiers in Human Neuroscience*, 12, 213. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2018.00213>
- Szymaszek, A., Wolak, T., Szeląg, E. (2017). The treatment based on temporal information processing reduces speech comprehension deficits in aphasic subjects. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 9, 98. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2017.00098>

- Taub, G. E., McGrew, K. S., Keith, T. Z. (2015). Effects of improvements in interval timing on the mathematics achievement of elementary school students. *Journal of Research in Childhood Education*, 29(3), 352–366. <https://doi.org/10.1080/02568543.2015.1040563>
- Trojan, M. (2013). *Na tropie zwierzęcego umysłu*. Warszawa Scholar.
- von Aster, M. G., Shalev, R. S. (2007). Number development and developmental dyscalculia. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 49(11), 868–873.
- Vorberg, D., Wing, A. (1996). Modelling variability and dependence in timing. W: H. Heuer, S. W. Keele (red.), *Handbook of perception and action* (s. 183–190). Nowy Jork: Academic Press. [https://doi.org/10.1016/S1874-5822\(06\)80007-1](https://doi.org/10.1016/S1874-5822(06)80007-1)
- Walsh, V. (2003). A theory of magnitude: Common cortical metrics of time, space and quantity. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(11), 483–488. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2003.09.002>
- Wing, A. W. (2002). Voluntary timing and brain function: An information processing approach. *Brain and Cognition*, 48(1), 7–30. <https://doi.org/10.1006/brcg.2001.1301>
- Winter, B., Marghetis, T., Matlock, T. (2015). Of magnitudes and metaphors: Explaining cognitive interactions between space, time, and number. *Cortex*, 64, 209–224. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2014.10.015>
- Zattore, R. (2005). Music, the food of neuroscience? *Nature*, 434, 312–315.
- Zhao, T., He, X., Zhao, X., Huang, J., Zhang, W., Wu, S., Chen, Q. (2018). The influence of time units on the flexibility of the spatial numerical association of response codes effect. *British Journal of Psychology*, 109(2), 299–320. <https://doi.org/10.1111/bjop.12273>

KATARZYNA ŚLIWIŃSKA¹, MAŁGORZATA ROSIAK²

¹Instytut Psychologii, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

²Toruński Ośrodek Psychoterapii

Skuteczność terapii poznawczo-behawioralnej w leczeniu uogólnionego zaburzenia lękowego z uwzględnieniem zastosowania nowoczesnych technologii

Sposób cytowania: Śliwińska, K., Rosiak, M. (2020). Skuteczność terapii poznawczo-behawioralnej w leczeniu uogólnionego zaburzenia lękowego z uwzględnieniem zastosowania nowoczesnych technologii. W: M. Trojan, M. Gut (red.), *Nowe technologie i metody w psychologii* (s. 347–374). Warszawa: Liberi Libri. <https://doi.org/10.47943/lib.9788363487430.rozdzial16>

Podejście poznawczo-behawioralne (CBT) w leczeniu GAD

Psychoterapia poznawczo-behawioralna (*cognitive behavioral therapy*, CBT) łączy dwa założenia: procesy uczenia się determinują zachowania (terapia behawioralna) oraz przekonania na temat siebie, świata i innych ludzi (terapia poznawcza). Na tej podstawie teoretycznej opracowano szereg technik i strategii leczenia zaburzeń psychicznych o udowodnionej naukowo skuteczności (por. Popiel, Pragłowska, 2008). Uogólnione zaburzenie lękowe (*general anxiety disorder*, GAD) jest schorzeniem psychicznym charakteryzującym się przewlekłym przebiegiem. Zostało ono opisane już w 1980 r. w klasyfikacji DSM-III, jednak dopiero w DSM III-R w 1987 r. zniesiono jego rezydualny status (Weisberg, 2009). W DSM V zakwalifikowano je do grupy zaburzeń lękowych, natomiast w ICD-10 do zaburzeń nerwicowych, związanych ze stresem i występujących pod postacią somatyczną (por. Sójta, 2017).

W podejściu poznawczo-behawioralnym zamartwianie się jest przedstawiane jako forma unikania poznawczego (Borkovec, Inz, 1990; Wells, Morrison, 1994). Osoba zamartwiająca się przetwarza tematy emocjonalne na abstrakcyjnym poziomie, co prowadzi do uniknięcia wzbudzenia autonomicznego i zmniejszenia siły negatywnych emocji (Borkovec, 1994; Borkovec, Alcaine, Behar, 2004; Borkovec, Newman, Pincus, Lytle, 2002). Tendencja do unikania u osób z GAD jest wiązana z silniejszym doświadczaniem przez nie negatywnych emocji przy jednoczesnych trudnościach w ich rozpoznawaniu i regulacji (Mennin, Heimberg, Turk, Fresco, 2005; Mennin, Turk, Heimberg, Carmin, 2004). Część badaczy, w kontekście unikania poprzez zamartwianie się, podkreśla rolę niskiej tolerancji niepewności (Dugas, Robichaud, 2007). W oparciu o powyższe założenia opracowano modele poznawcze wyjaśniające mechanizmy powstawania i utrzymywania się objawów GAD wraz z odpowiadającymi im protokołami leczenia. Są to między innymi: model unikania obaw (*avoidance model of worry*, AMW) Borkovca (Borkovec, 1994; Borkovec i in., 2004; Borkovec i in., 2002), model oparty na nietolerancji niepewności (*intolerance of uncertainty model*, IUM) Dugasa i Robichaud (2007), model metapoznawczy (*metacognitive model*, MCM) Wellsa (1995, 2004), model dysregulacji emocji (*emotion dysregulation model*, EDM) Mennina i in. (2004) oraz model oparty na akceptacji (*acceptance-based model*, A-BM) Roemer i Orsillo (2007; por. Roemer, Fuchs, Orsillo, 2014).

Model metapoznawczy (*metacognitive model, MCM*). Wells (1994) podkreślał wagę odróżniania zamartwiania się wynikającego z natrętnej myśli od martwienia się inicjowanego i podtrzymywanego. Rozwijając tę tezę, zwrócił uwagę na istnienie dwóch typów zmartwień oraz roli pozytywnych i negatywnych przekonań na temat martwienia się.

Typ I odnosi się do codziennych zmartwień dotyczących różnych sfer funkcjonowania pacjenta (np. zdrowia, pracy, bezpieczeństwa bliskich) i wynika bezpośrednio z pozytywnych przekonań pacjenta na temat martwienia się (np. „Martwienie się sprawi, że będę przygotowany na każdą ewentualność”). Typ II odzwierciedla negatywne myśli pacjenta na temat skutków martwienia się (np. obawy przed utratą kontroli, zdrowia czy popadnięciem w obłąd). W rezultacie pacjent podejmuje strategie mające zapobiec zamartwianiu (unikanie behawioralne i poznawcze), w konsekwencji prowadząc do narastania objawów (Wells, 1994, 1995).

Protokół terapii poznawczo-behawioralnej opartej na modelu metapoznawczym obejmuje ok. 14 sesji i opiera się na psychoedukacji, rozwijaniu umiejętności samoobserwacji, identyfikacji metazmartwień oraz reatrybucji werbalnej (restrukturyzacja poznawcza) i behawioralnej (eksperymenty) negatywnych przekonań. Kluczowym komponentem terapii są eksperymenty obejmujące m.in. odraczanie martwienia się, testowanie przewidywań (sondaże, testowanie granic zamartwiania się), ekspozycje (odwracanie unikania zamartwiania się czy próba zwariowania, utraty kontroli; Wells, 2010).

Model oparty na nietolerancji niepewności (*intolerance of uncertainty model, IUM*). Model ten zakłada, że główną rolę w rozwoju i podtrzymywaniu zamartwiania się odgrywa nietolerancja niepewności. Mechanizmy zaburzenia wyjaśniają dodatkowo trzy aspekty: pozytywne przekonania na temat martwienia się, negatywną orientację na problem oraz unikanie poznawcze (Davey, Wells, 2006). W sytuacjach niepewnych uruchomione pozytywne przekonania na temat martwienia się prowadzą do zamartwiania się i lęku, które powodują negatywną orientację na problem (rozumianą jako koncentracja na negatywnych emocjach kosztem zaangażowania w rozwiązanie zadania) oraz do poznawczego unikania (blokowanie i tłumienie myśli) (Dugas, Gagnon, Ladouceur, Freeston, 1998).

Psychoterapia oparta na tym modelu skupia się głównie na zwiększeniu tolerancji na niepewność. Obejmuje samomonitorowanie, psychoedukację na temat modelu, ocenę przekonań dotyczących martwienia się, pracę nad zmia-

ną w zakresie orientacji problemowej, redukcję unikania poznawczego oraz ekspozycje dotyczące kluczowych lęków (Behar, DiMarco, Hekler, Mohlman, Staples, 2009).

Model oparty na akceptacji (*acceptance-based Model, A-BM*). Model ten podkreśla rolę negatywnej oceny doświadczanych myśli, emocji i doznań pojawiających się w obliczu spostrzeganego zagrożenia (Roemer, Orsillo, Salters-Pedneault, 2008). Według autorów źródło zaburzenia stanowią problematyczne relacje jednostki z wewnętrznymi doświadczeniami. Są to negatywne reakcje na objawy i ocena doświadczanych emocji jako zagrażających (np. martwienie się martwieniem, lęk przed lękiem) oraz fuzja rozumiana jako traktowanie przejściowych doznań jako permanentnych lub będących stałą cechą danej osoby (Germer, Siegel, Fulton, 2013). Martwienie się stanowi w tym modelu sposób na blokowanie lub uniknięcie tych doświadczeń (Roemer, Salters, Raffa, Orsillo, 2005). Unikanie, mimo krótkotrwałej redukcji stresu, przynosi w dłuższej perspektywie przeciwny skutek i powoduje nasilenie objawów (Germer i in., 2013). Psychoterapia oparta na akceptacji obejmuje 16 sesji. Protokół zawiera psychoedukację, wprowadza techniki uważności (*mindfulness*), zmiany w obrębie aktywności, a także skupia się na rozwijaniu zaangażowania w wartościowe działania.

Skuteczność terapii poznawczo-behawioralnej w leczeniu uogólnionego zaburzenia lękowego (GAD)

W przeprowadzonym przeglądzie literatury ujęto 30 badań, z czego 22, w tym 4 metaanalizy, dotyczą efektywności terapii poznawczo-behawioralnej w leczeniu GAD osób dorosłych (por. tabela 1 i tabela 2), a 8 badań – osób w wieku podeszłym (por. tabela 3).

Tabela 1

Przegląd badań z udziałem dorosłych

Badacze, rok badania (kraj, w którym prowadzono badanie)	Specyfika badań			Ocena efektywności CBT
	Liczebność grupa kryterialna	Liczebność grupa kontrolna	Metoda stosowana w grupie kryterialnej/ forma pracy z pacjentem/ główne techniki	
Arntz, 2003 (Holandia)	25	20	CBT/indywidualna/restrukturyzacja poznawcza	Badania wykazały skuteczność obu form terapii w leczeniu GAD. Po 1 m-cu leczenia lepsze rezultaty odnotowano po relaksacji, ale po dalszych 6 m-cach CBT bardziej sprzyjało redukcji objawów w porównaniu do AR.
Butler, Fennell, Robson, Gelder, 1991 (Wielka Brytania)	19	(1) 19 (2) 19	CBT/indywidualna/restrukturyzacja poznawcza	Obie formy terapii przyniosły efekt leczniczy w porównaniu z osobami z listy oczekujących. Jednocześnie efekty w grupie z zastosowaniem CBT były większe i trwalsze (badanie po 6 i 18 m-cach) w porównaniu do grupy leczonej BT.
Crits-Christoph i in., 2011 (USA)	26	34	CBT/indywidualna/restrukturyzacja poznawcza + relaksacja + techniki rozwiązywania problemów + Venlafaxina	W badaniach nie odnotowano większego efektu leczniczego w przypadku połączenia leczenia farmakologicznego z CBT w porównaniu do leczenia wyłącznie Venlafaxiną. Badacze podkreślają jednak, że na wyniki mógł wpłynąć fakt, że terapię proponowano pacjentom, którzy byli już zdecydowani na farmakoterapię i ich motywacja oraz oczekiwania wobec skuteczności terapii psychologicznej były niskie.

Ciąg dalszy tabeli na następnej stronie

Ciąg dalszy tabeliz poprzedniej strony

Badacze, rok badania (kraj, w którym prowadzono badanie)	Specyfika badań			Ocena efektywności CBT	
	Liczebność grupa kryterialna	Liczebność grupa kontrolna	Metoda stosowana w grupie kryterialnej/ forma pracy z pacjentem/ główne techniki		
Dugas i in., 2010 (Kanada)	23	(1) 22 (2) 20	CBT (IUT – model oparty na nietolerancji niepewności/ indywidualna/ psychoedukacja, rozpoznawanie nietolerancji niepewności, ekspozycja, redukcja na temat użyteczności martwienia się, trening rozwiązywania problemów, ekspozycja wyobrażeniowe	Metoda stosowana w grupie kontrolnej	Metoda oszacowania efektywności CBT
van der Heiden, Muris, van der Molen, 2012 (Holandia)	(1) 52 (2) 54	20	(1) CBT-IUT (model oparty na nietolerancji niepewności)/ indywidualna (2) CBT-MCT (model meta-poznawczy)/ indywidualna	(1) relaksacja (AR) (2) lista oczekujących	MINI, ADIS-IV, PSWQ, WAQ, STAI, BDI, CGI-I, CES-GAD, NML, TRS
Johnston, Titov, Andrews, Spence, Dear, 2011 (Australia)	39	20	CBT/Internet/ restrukturyzacja poznawcza, ekspozycja, umiejętności asertywne	Brak – lista oczekujących	MINI, DASS-21, PSWQ, PHQ, SDS, GAD-7
CBT było znacznie skuteczniejsze w redukcji objawów w porównaniu do osób z listy oczekujących, AR nieznacznie skuteczniejsze, jednocześnie CBT okazało się nieznacznie lepsze od AR. Po kolejnych 6 m-cach efektywność AR i CBT była porównywalna, ale po kolejnych badaniach (24 m-ce) dalsza poprawa następowała tylko w grupie leczonej CBT.					
Wyniki wskazały, że obie formy CBT- IUT, jak i MCT okazały się efektywne w leczeniu GAD (w porównaniu do osób z listy oczekujących). Jednocześnie zaobserwowano lepsze efekty terapeutyczne MCT w porównaniu do IUT.					
Zaobserwowano znaczącą poprawę w wyniku leczenia (raz po 3 m-cach) w grupie kryterialnej. Odnotowano także mniejszą poprawę w przypadku pacjentów prowadzonych przez wykwalifikowanych klinicystów w porównaniu do osób z przeszkoleniem, ale nie posiadających specjalizacji. Zdaniem autorów wynik był niezgodny z oczekiwaniami i wymaga replikacji, ale potwierdza doniesienia z literatury przedmiotu, że wysoko ustrukturalizowane programy terapeutyczne CBT są skuteczne także przy wsparciu nie-specjalistów po odpowiednim przeszkoleniu (Titov i in., 2010; Titov i in. 2009)					

Ciąg dalszy tabeli na następnej stronie

ciąg dalszy tabeli z poprzedniej strony

Badacze, rok badania (kraj, w którym prowadzono badanie)	Specyfika badań			Ocena efektywności CBT
	Liczebność grupa kryterialna	Liczebność grupa kontrolna	Metoda stosowana w grupie kryterialnej/ forma pracy z pacjentem/ główne techniki	Metoda oszacowania efektywności CBT
Koszycki, Raab, Aldosary, Bradowej, 2010 (Kanada)	11	11	CBT/indywidualna/restrukturyzacja poznawcza, relaksacja, ekspozycje wyobrażeniowe	Techniki rozwoju duchowego, medytacje (SBI) HAM-A, CGI-S, PSWQ, BAI, BDI, IUS, SAS-SR Zaobserwowano poprawę w obu grupach poddanych terapii, przy czym nie stwierdzono znacznych różnic między nimi. Pomiar efektów wykonano trzykrotnie: tuż po leczeniu (badanie I), po kolejnych 3 m-cach (badanie II), a następnie po dalszych 6 m-cach (badanie III). Poprawa utrzymała się w CBT kolejno: w I pomiarze – u 8 z 11 pacjentów (73%), a w II i III – u 9 (82%). Dla SBI: w I i II badaniu u 7 z 11 pacjentów (64%), a w III – u 5 (45%). Warto zwrócić uwagę na ograniczenia badań wskazane przez samych autorów: małe grupy oraz jeden specjalista prowadzący grupę CBT i jeden grupę SBI. Podstawowa wątpliwość dotyczy tego, czy wyniki badań wynikają z odmienności zastosowanych technik, czy też są związane z określonym terapeutą.
Ladouceur i in., 2000 (Kanada)	14	12	CBT/indywidualna/restrukturyzacja poznawcza, rozwiązywanie problemów, ekspozycje, zapobieganie nawrotom	ADIS-IV, PSWQ, WAQ, BAI, BDI, IUS Wyniki wykazały efektywność leczenia technikami CBT w zakresie martwienia się, symptomów somatycznych, objawów lęku i depresji. Aż 77% uczestników po zakończeniu terapii nie spełniało kryteriów diagnostycznych GAD i efekt ten utrzymał się w badaniu przeprowadzonym po roku od ukończenia leczenia.

ciąg dalszy tabeli na następnej stronie

Ciąg dalszy tabeli z poprzedniej strony

Badacze, rok badania (kraj, w którym prowadzono badanie)	Specyfika badań				Ocena efektywności CBT
	Liczebność grupa kryterialna	Liczebność grupa kontrolna	Metoda stosowana w grupie kryterialnej/ forma pracy z pacjentem/ główne techniki	Metoda stosowana w grupie kontrolnej	Metoda oszacowania efektywności CBT
Leichtsenring i in., 2009 (Niemcy)	29	28	CBT/indywidualna/poznawcza restrukturyzacja, ekspozycje na martwienie się, relaksacja, rozwiązywanie problemów	Krótkoterminowa terapia psychodynamiczna	SCID-1, SCID-2, HAM-A, PSWQ, STAI, BAI, BDI Obie formy terapii spowodowały znaczącą poprawę ocenioną na podstawie skal objawów lękowych i depresyjnych. Stwierdzono brak różnic w objawach mierzonych HAM-A oraz BAI. Jednocześnie w grupie leczonej CBT osiągnięto znacząco lepsze rezultaty w skalach mierzących martwienie się (PSWQ), lęk (STAI) i depresję (BDI). Autorzy zwracają uwagę, że <i>effect size</i> międzygrupowy był większy dla CBT. Badacze sugerują także, że większa liczebność grup mogłaby wpłynąć na wielkość stwierdzonych różnic.
Linden, Zubraegel, Baer, Franke, Schlattmann, 2005 (Niemcy)	36	36	CBT/indywidualna/poznawcza restrukturyzacja, relaksacja, rozwiązywanie problemów, aktywizacja behawioralna	Lista oczekujących + spotkania wspierające i motywujące do podjęcia terapii (po okresie oczekiwania także ta grupa została objęta terapią CBT)	HAM-A, MINI, CGI, STAI Stwierdzono skuteczność CBT w leczeniu GAD mierzoną stopniem redukcji objawów oraz w porównaniu z grupą kontrolną. Efekty leczenia utrzymały się w badaniu po 8 m-cach od zakończenia terapii.

Ciąg dalszy tabeli na następnej stronie

Ciąg dalszy tabeli z poprzedniej strony

Badacze, rok badania (kraj, w którym prowadzono badanie)	Specyfika badań			Ocena efektywności CBT	
	Liczebność grupa kryterialna	Liczebność grupa kontrolna	Metoda stosowana w grupie kryterialnej/ forma pracy z pacjentem/ główne techniki	Metoda stosowana w grupie kontrolnej	Metoda oszacowania efektywności CBT
Öst, Breitholtz, 2000 (Szwecja)	18	15	CBT/indywidualna/restrukturyzacja poznawcza	Relaksacja (AR)	ADIS-IV, BAI, STAI, CSAQ, PSWQ, BDI
Power i in., 1990 (Wielka Brytania)	21 21 18	22 21 18 19	(1) CBT/indywidualna/poznawcza restrukturyzacja, relaksacja, ekspozycja (2) CBT + diazepam (3) CBT + placebo	(1) farmakoterapia – benzodiazepiny (2) placebo	HAMA
Robinson i in., 2010 (Australia)	50 47	48	CBT/Internet/restrukturyzacja poznawcza, rozwiązywanie problemów, zarządzanie nastrojem (1) prowadzone przez przeszkolonego asystenta-technika (2) prowadzone przez klinicystę	Brak – lista oczekujących	PSWQ, GAD-7

Ciąg dalszy tabeli na następnej stronie

ciąg dalszy tabeli z poprzedniej strony

Badacze, rok badania (kraj, w którym prowadzono badanie)	Specyfika badań				Ocena efektywności CBT
	Liczebność grupa kryterialna	Liczebność grupa kontrolna	Metoda stosowana w grupie kryterialnej/ forma pracy z pacjentem/ główne techniki	Metoda stosowana w grupie kontrolnej	Metoda oszacowania efektywności CBT
Titov, Andrews, Johnston, Robinson, Spence, 2010 (Australia)	18	16	CBT/Internet/ restrukturyzacja poznawcza, ekspozycja, umiejętności asertywne	Brak – lista oczekujących	U osób leczonych CBT za pośrednictwem Internetu zaobserwowano istotną poprawę w porównaniu do grupy kontrolnej w skalach: GAD-7, DASS-21. Nie stwierdzono efektu terapii w przypadku skali PSWQ.
Treanor, Erisman, Salters-Pedneault, Roemer, Orsillo, 2011 (USA)	15	16	ABBT – terapia oparta na akceptacji (CBT, ACT, MBCT, DBT) /indywidualna/ redukcja unikania, akceptacja, relaksacja	Brak – lista oczekujących	W badaniu zaobserwowano znaczącą poprawę u pacjentów z grupy kryterialnej w stosunku do grupy kontrolnej w zakresie regulacji emocji, radzenia sobie ze stresem, tolerancji niepewności i poczucia kontroli nad lękiem.
Wells i in., 2010 (Wielka Brytania)	10	10	MCT/indywidualna/ restrukturyzacja metaprzekonań	Relaksacja	W redukcji objawów MCT okazało się istotnie skuteczniejsze w porównaniu do relaksacji, a efekty utrzymały się po 6 i 24 m-cach (np. poprawę w PSWQ zaobserwowano u 80% pacjentów poddanych terapii MCT i tylko u 10% po relaksacji).
White, Keenan, Brooks, 1992 (Wielka Brytania)	(1) 31 (2) 31 (3) 26	(1) 10 (2) 11	(1) CT/grupowa/ restrukturyzacja poznawcza (2) BT – relaksacja, analiza funkcjonalna, ekspozycja (3) CBT-CT + BT	(1) placebo (2) brak – lista oczekujących	Wyniki wykazały istotną poprawę u pacjentów we wszystkich grupach poddanych terapii w porównaniu do grupy pacjentów oczekujących na terapię (przy czym najmniej efektywna była forma terapii placebo). Trzy aktywne formy terapii (CT, BT, CBT) po 6 m-cach skutkowały dalszym postępowaniem w redukcji objawów, w przypadku placebo u pacjentów utrzymywał się poziom osiągnięty tuż po terapii.

ciąg dalszy tabeli na następnej stronie

Ciąg dalszy tabeli z poprzedniej strony

Badacze, rok badania (kraj, w którym prowadzono badanie)	Specyfika badań			Ocena efektywności CBT	
	Liczebność grupa kryterialna	Liczebność grupa kontrolna	Metoda stosowana w grupie kryterialnej/ forma pracy z pacjentem/ główne techniki	Metoda stosowana w grupie kontrolnej	Metoda oszacowania efektywności CBT
Zinbarg, Lee, Yoon, 2007 (USA)	8	10	CBT/indywidualna/restrukturyzacja poznawcza, relaksacja, ekspozycje wyobrażeniowe	Brak – lista oczekujących	SCID-CV, CSR, PSWQ, BAI, DASS, GHQ
					Wyniki badań wykazały, że terapia CBT doprowadziła do znaczącej redukcji objawów GAD. Stwierdzono także istotną różnicę między grupą osób poddanych terapii i grupą kontrolną. Warto dodać, że badacze zastosowali w badaniach test KPI do oceny wrogoci partnera osób z GAD. Na bazie obserwowanych tendencji i doniesień z literatury przedmiotu wysunęli postulat dodania do terapii modułu obejmującego parę.

Adnotacja. Zastosowane narzędzia: ACQ-R – *Anxiety Control Questionnaire-Revised*, ACS – *Affective Control Scale*, ADIS-IV – *Anxiety Disorders Interview Schedule—IV*, BAI – *Beck Anxiety Inventory*, BDI – *Beck Depression Inventory*, CCL – *Cognition Checklist*, CGI-S, CGI-I – *Clinical Global Impressions Severity and Improvement Scale*, CES-GAD – *Credibility and Expectancy Scale for GAD*, CRQ – *Coping Responses Questionnaire*, CSAQ – *Cognitive-Somatic Anxiety Questionnaire*, CSR – *Clinician Severity Rating*, DASS – *Depression Anxiety Stress Scales*, DASS-21 – *Depression Anxiety Stress Scales-21 Item*, DERS – *Difficulties in Emotion Regulation Scale*, FSAQ – *Four Systems Anxiety Questionnaire*, FQ – *Fear Questionnaire*, GAD-7 – *Generalized Anxiety Disorder 7-Item Scale*, GHQ – *General Health Questionnaire*, HAM-A – *Hamilton Rating Scale for Anxiety*, HAM-D – *Hamilton Rating Scale for Depression*, IUS – *Intolerance of Uncertainty*, MCQ – *Metacognitions Questionnaire*, MINI – *Mini International Neuropsychiatric Interview*, NML – *Nijmegen Motivation List*, PHQ – *Patient Health Questionnaire*, PSWQ – *Penn State Worry Questionnaire*, SAS-SR – *Social Adjustment Scale-Self Report Version*, SCL-90 – *Symptom Checklist-90*, SCID-1 – *Structured Clinical Interview for the DSM-IV Axis I Personality Disorders*, SCID-1 – *Structured Clinical Interview for the DSM-IV Axis II Personality Disorders*, SCID-1 – *Structured Clinical Interview: Clinician version*, SDS – *Sheehan Disability Scales*, STAI – *State-Trait Anxiety Inventory*, TRS – *Therapist Rating Scale*, WAAQ – *Worry and Anxiety Questionnaire*.

Tabela 2
Wyniki metaanaliz

Badacze, rok badania	Ilość badań uwzględnionych w analizach	Wiek	Specyfika badań	Grupa kryterialna	Grupa kontrolna	Wyniki
Cuijpers i in., 2016	41 (2132 pacjentów z diagnozą GAD)	32 badania w grupie osób dorosłych 8 – osoby w podszym wieku 1 – brak danych dotyczących wieku	38 porównań terapii CBT z grupą kontrolną (w 26 badaniach), 21 porównań z innymi formami leczenia, 29 – forma indywidualna, 5 – grupowa, 5 – przez Internet, 2 – brak pełnej informacji	35 – CBT 6 – CBT + relaksacja 2 – ACT – terapia oparta na akceptacji i zaangażowaniu	19 badań – listy oczekujących, 3 – placebo, 4 – podstawowa opieka – warunki kontrolne Inne formy leczenia: 6 – relaksacja 2 – biofeedback 2 – terapia behawioralna 2 – terapia wspierająca 2 – terapia psychodynamiczna 5 – farmakoterapia 1 – terapia duchowa 1 – zarządzanie stresem	Metaanaliza miała na celu ocenę efektów oddziaływań psychologicznych, w tym szczególnie CBT, w leczeniu GAD. W porównaniu z osobami z grup kontrolnych, zaobserwowano znaczącą poprawę w zakresie redukcji zamydlwania się, lęku i depresji (w oparciu o samoopis oraz wyniki skal klinicznych). Dodatkowo stwierdzono, że choć skuteczność obu form terapii tuż po zakończeniu leczenia jest zbliżona, to w dłuższej perspektywie CBT jest bardziej efektywna niż relaksacja. Porównanie skuteczności różnych form terapii było niemożliwe ze względu na zbyt małą liczbę danych. Porównanie grup leczonych w klasycznej formie relacji z terapeutą i przez Internet nie wykazało znaczących różnic w efektywności leczenia. W metaanalizie nie stwierdzono różnic w skuteczności psychoterapii w leczeniu młodszych i starszych pacjentów, ale badacze zwracają uwagę na relatywnie małą liczbę badań skoncentrowanych na osobach w podeszłym wieku.

ciąg dalszy tabeli na następnej stronie

Ciąg dalszy tabeli z poprzedniej strony

Badacze, rok badania	Ilość badań uwzględnionych w analizie	Wiek	Specyfika badań	Grupa kryterialna	Grupa kontrolna	Wyniki
Gould, Otto, Pollack, Yap, 1997	35 badań opublikowanych w latach 1974–1996 obejmujących 61 interwencji leczniczych	Brak danych na temat wieku, ale opis wybranych parametrów grupy wskazuje na dorosłych	Oddziaływaniom psychologicznymi (CBT) objęto 722 osób, farmakoterapię – 3280 osoby. Obie wymienione grupy porównano z odpowiednio dobranymi grupami kontrolnymi. Na tej podstawie dokonano z kolei porównania skuteczności tych form leczenia	13 badań z CBT – badacze objęli tym terminem interwencje behawioralne i/lub poznawcze, (restrukturyzacja poznawcza, ekspozycje, systematyczna desensytyzacja, treningi relaksacyjne, w tym biofeedback), 22 badania z zastosowaniem farmakoterapii	(1) listy oczekujących, w jednym przypadku niedyrektywna terapia wspierająca (2) placebo	Wyniki metaanalizy wykazały, że obie zastosowane formy terapii (w odniesieniu do grup kontrolnych) okazały się efektywne w leczeniu GAD. Porównanie skuteczności CBT i farmakoterapii nie wykazały istotnych różnic. Jednocześnie wykazano przewagę CBT nad farmakoterapią w eliminacji objawów depresyjnych (często towarzyszących GAD).
Hamrahan, Field, Jones, Davey, 2013	15 badań opartych na CT rozumianych jako zastosowanie technik poznawczych z lub bez technik behawioralnych (np. MBCT, ale nie AR)	18–65 lat; średnia wieku = 39,07	Spośród 15 uwzględnionych w metaanalizie badań 7 porównywało osoby leczone CT i osoby nie poddane żadnej terapii, 7 z osobami poddawanymi terapii innej niż CT, a 5 z terapią CBT uwzględniającą relaksację	3 badania oparte na protokole MCT (modelu metapo-znaczym), 3 IUT (nie toleracja niepewności), 12 innych form CT opartych m.in. na klasyfikacji protokołów oraz teorii unikania emocjonalnego	7 badań – listy oczekujących 7 – relaksacja, terapia psychodynamiczna, terapia niedyrektywna, 5 – terapia CBT uwzględniająca relaksację	Wyniki badań wykazały istotne różnice w grupach leczonych CT w porównaniu do osób niepoddanych terapii – zaobserwowano znaczne zmniejszenie martwienia się po terapii, zaobserwowano także nieco lepszą efektywność CT w porównaniu do innych terapii (na poziomie tendencji). Nie stwierdzono różnic dla odmiennych form CBT. Podobne wyniki zaobserwowano po 6 i 12 m-cach.

Ciąg dalszy tabeli na następnej stronie

Ciąg dalszy tabeli z poprzedniej strony

Badacze, rok badania	Ilość badań uwzględnionych w analizach	Wiek	Specyfika badań	Grupa kryterialna	Grupa kontrolna	Wyniki
Zhu i in., 2014	12 badań z lat 1991 – 2013 (531 osób z diagnozą GAD)	Dorośli (średnia wieku od 32,6 do 68,3), w tym 4 badania obejmujące osoby w podeszłym wieku (średnia od 66,2 do 68,3)	250 osób leczonych z zastosowaniem CBT w porównaniu do grup kontrolnych nie poddanych terapii (182 osoby) i z zastosowaniem psychologicznego placebo (99 osób), 7 badań prowadzonych terapią w formie indywidualnej, 5 – w grupowej	CBT – restrykcyjna, poznawcza, trening relaksacyjny, ekspozycyjne, techniki zarządzania stresem	3 badania z zastosowaniem psychologicznego placebo – niedyrektywna terapia i neutralna dyskusja, 8 badań porównujących CBT z osobami niepoddanymi terapii (listy oczekujących), 1 – obie formy	Wyniki wskazują na efektywność CBT w leczeniu GAD w 9 badaniach, w 2 nie wykazano istotnych różnic. Badacze zwracają uwagę, że w obu przypadkach symptomy zaburzenia mierzone były przez zewnętrznego eksperta, a nie techniką samoopisu. W przypadku wykorzystania różnych form psychologicznego placebo zaobserwowano znaczną przewagę CBT w redukcji objawów, mierzoną przy wykorzystaniu narzędzi do badania poziomu objawów przed i po terapii. Jednocześnie nie stwierdzono istotnych różnic przy zastosowaniu dychofotomicznego podziału na wyleczonych i niewyleczonych. W konkluzji badacze wskazują, że istnieją tendencje sugerujące skuteczność CBT, ale w badaniach należy stosować bardziej rygorystyczne kryteria oceny objawów przed i po terapii.

Powyższe zestawienia wskazują, że we wszystkich uwzględnionych tu badaniach techniki terapii poznawczo-behawioralnej wywołały znaczącą redukcję nasilenia objawów lęku i martwienia się w porównaniu do oceny klinicznej wykonanej przed podjęciem oddziaływań terapeutycznych.

W 12 badaniach (nie uwzględniając metaanaliz), porównujących grupę leczoną technikami CBT z pacjentami nie poddanymi żadnemu leczeniu (np. oczekującymi na terapię) zaobserwowano istotną poprawę u osób poddanych terapii (Butler i in., 1991; Dugas i in., 2010; Johnston i in., 2011; Ladouceur i in., 2000; Linden i in., 2005; Robinson i in., 2010; Titov i in., 2010; Treanor i in., 2011; van der Heiden i in., 2012; White i in., 1992; Zinbarg i in., 2007). W jednym z badań porównawczych z wykorzystaniem placebo w grupie kontrolnej oraz z grupami osób poddanych terapii poznawczej (CT) i terapii behawioralnej (BT) wyniki wykazały poprawę u pacjentów we wszystkich grupach, przy czym efekt terapeutyczny był najsłabszy w grupie placebo. Ponadto w przeciwieństwie do pozostałych dwóch grup (CT i BT) po 6 miesiącach nie odnotowano u tych pacjentów dalszej poprawy (White i in., 1992). W czterech spośród sześciu badań z wykorzystaniem placebo, ujętych w dwóch cytowanych metaanalizach, wykazano większą skuteczność terapii poznawczo-behawioralnej w porównaniu do placebo, zaś w dwóch nie stwierdzono istotnych różnic między oddziaływaniem placebo i terapii (Cuijpers i in., 2016; Zhu i in., 2014). Badacze zwracają uwagę, że w porównaniach, które nie wykazały znaczących różnic w nasileniu objawów, zastosowano ocenę zewnętrznego eksperta oraz ocenę dwukategoryjną (spełnia/nie spełnia kryteriów zaburzenia), podczas gdy w większości pozostałych badań punktem odniesienia był samoopis pacjentów. Zhu i in. (2014) konkludują, że choć wyniki metaanaliz sugerują wysoką efektywność terapii CBT w leczeniu GAD, to w celu zwiększenia wiarygodności tego wniosku, należałoby stosować w badaniach bardziej rygorystyczne kryteria oceny objawów.

O ile (mimo wskazanych wyżej ograniczeń) skuteczność psychoterapii poznawczo-behawioralnej wydaje się być dobrze udokumentowana, to ważnym obszarem badawczym pozostaje porównanie jej z innymi formami leczenia. Spośród badań ujętych w tabelach dwa dotyczą porównania terapii poznawczo-behawioralnej z farmakoterapią (Crits-Christoph i in., 2011; Power i in., 1990). Wyniki nie są jednoznaczne: w jednym z nich nie wykazano różnic między skutecznością leczenia farmakologicznego i leczenia farmakologicznego połączonego z terapią poznawczo-behawioralną. W drugim stwierdzono lepszy efekt CBT połączonej z farmakoterapią w porównaniu z efektami:

samej farmakoterapii, samej psychoterapii (CBT) oraz psychoterapii (CBT) w połączeniu z placebo. Z kolei wyniki metaanalizy przeprowadzonej przez Goulda i in. (1997), obejmującej 22 badania porównujące efekty farmakoterapii i terapii opartej na technikach poznawczo-behawioralnych, nie wykazały istotnych różnic między skutecznością tych form leczenia.

W przedstawionych badaniach porównywano także skuteczność terapii CBT z rezultatami innymi form oddziaływań psychologicznych. W pięciu badaniach efektywność CBT zestawiono ze skutecznością zastosowania relaksacji (w jednym badaniu w połączeniu z ekspozycją). Wyniki wskazują, że choć obie formy terapii wpłynęły korzystnie na stan pacjentów, to w czterech badaniach zaobserwowano większą trwałość efektów CBT w perspektywie długoterminowej (Arntz, 2003; Butler i in., 1991; Dugas i in., 2010; Wells i in., 2010). Podobny rezultat zaobserwowano w badaniu porównującym efekty terapii poznawczo-behawioralnej i terapii opartej na technikach rozwoju duchowego i relaksacji (Koszycki i in., 2010). Po zakończeniu leczenia nie stwierdzono różnic między badanymi grupami, ale terapia poznawczo-behawioralna skutkowała trwalszą poprawą (weryfikowaną w badaniu po 3 i 8 miesiącach).

W jeszcze jednym z badań porównano z kolei terapię poznawczo-behawioralną z krótkoterminową terapią psychodynamiczną. Obie spowodowały znaczącą poprawę wyników w zastosowanych skalach objawów lękowych i depresyjnych. Stwierdzono brak różnic w objawach mierzonych HAM-A oraz BAI. Jednocześnie CBT wywołała znacząco lepsze wyniki w skalach mierzących martwienie się (PSWQ), lęk (STAI) i depresję (BDI) (Leichsenring i in., 2009). Nieco więcej danych z porównania skuteczności tych dwóch form leczenia ujętych zostało w przedstawionych metaanalizach. W analizie Cuijpersa i in. (2016) przedstawiono dwa takie badania, jednak ze względu na zbyt małą ilość danych nie udało się sformułować wiążących wniosków. Z kolei w badaniu Hanrahan i in. (2013) wykazano większą skuteczność terapii poznawczo-behawioralnej, ale jedynie na poziomie trendu istotności statystycznej (przy czym terapia psychodynamiczna była jedną z siedmiu alternatywnie zastosowanych form oddziaływań psychologicznych, np. relaksacji).

W omawianych badaniach ujęto także różnice w formule prowadzenia terapii poznawczo-behawioralnej. Z 18 badań 14 dotyczyło terapii prowadzonych indywidualnie (Arntz, 2003; Butler i in., 1991; Crits-Christoph i in., 2011; Dugas i in., 2010; van der Heiden i in., 2012; Koszycki i in., 2011; Ladouceur i in., 2000; Leichsenring i in., 2009; Linden i in., 2005; Öst, Breitholtz, 2000; Power i in., 1990; Treanor i in., 2011; Wells i in., 2010; Zinbarg i in., 2007),

jedno – efektów terapii grupowej (White i in., 1992), a trzy – terapii prowadzonej przez Internet (iCBT) (Johnston i in., 2011; Robinson i in., 2010; Titov i in., 2010). Mimo że nie porównywano skuteczności poszczególnych form prowadzenia oddziaływań terapeutycznych, to we wszystkich badaniach, bez względu na przyjętą formę prowadzenia spotkań, CBT okazało się skuteczne w leczeniu uogólnionego zaburzenia lękowego. Warto w tym miejscu podkreślić, że badania skuteczności terapii poznawczo-behawioralnej z wykorzystaniem Internetu mogą przyczynić się do zwiększenia dostępności i popularyzacji tej metody leczenia GAD.

Podsumowując, można stwierdzić, że zaprezentowane badania wskazują na skuteczność terapii poznawczo-behawioralnej w terapii GAD (bez względu na model poznawczy, protokół terapeutyczny i formę pracy z pacjentem) w kontekście uzyskiwania poprawy w zakresie objawów. Niestety ze względu na wciąż niewielką liczbę badań porównujących rezultaty różnych metod leczenia nie można sformułować wiążących wniosków w tym obszarze (por. Cuijpers i in., 2016; Gould i in., 1997; Hanrahan i in., 2013; Zhu i in., 2014).

Tabela 3
Przebieg badań w grupie osób w podeszłym wieku

Badacze, rok badania (kraj, w którym prowadzono badanie)	Grupa badawcza		Specyfika badań		Metoda oszacowania efektywności CBT	Ocena efektywności CBT
	Liczebność grupa kryterialna	Liczebność grupa kontrolna	Wiek	Metoda stosowana w grupie kryterialnej	Metoda stosowana w grupie kontrolnej	
Jones, Hadji- stavropoulos, Soucy, 2016 (Kanada)	24	22	60–80 lat, średnia wieku: 64,8	terapia prowadzo- na przez Internet, 5 modułów/8 tyg.	grupa czekająca na terapię	GAD PHQ PSWQ-A GDS WHO-QOL WHO-QOL- D1 WHO-QOL-D2 WHO- QOL-D3 WHO-QOL-D4 Znaczna poprawa w zakresie lęku, depresji, jakości życia, efekty utrzymywa- ły się po 1 m-cu od zakończenia terapii. Efekty terapii zostały zreplikowane, kiedy grupa kontrolna czekająca na terapię, została poddana terapii.
Mohlman i in., 2003 (USA)	8	7	60–79 lat, średnia wieku: 67,5	(1) indywidualna terapia CBT (2) terapia wzbogacona o techniki wspierające funkcje poznawcze	grupa czekających na terapię	BDI STAI PSWQ SCL Znacząca poprawa w grupie kryterialnej w stosunku do grupy kontrolnej. Nieznacz- nie lepsze efekty w grupie wzbogaconej o techniki wspierające funkcje poznawcze. Poprawa w grupach kryterialnych mniejsza niż ta, która zazwyczaj występuje w młodszych grupach wiekowych.
Stanley, Beck, Glassco, 1996 (USA)	18	13	55–81 lat, średnia wieku 68,3	terapia grupowa, 14 se- sjii, 1x w tyg. po 1,5 h, wzorowana na protoko- łach Borkovca, Costello (1993) oraz Craske’a, Barlowa oraz O’Learyego (1992) zaadaptowane na użytek pracy z osobami w wieku podeszłym.	niedyrektywna terapia wspierająca	GAD PSWQ BDI HAM-D STAI HAM-A Znacząca poprawa zarówno w grupie kryterialnej, jak i kontrolnej. Brak istotnej różnicy między grupami. Efekt utrzymany po 6 m-cach.

ciąg dalszy tabeli na następnej stronie

Ciąg dalszy tabeli z poprzedniej strony

Badacze, rok badania (kraj, w którym prowadzono badanie)	Grupa badawcza		Specyfika badań		Metoda oszacowania efektywności CBT	Ocena efektywności CBT
	Liczebność grupa kryterialna	Liczebność grupa kontrolna	Wiek	Metoda stosowana w grupie kryterialnej	Metoda stosowana w grupie kontrolnej	
Stanley i in., 2003 (USA)	29	35	60 i więcej lat, średnia wieku 66,2	terapia grupowa, 15 sesji, 1 x w tyg. po 1,5 h., oparta na modelu Borkovca, Costello (1993) Craske'a, Barlowa oraz O'Leary'ego (1992), zaadaptowana na użytek pracy z osobami w podeszłym wieku.	minimalny kontakt: 1 x w tyg. wspierający telefon	Znacząca poprawa w zakresie lęku, depresji, jakości życia w grupie kryterialnej w stosunku do grupy kontrolnej. Nie osiągnięto jednak powrotu do stanu przedchorobowego.
Stanley i in., 2009 (USA)	70	50	60 i więcej lat, średnia wieku 66,6	10 sesji indywidualnych w 12 tyg., terapia wzbogacona krótkim telefonem w 4, 7, 10 i 13 m-cy po terapii	1 x na 2 tyg. przez 3 m-ce, wspierający telefon od terapeuty, ok. 15 min.	Znacząca poprawa w zakresie martwienia się, depresji u osób poddanych CBT. W porównaniu z grupą kontrolną znaczące różnice na korzyść CBT w 3 m-ce po zakończeniu terapii, po 15 m-cach efekt różnicy między grupami nie został utrzymany.
Stanley i in., 2014 (USA)	BLP = 76 PLP = 74	73	średnia wieku 66,9	(1) PLP – CBT prowadzona przez profesjonalistów (2) BLP – terapia prowadzona przez laików/nieprofesjonalistów pod supervizją profesjonalistów	dotychczasowa opieka GADSS STAI SIGH-AISI, MCS	Znacząca poprawa w zakresie lęku, depresji, jakości życia w grupie poddanej BLP i PLP w stosunku do grupy kontrolnej. Bez większych różnic między grupami kryterialnymi. Efekt utrzymany po 6 m-cach.

Ciąg dalszy tabeli na następnej stronie

Ciąg dalszy tabeliz poprzedniej strony

Badacze, rok badania (kraj, w którym prowadzono badanie)	Grupa badawcza		Specyfika badań		Metoda		Ocena efektywności CBT
	Liczebność grupa kryterialna	Liczebność grupa kontrolna	Wiek	Metoda stosowana w grupie kryterialnej	Metoda stosowana w grupie kontrolnej	oszacowania efektywności CBT	
Wetherell, Gatz, Craske, 2003 (USA)	18	18	55 i więcej lat, średnia wieku 67,1	(1) grupowa terapia CBT, 12 sesji (2) grupa dyskusyjna	grupa czekająca na terapię	PSWQ GADSS	Znacząca poprawa w zakresie objawów zarówno w grupie CBT, jak i grupie dyskusyjnej w stosunku do grupy czekającej na terapię. Niewielka różnica między grupami kryterialnymi zaraz po zakończeniu leczenia. Po 6 m-cach od zakończenia terapii bez różnicy między grupami kryterialnymi.
Zou i in., 2012 (Australia)	22	brak	60 i więcej lat, średnia wieku 66	terapia prowadzona przez Internet, 5 modułów/8 tyg., dodatkowo moderowane forum, raz na tydzień wspierający telefon z kliniki	brak	GAD-7 DASS-21 PHQ-9 SDS K-10	Znacząca poprawa w zakresie redukcji objawów, porównywalna z tą spotykaną w tradycyjnej terapii. Efekt utrzymany po 3 m-cach od zakończenia terapii.

Adnotacja. Zastosowane narzędzia: BDI – Beck Depression Inventory, DASS-21 – Depression Anxiety Stress Scales – 21-item, GAD severity – Clinician-rated Global Measure, GAD-7 – Generalized Anxiety Disorder – 7-Item Scale, GADSS – Generalized Anxiety Disorder Severity Scale, GDS – Geriatric Depression Scale, HAM-A – Hamilton Rating Scale for Anxiety, ISI – Insomnia Severity Index, K-10 – Kessler – 10-Item, LSI-Z – Life Satisfaction Index-Z, MCS – Medical Composite Score, QOL – Quality of Life Inventory, PHQ-9 – Patient Health Questionnaire, PSWQ – Penn State Worry Questionnaire, PSWQ-A – Penn State Worry Questionnaire-Abbreviated, SDS – Sheehan Disability Scales, SIGH-A – Structured Interview Guide for the Hamilton Anxiety Scale, STAI – State-Trait Anxiety Inventory, WHO-QOL – World Health Organization Quality of Life-BREF, WHO-QOL-D1 – World Health Organization Quality of Physical Health, WHO-QOL-D2 – World Health Organization Quality of Psychological Health, WHO-QOL-D3 – World Health Organization Quality of Social Relationships, WHO-QOL-D4 – World Health Organization Quality of Environmental, WS – Worry Scale.

Przegląd literatury wskazuje na efektywność terapii poznawczo-behawioralnej (CBT) w leczeniu GAD również u osób w podeszłym wieku. Zarówno w terapii indywidualnej, jak i grupowej uzyskano znaczące obniżenie objawów lęku, depresji i poprawę jakości życia. Formułując wnioski, należy jednak zachować ostrożność wynikającą przede wszystkim z niewielkiej liczby badań dotyczących tej grupy wiekowej, niewielkich grup badawczych oraz braku długotrwałych obserwacji po zakończeniu terapii. Z przeglądu wynika również, że psychoterapia poznawczo-behawioralna w leczeniu GAD u osób starszych jest bardziej skuteczna w porównaniu z oczekiwaniem na terapię (Jones i in., 2016; Mohlman i in., 2003; Wetherell, Gatz, Craske, 2003), jak również z formą opieki polegającą na krótkim wspierającym telefonie od terapeuty jeden raz w tygodniu (Stanley i in., 2003) oraz podstawową opieką zdrowotną (Stanley i in., 2014). Podobnie jak w przypadku grupy dorosłych, efektywność CBT nie jest już tak oczywista w porównaniu z innymi formami pomocy. W badaniu porównującym skuteczność CBT i formy pomocy polegającej na wspierającej rozmowie telefonicznej z terapeutą raz w tygodniu przez ok. 15 minut, stwierdzono znaczące różnice na korzyść CBT w okresie 3 miesięcy po zakończeniu terapii. Jednak badania przeprowadzone po 15 miesiącach od jej zakończenia nie wykazały już istotnych różnic (Stanley i in., 2009). Z kolei badania porównujące efektywność CBT i niedyrektywnej terapii wspierającej oraz badania porównujące CBT z uczestnictwem w grupie dyskusyjnej dla osób z GAD nie wykazały istotnych różnic (Stanley i in., 1996; Wetherell i in., 2003).

Warto zaznaczyć, że w większości badań, które nie wykazały istotnych różnic między skutecznością aktywnych form pomocy i CBT, terapia poznawczo-behawioralna oparta była na protokołach i technikach poznawczo-behawioralnych przeznaczonych dla populacji osób dorosłych bez dodatkowego uwzględnienia etapu rozwojowego, w tym zwłaszcza możliwości w zakresie funkcji poznawczych. Terapia najczęściej obejmowała: psychoedukację na temat lęku i zamartwiania się, trening relaksacyjny, restrukturyzację poznawczą, ekspozycję wyobrażeniową i *in vivo*, techniki rozwiązywania problemów oraz edukację na temat higieny snu. W tych badaniach, w których standardowa terapia CBT została wzbogacona technikami wspierającymi funkcje poznawcze (takimi jak: wolniejsze tempo terapii, materiały podsumowujące kwestie poruszane na sesjach, dodatkowy telefon od terapeuty przypominający o zadaniu domowym), efektywność terapii była lepsza (Mohlman i in., 2003). Innowacyjną formą pomocy dla osób w starszym wieku cierpiących na GAD wydaje się być psychoterapia poznawczo-behawioralna prowadzona za pośrednictwem

Internetu (iCBT). Przegląd dostępnych w tym zakresie badań wskazuje na dużą skuteczność tego typu form pomocy, porównywalną z efektywnością tradycyjnej psychoterapii poznawczo-behawioralnej *face-to-face*. W przedstawionych powyżej badaniach terapia polegała na samodzielnym zapoznaniu się i przećwiczeniu cotygodniowych modułów obejmujących psychoedukację na temat objawów, higienę snu, restrukturyzację poznawczą, odwracanie uwagi, techniki rozwiązywania problemów. Uczestnicy mieli przypisanego terapeutę, z którym kontaktowali się telefonicznie lub mailowo przynajmniej raz w tygodniu. Uczestnikom zaproponowano też dostęp do forum moderowanego przez psychoterapeutę. Wyniki tych badań sugerują nie tylko efektywność, ale również wysoki stopień zadowolenia uczestników z tego typu formy pomocy (Jones i in., 2016; Zou i in., 2012).

Wnioski

Przeprowadzony przegląd literatury wskazuje, że – bez względu na model poznawczy i przyjęty przez badaczy protokół oddziaływań terapeutycznych oraz formę prowadzenia pracy z pacjentem – terapia oparta na technikach poznawczo-behawioralnych przynosi pozytywne rezultaty w leczeniu GAD u dorosłych, w tym także osób w podeszłym wieku.

Warto jednak podkreślić, że choć badania potwierdzają skuteczność CBT w leczeniu GAD u osób starszych, to efektywność terapii w tej grupie wiekowej jest niższa niż w porównywalnych badaniach w populacji młodszych osób dorosłych. Ze względu na stosunkowo niewielką liczbę badań trudno wnioskować na temat przyczyn tej różnicy. Ponadto w wielu badaniach opisywanych jako badania dorosłych zastosowany przedział wieku uwzględniał także osoby starsze, co może zniekształcać obraz obserwowanych rozbieżności. Widać więc potrzebę dalszych badań w tym zakresie. Wydaje się też uzasadnione, by CBT została zaadaptowana do etapu rozwojowego i uzupełniona o różnice w przebiegu GAD u osób starszych. Argumentem na rzecz tak przedstawionego postulatu są wstępnie potwierdzone doniesienia o znaczeniu rozszerzenia CBT o techniki wspierające funkcje poznawcze. Należałoby pogłębić badania w tym zakresie.

Ze względu na niewystarczającą liczbę danych, trudno ocenić skuteczność tej formy pracy w porównaniu z innymi formami leczenia. Warto jednak zauważyć, że część danych wskazuje na większą trwałość rezultatów uzyski-

wanych przy zastosowaniu CBT (por. Arntz, 2003; Butler i in., 1991; Dugas i in., 2010; Wells i in., 2010).

Literatura cytowana

- Arntz, A. (2003). Cognitive therapy versus applied relaxation as treatment of generalized anxiety disorder. *Behaviour Research and Therapy*, 41(6), 633–646. [https://doi.org/10.1016/s0005-7967\(02\)00045-1](https://doi.org/10.1016/s0005-7967(02)00045-1)
- Behar, E., DiMarco, I. D., Hekler, E. B., Mohlman, J., Staples, A. M. (2009). Current theoretical models of generalized anxiety disorder (GAD): Conceptual review and treatment implications. *Journal of Anxiety Disorders*, 23(8), 1011–1023. <https://doi.org/10.1016/j.janxdis.2009.07.006>
- Borkovec, T. D. (1994). The nature, functions, and origins of worry. W: G. Davey, F. Tallis (red.), *Worrying: Perspectives on theory, assessment and treatment* (s. 5–33). Sussex: Wiley & Sons.
- Borkovec, T. D., Alcaine, O. M., Behar, E. (2004). Avoidance theory of worry and generalized anxiety disorder. W: R. Heimberg, C. Turk, D. Mennin (red.), *Generalized anxiety disorder: Advances in research and practice* (s. 77–108). Nowy Jork: Guilford Press.
- Borkovec, T. D., Costello, E. (1993). Efficacy of applied relaxation and cognitive-behavioral therapy in the treatment of generalized anxiety disorder. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 61(4), 611–619. <https://doi.org/10.1037//0022-006x.61.4.611>
- Borkovec, T. D., Inz, J. (1990). The nature of worry in generalized anxiety disorder: A predominance of thought activity. *Behaviour Research and Therapy*, 28(2), 153–158. [https://doi.org/10.1016/0005-7967\(90\)90027-g](https://doi.org/10.1016/0005-7967(90)90027-g)
- Borkovec, T. D., Newman, M. G., Pincus, A. L., Lytle, R. (2002). A component analysis of cognitive and behavioral therapy for generalized anxiety disorder and the role of interpersonal problems. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 70(2), 288–298. <https://doi.org/10.1037//0022-006X.70.2.288>
- Butler, G., Fennell, M., Robson, P., Gelder, M. (1991). Comparison of behavior therapy and cognitive behavior therapy in the treatment of generalized anxiety disorder. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 59(1), 167–175. <https://doi.org/10.1037//0022-006x.59.1.167>
- Craske, M. G., Barlow, D. H., O’Leary, T. (1992). *Mastery of your anxiety and worry*. Albany: Greywind.
- Crits-Christoph, P., Newman, M. G., Rickels, K., Gallop, R., Gibbons, M. B. C., Hamilton, J. L., ..., Pastva, A. M. (2011). Combined medication and cognitive therapy

- for generalized anxiety disorder. *Journal of Anxiety Disorders*, 25(8), 1087–1094. <https://doi.org/10.1016/j.janxdis.2011.07.007>
- Cuijpers, P., Gentili, C., Banos, R. M., Garcia-Campayo, J., Botella, C., Cristea, I. A. (2016). Relative effects of cognitive and behavioral therapies on generalized anxiety disorder, social anxiety disorder and panic disorder: A meta-analysis. *Journal of Anxiety Disorder*, 43, 79–89. <https://doi.org/10.1016/j.janxdis.2016.09.003>
- Davey, G. C. L., Wells, A. (2006). *Worry and its psychological disorders: Theory, assessment and treatment*. Chichester: Wiley.
- Dugas, M. J., Brillon, P., Savard, P., Turcotte, J., Gaudet, A., Ladouceur, R., ..., Gervais, N. J. (2010). A randomized clinical trial of cognitive and behavioral therapy and applied relaxation for adults with generalized anxiety disorder. *Behavior Therapy*, 41(1), 46–58. <https://doi.org/10.1016/j.beth.2008.12.004>
- Dugas, M. J., Gagnon, F., Ladouceur, R., Freeston M. H. (1998). Generalized anxiety disorder: A preliminary test of a conceptual model. *Behaviour Research and Therapy*, 36(2), 215–226. [https://doi.org/10.1016/S0005-7967\(97\)00070-3](https://doi.org/10.1016/S0005-7967(97)00070-3)
- Dugas, M. J., Robichaud, M. (2007). *Cognitive-behavioral treatment for generalized anxiety disorder: From science to practice*. Nowy Jork: Routledge.
- Germer, C. K., Siegel, R. D., Fulton, P. R. (2013). *Uważność i psychoterapia*. Kraków: Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego.
- Gould, R. A., Otto, M. W., Pollack, M. H., Yap, L. (1997). Cognitive behavioral and pharmacological treatment of generalized anxiety disorder: A preliminary meta-analysis. *Behavior Therapy*, 28(2), 285–305. [https://doi.org/10.1016/S0005-7894\(97\)80048-2](https://doi.org/10.1016/S0005-7894(97)80048-2)
- Hanrahan, F., Field, A. P., Jones, F. W., Davey, G. C. L. (2013). A meta-analysis of cognitive therapy for worry in generalized anxiety disorder. *Clinical Psychology Review*, 33(1), 120–132. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2012.10.008>
- Johnston, L., Titov, N., Andrews, G., Spence, J., Dear, B. F. (2011). A RCT of a trans-diagnostic Internet-delivered treatment for three anxiety disorders: Examination of support roles and disorder-specific outcomes. *PLoS ONE*, 6(11), e28079. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0028079>
- Jones, S. L., Hadjistavropoulos, H. D., Soucy, J. N. (2016). A randomized controlled trial of guided internet-delivered cognitive behaviour therapy for older adults with generalized anxiety. *Journal Anxiety Disorders*, 37, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.janxdis.2015.10.006>
- Koszycki, D., Raab, K., Aldosary, F., J. Bradwejn, J. (2010). A multifaitth spiritually based intervention for generalized anxiety disorder: A pilot randomized trial. *Journal of Clinical Psychology*, 66(4), 430–441. <https://doi.org/10.1002/jclp.20663>
- Ladouceur, R., Dugas, M. J., Freeston, M. H., Leger, E., Gagnon, F. N. Thibodeau, N. (2000). Efficacy of a cognitive and behavioral treatment for generalized anxi-

- ety disorder: Evaluation in a controlled clinical trial. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 68(6), 957–964. <https://doi.org/10.1037/0022-006x.68.6.957>
- Leichsenring, F., Salzer, S., Jaeger, U., Kachele, H., Kreische, R., Leweke, F., ..., Leibing, E. (2009). Short-term psychodynamic psychotherapy and cognitive nad behavioral therapy in generalized anxiety disorder: A randomized, controlled trial. *American Journal of Psychiatry*, 166(8), 875–881. <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.2009.09030441>
- Linden, M., Zubaegel, D., Baer, T., Franke, U., Schlattmann, P. (2005). Efficacy of cognitive behaviour therapy in generalized anxiety disorders. Results of a controlled clinical trial (Berlin CBT-GAD Study). *Psychotherapy and Psychosomatics*, 74(1), 36–42. <https://doi.org/10.1159/000082025>
- Mennin, D. S., Heimberg, R. G., Turk, C. L., Fresco, D. M. (2005). Preliminary evidence for an emotion dysregulation model of generalized anxiety disorder. *Behaviour Research and Therapy*, 43(10), 1281–1310. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2004.08.008>
- Mennin, D. S., Turk, C. L., Heimberg, R. G., Carmin, C. (2004). Focusing on the regulation of emotion: A new direction for conceptualizing generalized anxiety disorder. W: M. A. Reinecke, D. A. Clark (red.), *Cognitive therapy over the lifespan: Evidence and practice* (s. 60–89). Nowy Jork: Cambridge University Press.
- Mohlman, J., Gorenstein, E. E., Kleber, M., DeJesus, M., Gorman, J. M., Papp, L. A. (2003). Standard and enhanced cognitive-behavioral therapy for late-life generalized anxiety disorder. *The American Journal of Geriatric Psychiatry*, 11(1), 24–32. <https://doi.org/10.1176/appi.ajgp.11.1.24>
- Öst, L. G., Breitholtz, E. (2000). Applied relaxation vs. cognitive therapy in the treatment of generalized anxiety disorder. *Behaviour Research and Therapy*, 38(8), 777–790. [https://doi.org/10.1016/s0005-7967\(99\)00095-9](https://doi.org/10.1016/s0005-7967(99)00095-9)
- Popiel, A., Pragłowska, E. (2008). *Psychoterapia poznawczo-behawioralna*. Warszawa: Paradygmat.
- Power, K. G., Simpson, R. J., Swanson, V., Wallace, L. A., Feistner, T. C., Sharp, D. A. (1990). Controlled comparison of cognitive and behaviour therapy, diazepam, and placebo, alone and in combination, for the treatment of generalised anxiety disorder. *Journal of Anxiety Disorders*, 4(336), 267–292.
- Robinson, E., Titov, N., Andrews, G., McIntyre, K., Schwencke, G., Solley, K. (2010). Internet treatment for generalized anxiety disorder: A randomized controlled trial comparing clinician vs. technician assistance. *PLoS ONE*, 5(6), e10942. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0010942>
- Roemer, L., Fuchs, C., Orsillo, S. M. (2014). Incorporating mindfulness and acceptance-based strategies in the behavioral treatment of generalized anxiety disorder. W: R. Baer (red.), *Mindfulness-based treatment approaches: Clinician's guide to evidence base and applications* (s. 96–120). Nowy Jork: Academic Press.

- Roemer, L., Orsillo, S. M. (2007). An open trial of an acceptance-based behavior therapy for generalized anxiety disorder. *Behavior Therapy*, 38(1), 72–85. <https://doi.org/10.1016/j.beth.2006.04.004>
- Roemer, L., Orsillo, S. M., Salters-Pedneault, K. (2008). Efficacy of an acceptance-based behavior therapy for generalized anxiety disorder: Evaluation in a randomized controlled trial. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 76(6), 1083–1089. <https://doi.org/10.1037/a0012720>.
- Roemer, L., Salters, K., Raffa, S., Orsillo, S. M. (2005). Fear and avoidance of internal experiences in GAD: Preliminary tests of a conceptual model. *Cognitive Therapy and Research*, 29, 71–88. <https://doi.org/10.1007/s10608-005-1650-2>
- Sójta, K. (2017). Rola metaprzekonań w podtrzymywaniu objawów lękowych na przykładzie pacjenta z diagnozą uogólnionego zaburzenia lękowego. *Psychoterapia*, 1(180), 23–32.
- Stanley, M. A., Beck, J. G., Glassco, J. D. (1996). Treatment of generalized anxiety in older adults: A preliminary comparison of cognitive-behavioral and supportive approaches. *Behavior Therapy*, 27(4), 565–581. [https://doi.org/10.1016/S0005-7894\(96\)80044-X](https://doi.org/10.1016/S0005-7894(96)80044-X)
- Stanley, M. A., Beck, J. G., Novy, D. M., Averill, P. M., Swann, A. C., Diefenbach, G. J., Hopko, D. R. (2003). Cognitive behavioral treatment of late-life generalized anxiety disorder. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 71(2), 309–319. <https://doi.org/10.1037/0022-006x.71.2.309>
- Stanley, M. A., Wilson, N. L., Amspoker, A. B., Kraus-Schuman, C., Wagener, P. D., Calleo, J. S., ..., Kunik, M. E. (2014). Lay providers can deliver effective cognitive behavior therapy for older adults with generalized anxiety disorder: A randomized trial. *Depression and Anxiety*, 31(5), 391–401. <https://doi.org/10.1002/da.22239>
- Stanley, M. A., Wilson, N. L., Novy, D. M., Rhoades, H. M., Wagener, P. D., Greisinger, A. J., ..., Kunik, M. E. (2009). Cognitive behavior therapy for generalized anxiety disorder among older adults in primary care: A randomized clinical trial. *JAMA*, 301(14), 1460–1467. <https://doi.org/10.1001/jama.2009.458>
- Titov, N., Andrews, G., Johnston, L., Robinson, E., Spence, J. (2010). Transdiagnostic Internet treatment for anxiety disorders: A randomized controlled trial. *Behaviour Research Therapy*, 48(9), 890–899. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2010.05.014>
- Titov, N. G., Andrews, G., Robinson, E., Schwencke, G., Johnston, L., Sollew, K., Choi, I. (2009). Clinician-assisted Internet-based treatment is effective for generalized anxiety disorder: Randomized controlled trial. *Australian and New Zealand Journal of Psychiatry*, 43(10), 905–912. <https://doi.org/10.1080/00048670903179269>
- Treanor, M., Erisman, S. M., Salters-Pedneault, K., Roemer, L., Orsillo, S. M. (2011). Acceptance-based behavioral therapy for GAD: Effects on outcomes from three theoretical models. *Depression and Anxiety*, 28(2), 127–136. <https://doi.org/10.1002/da.20766>

- van der Heiden, C., Muris, P., van der Molen, H. T. (2012). Randomized controlled trial on the effectiveness of metacognitive therapy and intolerance-of-uncertainty therapy for generalized anxiety disorder. *Behaviour Research and Therapy*, 50(2), 100–109. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2011.12.005>
- Weisberg, R. B. (2009). Overview of generalized anxiety disorder: Epidemiology, presentation, and course. *The Journal of Clinical Psychiatry*, 70(Suppl 2), 4–9. <https://doi.org/10.4088/JCP.S.7002.01>
- Wells, A. (1994). A multidimensional measure of worry: Development and preliminary validation of the anxious thoughts inventory. *Anxiety Stress and Coping*, 6, 289–299. <https://doi.org/10.1080/10615809408248803>
- Wells, A. (1995). Meta-cognition and worry: A cognitive model of generalised anxiety disorder. *Behavioural and Cognitive Psychotherapy*, 23 (3), 301–320. <https://doi.org/10.1017/S1352465800015897>
- Wells, A. (2004). A cognitive model of GAD: Metacognitions and pathological worry. W: R. G. Heimberg, C. L. Turk, D. S. Mennin (red.), *Generalized anxiety disorder: Advances in research and practice* (s. 164–186). Nowy Jork: The Guildford Press.
- Wells, A. (2010). *Terapia poznawcza zaburzeń lękowych. Praktyczny podręcznik i przewodnik po teorii*. Kraków: Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego.
- Wells, A., Morrison, A. P. (1994). Qualitative dimensions of normal worry and normal obsessions – A comparative-study. *Behaviour Research and Therapy*, 32(8), 867–870. [https://doi.org/10.1016/0005-7967\(94\)90167-8](https://doi.org/10.1016/0005-7967(94)90167-8)
- Wells, A., Welford, M., King, P., Papageorgiou, C., Wisely, J., Mendel, E. (2010). A pilot randomized trial of metacognitive therapy vs applied relaxation in the treatment of adults with generalized anxiety disorder. *Behaviour Research and Therapy*, 48(5), 429–434. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2009.11.013>
- Wetherell, J. L., Gatz, M., Craske, M. G. (2003). Treatment of generalized anxiety disorder in older adults. *Journal of Consulting Clinical Psychology*, 71(1), 31–40. <https://doi.org/10.1037//0022-006x.71.1.31>
- White, J., Keenan, M., Brooks, N. (1992). Stress control: A controlled comparative investigation of large group therapy for generalized anxiety disorder. *Behavioural Psychotherapy*, 20, 97–114. <https://doi.org/10.1017/S014134730001689X>
- Zhu, Z., Zhang, L., Jiang, J., Li, W., Cao, X., Zhou, Z., ..., Li, C. (2014). Comparison of psychological placebo and waiting list control conditions in the assessment of cognitive behavioral therapy for the treatment of generalized anxiety disorder: A meta-analysis. *Shanghai Archives of Psychiatry*, 26(6), 319–331. <https://doi.org/10.11919/j.issn.1002-0829.214173>
- Zinbarg, R. E., Lee, J. E., Yoon, K. L. (2007). Dyadic predictors of outcome in a cognitive and behavioral program for patients with generalized anxiety disorder

in committed relationships: A „spoonful of sugar” and a dose of non-hostile criticism may help. *Behaviour Research and Therapy*, 45 (4), 699–713. <https://doi.org/10.1016/j.brat.2006.06.005>

Zou, J. B., Dear, B. F., Titov, N., Lorian, C. N., Johnston, L., Spence, J., Knight, R. G., Anderson, T., Sachdev, P. (2012). Brief internet-delivered cognitive behavioral therapy for anxiety in older adults: A feasibility trial. *Journal of Anxiety Disorder*, 26(6), 650–655.

JOANNA ULATOWSKA¹, JUSTYNA OLSZEWSKA²

¹ Instytut Psychologii, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

² University of Wisconsin-Oshkosh; SWPS Uniwersytet Humanistycznospołeczny

Asocjacyjne zniekształcenia pamięci. Metody ich badania i redukcji

Sposób cytowania: Ulatowska, J., Olszewska, J. (2020). Asocjacyjne zniekształcenia pamięci. Metody ich badania i redukcji. W: M. Trojan, M. Gut (red.), *Nowe technologie i metody w psychologii* (s. 375–393). Warszawa: Liberi Libri. <https://doi.org/10.47943/lib.9788363487430.rozdzial17>

Wspomnienia często nie są wiernym odzwierciedleniem naszych przeżyć, ale sumą doświadczeń, wiedzy zapisanej w strukturach poznawczych oraz własnych przekonaniach (Bartlett, 1932). Niekiedy może to prowadzić do zniekształceń pamięci, czyli pamiętania zdarzeń inaczej, niż przebiegały one w rzeczywistości lub pamiętania zdarzeń, które w ogóle nie miały miejsca (Roediger, McDermott, 2000). Zainteresowanie naukowców nie tylko prawidłowym funkcjonowaniem pamięci, ale również tego typu błędami pamięciowymi jest spowodowane zarówno chęcią pogłębienia wiedzy teoretycznej na temat poznawczego funkcjonowania człowieka, jak i praktycznymi potrzebami oceny „wiarygodności” pamięci, zwłaszcza w kontekście sądowym czy terapeutycznym. W ostatnim czasie uwaga badaczy skupia się również na możliwości redukcji zniekształceń pamięci. W tym rozdziale uwagę poświęcimy jednemu z typów tzw. naturalnych zniekształceń pamięci, to jest zniekształceniom wynikającym z sieciowej, asocjacyjnej budowy pamięci (Mazzoni, 2002; Niedźwieńska, 2004). Omówione tu zostały mechanizmy powstawania tego typu iluzji pamięciowych oraz metody mogące redukować ich poziom – zarówno te dobrze ugruntowane, jak i najnowsze.

Asocjacyjne zniekształcenia pamięci

Zniekształcenia wynikające z asocjacyjnej budowy semantycznej pamięci trwałej (np. Collins, Loftus, 1975) są relatywnie łatwe do wywołania i kontrolowania w warunkach laboratoryjnych. Jedną z procedur stosowanych w tym celu jest modyfikacja paradygmatu zapoczątkowanego przez Bousfielda (1953) i polega na prezentowaniu badanym list słów (np. kot, świnia, koń) należących do tej samej kategorii semantycznej (np. zwierzęta), ale z wyłączeniem słowa, które jest prototypem danej kategorii (np. pies). Aktywacja danej kategorii w sieci skojarzeniowej doprowadza do zniekształcenia pamięci polegającego na fałszywym przypominaniu lub rozpoznawaniu nieprezentowanego prototypu jako słowa, które obecne było w fazie kodowania (Olszewska, Ulatowska, 2013, 2019; Park, Shobe, Kihlstrom, 2005). Co więcej, prawdopodobieństwo fałszywego odtworzenia wzrasta wraz z liczbą zapamiętywanych egzemplarzy danej kategorii (Dewhurst, Anderson, 1999).

Jednak w ostatnich latach jedną z najczęściej stosowanych procedur służących do badania asocjacyjnych błędów pamięci jest paradygmat Deese’a-Roedigera-McDermotta (DRM; Deese, 1959; Roediger, McDermott, 1995). Procedura ta polega

na prezentacji list składających się z kilkunastu słów (np. odpoczynek, łóżko, noc, marzenie itd.) semantycznie skojarzonych z tzw. słowem krytycznym (np. sen), którego na liście brakuje. Ta silna asocjacja między słowami sprawia jednak, że badani fałszywie przypominają sobie lub rozpoznają, że widzieli słowo krytyczne w fazie kodowania (Roediger, McDermott, 1995). Co więcej, również jakość fałszywych wspomnień, mierzona procedurą „pamiętam/wiem” (*remember/know*; Tulving, 1985) nie różni się od jakości pamięci faktycznie kodowanych elementów.

Od momentu opublikowania tekstu Roedigera i McDermotta (1995) paradygmat DRM cieszy się wśród badaczy pamięci niezwykłą popularnością, skutkującą tysiącami badań (Gallo, 2010). Zainteresowanie to wynika głównie z prostoty stosowania tej procedury, dzięki czemu badać można różne grupy (np. osoby w różnym wieku czy osoby cierpiące na różnego typu zaburzenia) i w różnych warunkach (np. badania z zastosowaniem metod neuroobrazowania, badania manipulujące emocjonalnością list czy sposobem ich prezentacji). Co więcej, zastosowanie paradygmatu DRM prowadzi do powtarzalnego i silnego efektu asocjacyjnych zniekształceń pamięci, uwarunkowanego siłą skojarzenia poszczególnych słów z listy ze słowem krytycznym. Siła skojarzenia pomiędzy słowami jest jednak silnie zdeterminowana kulturowo, co oznacza, że proste przetłumaczenie gotowych list DRM przygotowanych z udziałem populacji amerykańskiej może okazać się nieprzydatne w badaniach prowadzonych w innej kulturze (zob. opis procedury polskiej adaptacji paradygmatu DRM w: Ulatowska, Olszewska, 2013).

Jak powstają asocjacyjne zniekształcenia pamięci?

Mechanizm powstawania asocjacyjnych zniekształceń próbowano wyjaśnić w kilku podejściach teoretycznych. Jednym z nich jest teoria rozmytego śladu pamięciowego (*fuzzy trace theory*; Reyna, Brainerd, 1995). W świetle tej teorii ludzie posiadają dwa magazyny wspomnień: powierzchniowy, dotyczący formy informacji (*verbatim*), oraz głęboki, dotyczący ogólnej treści (*gist*). Obydwa ślady działają równolegle, wspomagając się nawzajem. Powstawanie fałszywych wspomnień ma miejsce wówczas, gdy bardziej polegamy na śladzie głębokim. Dzieje się tak np. wraz z upływem czasu, kiedy naturalnie tracimy dostęp do struktury zapamiętywanego materiału i musimy korzystać z ogólnej wiedzy, by wypełnić brakującą informację treścią.

Drugą, równie ważną teorią wyjaśniającą powstawanie błędów semantycznych, jest model aktywacji-monitoringu (Roediger, Watson, McDermott,

Gallo, 2001). Według niej słowo krytyczne staje się częścią pamięci wtedy, kiedy w sieci semantycznej zaktywowane zostają słowa powiązane znaczeniowo oraz kiedy słowo krytyczne jest ściśle związane z kontekstem kodowania. Taka sytuacja znacznie utrudnia monitorowanie źródła informacji (Johnson, Hashtroudi, Lindsay, 1993), czyli weryfikację tego, czy słowo rzeczywiście było wcześniej zapamiętywane, czy też tylko zaktywizowane w sieci semantycznej poprzez kodowanie powiązanych z nim słów. Kiedy słowo krytyczne jest silnie powiązane z kontekstem kodowania, trudno jest je odróżnić od zapamiętywanych elementów, co skutkuje tym, że jest ono fałszywie przypominane lub rozpoznawane jako obecne na kodowanej wcześniej liście.

Choć teoria rozmytych śladów pamięciowych i teoria aktywacji-monitoringu w odmienny sposób wyjaśniają powstawanie fałszywych wspomnień, to nie pozostają one w sprzeczności, ale raczej uzupełniają się nawzajem.

Czynniki modyfikujące poziom asocjacyjnych zniekształceń pamięci

Podobnie jak złudzenia percepcyjne, asocjacyjne zniekształcenia pamięci pojawiają się automatycznie i bardzo trudno ich uniknąć (McDermott, Roediger, 1998). Obecnie uwaga naukowców koncentruje się na identyfikacji mechanizmów, które przyczyniają się do powstawania i redukcji takich błędów pamięciowych. Badaniom poddawane są zarówno czynniki proceduralne, mogące wystąpić na różnych etapach procesu pamięciowego, jak i różnice indywidualne związane z podatnością na tego typu zniekształcenia.

Czynniki proceduralne. W większości badań nad znaczeniem czynników proceduralnych testowano wpływ kodowania dystynktywnego lub dopasowania modalności kodowania i odtwarzania (Huff, Bodner, Fawcett, 2015). Wykazano, że niewielkie manipulacje wprowadzone w fazie kodowania list, takie jak wolniejsza ich prezentacja (McDermott, Watson, 2001), ocena „przyjazności” słów (*pleasantness*; Hunt, Smith, Dunlap, 2011), zmiana modalności prezentacji zapamiętywanych elementów ze słuchowej na wzrokową (Smith, Hunt, Gallagher, 2008) czy prezentowanie słowa wraz z jego obrazowymi odpowiednikami (Israel, Schacter, 1997) skutkują mniejszymi zniekształceniami pamięci.

Rola obrazu w redukowaniu zniekształceń widoczna jest także w przypadku tworzenia obrazów mentalnych – wyobrażeń (Foley, Hughes, Librot, Paysnick, 2009; Gunter, Bodner, Azad, 2007). Efekt ten jest jednak silniejszy, kiedy bada-

nych wprost prosi się o tworzenie wyobrażeń prezentowanych słów, a nie wtedy, gdy wyobrażenia mają powstawać automatycznie – np. podczas opisywania funkcji przedmiotu reprezentowanego przez słowo (Foley, Wozniak, Gillum, 2006). Dobroczynny wpływ wyobrażeniowej strategii kodowania w redukcji zniekształceń asocjacyjnych potwierdzono także w badaniach Olszewskiej i Ulatowskiej (2013), w których porównano ją z techniką prowadzącą do tłumienia wytwarzania wyobrażeń. Opierając się na badaniach nad pamięcią roboczą, przewidywano, że powtarzane szeptanie słowa podczas jego prezentacji sprawi, że centralny system wykonawczy przyzna priorytet zadaniu werbalnemu, zaś możliwość tworzenia wyobrażeń zostanie ograniczona (Baddeley, Hitch, 1974). Wyniki wykazały, że tworzenie mentalnych obrazów rzeczywiście obniżyło poziom fałszywych przypomnień i rozpoznań słów krytycznych w porównaniu do grupy, która wypowiadała słowa szeptem oraz do grupy kontrolnej niestosującej żadnej narzuconej techniki. Co ciekawe, badani powtarzający słowa szeptem rozpoznawali kodowane wcześniej słowa mniej poprawnie niż grupa kontrolna, co może świadczyć o tym, że badani z tej ostatniej grupy zastosowali własne strategie pamięciowe.

Dotychczas rzadko jednak badano, w jaki sposób na poziom zniekształceń pamięci wpływa tworzenie wyobrażeń o różnej modalności i dla elementów prezentowanych w różnym formacie. Dlatego w kolejnych badaniach autorki testowały to, w jaki sposób strategia kodowania wpływa na poprawność raportów pamięci, gdy listy elementów należących do tych samych kategorii prezentowane są jako zapisane słowa lub jako wypowiedziane słowa lub jako zdjęcia tych elementów (Olszewska, Ulatowska, 2019). Wyższy poziom fałszywego rozpoznawania i niższy poprawnego rozpoznawania zaobserwowano dla słów zapisanych lub wypowiedzianych, w porównaniu do rozpoznawania ich zdjęciowych odpowiedników. Ponadto zniekształcenia pamięci były słabsze u badanych, których poproszono o tworzenie wyobrażenia podczas zapamiętywania, zwłaszcza gdy było to wyobrażenie o innej modalności (np. wyobrażenie wizualne dla słowa prezentowanego słuchowo). Sugeruje to więc, że strategię kodowania wykorzystującą podwójne kodowanie (Paivio, 1986) mogą przyczynić się do redukcji poziomemu zniekształceń asocjacyjnych.

Wyniki przedstawione powyżej pokazują więc, że kiedy podczas zapamiętywania informacji obecne są szczegóły, które wyraźnie wyróżniają się spośród innych, to monitorowanie różnic między elementami generowanymi wewnątrz (fałszywe wspomnienie), a tymi, które pochodzą ze źródeł zewnętrznych (prezentowana lista) jest efektywniejsze (Johnson i in., 1993). Nie

ma jednak pełnej jasności co do tego, czy korzyści płynące z dystynktywnego kodowania ujawniają się na etapie zapamiętywania informacji, czy raczej ich odzyskiwania (Hanczakowski, Mazzoni, 2011). Z jednej strony wyróżniające się szczegóły, obecne podczas kodowania, zaburzają aktywizację skojarzeń między słowami w obrębie listy, prowadząc do redukcji fałszywych rozpoznań czy przypomnień (Arndt, Reder, 2003). Z drugiej strony, redukcję zniekształceń przypisuje się zastosowaniu specyficznej strategii wydobywania informacji (McCabe, Smith, 2006), czyli heurystyki dystynktywności. Jest ona definiowana jako proces metapamięciowy polegający na wykorzystaniu podczas odzyskiwania informacji pewnych szczegółów percepcyjnych, które były obecne na etapie kodowania (Israel, Schacter, 1997). Jeśli zatem na etapie odzyskiwania informacji brakuje tych dodatkowych elementów percepcyjnych, wówczas słowo nie jest rozpoznawane jako występujące na prezentowanej wcześniej liście (Dodson, Schacter, 2002).

Badaniom poddawano także możliwość redukcji asocjacyjnych zniekształceń podczas fazy odtwarzania informacji. Jedną ze strategii możliwych do zastosowania na tym etapie jest bezpośrednie ostrzeżenie o możliwości wystąpienia zniekształceń tego typu. Badania pokazały jednak, że choć w niektórych przypadkach ostrzeżenie podane przed testem pamięci może zredukować poziom fałszywego rozpoznawania i przypominania (Gallo, Roediger, McDermott, 2001; McCabe, Smith, 2002), to efekt ten nie jest widoczny, kiedy ostrzeżenie nastąpiło na początku całej procedury (Gallo i in., 2001; Neuschatz, Payne, Lampinen, Toggia, 2001). Co więcej, nawet skuteczne ostrzeżenia nie eliminowały zniekształceń asocjacyjnych całkowicie, co potwierdza automatyczny charakter ich powstawania (Gallo, 2010). Podobny brak jednoznacznych rezultatów uzyskano także, gdy testowaną techniką redukcji zniekształceń była informacja zwrotna o poprawności pamięci badanych po odtworzeniu przez nich części list. Niektóre z badań wykazały, że może być to skuteczny sposób redukowania fałszywego przypominania i rozpoznawania (Jou, Foreman, 2007), inne nie potwierdziły jednak tego efektu (Kantner, Lindsay, 2010; Pirmoradi, McKelvie, 2014).

Manipulacje podczas odtwarzania mogą być również związane ze sposobem testowania i budową testu pamięci. Niektóre badania ujawniły „efekt testowania”, to znaczy podwyższone prawdopodobieństwo rozpoznania słów zarówno prezentowanych, jak i nieprezentowanych po przejściu przez badanych testu przypominania (Roediger, McDermott, Goff, 1997). Ponadto niewielka liczba badań w paradygmacie DRM, zamiast powszechnie stosowanego testu „tak/nie”, w którym badani mają wskazać, czy rozpoznają dane słowo, czy też

jest ono nowe, wykorzystywała test wymuszonego wyboru (Gallo, Seamon, 2004; Jou, Escamilla, Torres, Ortiz Jr., Salazar, 2018; LaVoie, Faulkner, 2000; Westerberg, Marsolek, 2003). W teście tym badane słowo jest zestawione z jednym (*two-alternative forced-choice test*, 2FC) lub większą liczbą dystraktorów, a badany jest proszony o wskazanie kodowanego wcześniej słowa. W jednym z pierwszych badań bezpośrednio porównujących poziom zniekształceń asocjacyjnych, gdy wykorzystywany był test „tak/nie” i test 2FC, wykazano niższy poziom zniekształceń w przypadku testu 2FC zarówno w przypadku manipulacji międzygrupowej, jak i wewnątrzgrupowej (Ulatowska, Olszewska, Hanson, 2020). Niższy poziom zniekształceń mierzonych testem 2FC zniknął jednak, gdy przy porównaniach wewnątrzgrupowych użyto miar dyskryminacji pochodzących z teorii detekcji sygnału (d' ; Macmillan, Creelman, 2005). Oznaczać to może, że testy te angażują proces monitoringu w inny sposób – test 2FC wymaga od badanych wyraźnego „pamiętania” słów, natomiast w teście „tak/nie” badani rozpoznają słowa w oparciu o ogólne przekonanie o ich wcześniejszym kodowaniu (decyzja „wiem”; Tulving, 1985).

Czynniki indywidualne. Jak wspomniano wyżej, prostota i ekonomiczność procedur pozwalających badać asocjacyjne zniekształcenia pamięci ułatwia ich zastosowanie w badaniach nad różnicami indywidualnymi w podatności na tego typu błędy pamięciowe (Roediger, McDaniel, 2007). Dotychczas wielokrotnie dowiedziono, że istnieją w tym względzie różnice wynikające z wieku – wskaźniki fałszywych przypomnień i rozpoznań słów krytycznych u starszych dorosłych są wyższe niż u osób młodych (Koutstaal, Schacter, 1997; Meade, Geraci, Roediger, 2012). Osoby starsze często są także mniej podatne na redukcję zniekształceń pod wpływem ostrzeżeń (McCabe, Smith, 2002), treningu (Watson, McDermott, Balota, 2004) czy manipulacji modalnością prezentacji (Smith, Lozito, Bayen, 2005). Różnice te tłumaczone są głównie większymi problemami starszych dorosłych z monitorowaniem źródła informacji (Henkel, Johnson, De Leonardis, 1998). Ponadto prowadzone w ostatnich latach badania z użyciem metod neuroobrazowania sugerują, że mediatorem gorszego funkcjonowania pamięci u osób starszych może być stan neuropsychologiczny badanych, a zwłaszcza zmiany w funkcjonowaniu płatów czołowych. Osoby starsze z wysoko funkcjonującymi płatami czołowymi często nie różnią się pod względem poprawności pamięci od osób młodych (np. Butler, McDaniel, McCabe, Dornburg, 2010; Meade i in., 2012; przegląd badań w: Devitt, Schacter, 2016).

Badania nad związkiem wieku z podatnością na asocjacyjne zniekształcenia pamięci pokazują również ciekawą zależność dotyczącą pamięci u dzieci. Odwrotnie niż w innych paradygmatach fałszywej pamięci (np. w badaniach nad efektem dezinformacji), młodsze dzieci (ok. 5–7 r.ż.) uzyskują niższe wskaźniki zniekształceń (ale także poprawnego odtwarzania) niż dzieci starsze oraz dorośli (przegląd badań w: Brainerd, Reyna, 2012). Efekt ten tłumaczony jest między innymi nie w pełni wykształconymi siecią asocjacyjną oraz znajomością znaczenia pojęć (Brainerd, Reyna, 2012).

Procedury testujące zniekształcenia asocjacyjne są wykorzystywane również w badaniach z udziałem osób z zaburzeniami funkcji poznawczych, np. pacjentami chorującymi na demencję, w tym na chorobę Alzheimera. Większość badań pokazała, że chorzy uzyskują niższy poziom zniekształceń niż dopasowana grupa kontrolna (Budson, Todman, Schacter, 2006; Gallo, Bell, Beier, Schacter, 2006), co sugeruje, że u tych pierwszych nie doszło do aktywizacji sieci semantycznej (Akhtar, Howe, Hoepstine, 2018) i w mniejszym stopniu bazują oni na śladzie treści (Gallo i in., 2006). Trzeba jednak zaznaczyć, że w niektórych badaniach uzyskiwano odwrotny układ wyników (Budson i in., 2003; Watson, Balota, Sergeant-Marshall, 2001) lub nie obserwowano różnic między cierpiącymi na chorobę Alzheimera i zdrowymi ochotnikami (Akhtar i in., 2018).

W mniej licznej grupie badań próbowano ustalić związek cech osobowości oraz poziomu innych zdolności poznawczych z podatnością na błędy asocjacyjne. Wykazano na przykład, że wyższe wskaźniki odtwarzania słów krytycznych uzyskiwali ekstrawertycy (Sanford, Fisk, 2009) oraz osoby o wysokim poziomie perfekcjonistycznych obaw, ale nie perfekcjonistycznych dążeń (Ben-Artzi, Raveh, 2016). Silniejsze zniekształcenia pamięci tego rodzaju zanotowano też u badanych z wyższymi wynikami na skali doświadczeń dysocjacyjnych (Winograd, Peluso, Glover, 1998), zwłaszcza gdy zapamiętywane listy były związane z pojęciami dotyczącymi traumy (Monds, Paterson, Kemp, Bryant, 2013). Różnią się od siebie pod tym względem także osoby o odmiennych stylach poznawczych – na przykład badani z wysoką potrzebą poznania uzyskują wyższe wskaźniki fałszywych przypomnień (Leding, 2011) i rozpoznań (Graham, 2007) niż ci z niskim poziomem tej cechy. Wyższy poziom zniekształceń ujawniono również u osób zależnych od pola (Corson, Verrier, Bucic, 2009) oraz u osób o wyższych umiejętnościach wyobrażeniowych (Winograd i in., 1998). Poziom zniekształceń asocjacyjnych jest także ujemnie skorelowany z funkcjonowaniem pamięci roboczej (Peters, Jelicic, Verbeek, Merckelbach, 2007).

W szeregu badań testowano także związek odczuwanych emocji i nastroju z podatnością na zniekształcenia asocjacyjne. Wykazano między innymi, że osoby w nastroju negatywnym popełniały mniej błędów pamięciowych niż osoby w nastroju pozytywnym (Storbeck, Clore, 2005). Wyniki te potwierdzili Wright, Startup i Mathews (2005), ale tylko kiedy badani otrzymali instrukcję, by przypomnieć sobie tyle słów, ile sami chcieli. Gdy instrukcja nakazywała przypomnienie możliwie największej liczby słów, wzorec wyników był odwrotny. Wyższy poziom zniekształceń zanotowali także między innymi Ruci, Tomes i Zelenski (2009), ale tylko wtedy, gdy emocjonalne słowo krytyczne pasowało walencją do nastroju badanego. Poziom zniekształceń badano także u osób w naturalnie obniżonym nastroju, to jest cierpiących na depresję, wykazując, że odznaczają się one niższym poziomem poprawnych przypomnień i wyższym poziomem fałszywych przypomnień niż grupa kontrolna. Było tak jednak tylko w przypadku negatywnych słów krytycznych (Joormann, Teachman, Gotlib, 2009). Podobny efekt zgodności stanu emocjonalnego i liczby fałszywie odtworzonych słów emocjonalnych odnaleziono u osób z depresją także w teście rozpoznawania (Howe, Malone, 2011).

Kombinacją badań nad rolą czynników proceduralnych i indywidualnych w modyfikacji poziomu asocjacyjnych błędów pamięciowych są badania z udziałem osób dwujęzycznych. Ich wyniki sugerują, że osoby te kodują informacje w obu językach (Grosjean, 1989), a co za tym idzie, często odznaczają się lepszą pamięcią słów rzeczywiście kodowanych, ale jednocześnie większą podatnością na błędy semantyczne, szczególnie w przypadku bardziej dominującego języka (Marmolejo, Diliberto-Macaluso, Altarriba, 2009; Sahlin, Harding, Seamon, 2005). Jest to najprawdopodobniej konsekwencja tego, że osoby dwujęzyczne w większym stopniu polegają na reprezentacji formy w bardziej dominującym języku, ale jednocześnie posiadają szerszą sieć semantyczną i bogatsze słownictwo, co sprzyja błędom asocjacyjnym (Marmolejo i in., 2009). Interesującą grupą osób dwujęzycznych są te, które posługują się językiem migowym. Ulatowska, Olszewska, Wiśniewska i Rogowski (2019) jako pierwsi przetestowali błędy asocjacyjne u głuchych ochotników używających Polskiego Języka Migowego (PJM) oraz języka polskiego przynajmniej w formie pisanej. Manipulując formatem prezentacji list DRM, wykazano, że mimo tego, iż osoby głuche uzyskały niski poziom prawidłowego odtwarzania i stosunkowo niski poziom fałszywego odtwarzania słów krytycznych, to podwójne kodowanie, np. kodowanie słów drukowanych wraz z ich odpowiednikiem w PJM, poprawiło poprawność pamięci.

Paradygmat DRM w pamięci roboczej

Badania przedstawione powyżej sugerują, że procedura DRM wykorzystywana jest głównie do testowania długotrwałej pamięci semantycznej (*long term memory*, LTM). Czy zniekształcenia materiału powiązanego znaczeniowo mogą powstawać w pamięci roboczej, zaledwie kilka sekund po zakodowaniu? Badania nad podobieństwem semantycznym materiału werbalnego w pamięci roboczej sięgają lat 70. XX w., wskazując na większe znaczenie w powstawaniu błędów pamięciowych podobieństwa fonologicznego niż semantycznego (Baddeley, 1972). To ostatnie uważane było za przyczynę zniekształceń w pamięci epizodycznej, stąd uwaga badaczy skupiona była na poszukiwaniu mechanizmów tych błędów głównie w pamięci długotrwałej. Jednak współczesne modele pamięci roboczej, które traktują ją jako aktywną część pamięci długotrwałej (Cowan, 1999), zwiększyły w ostatniej dekadzie zainteresowanie zjawiskiem zniekształceń w pamięci roboczej. Coane, McBride, Raulerson i Jordan (2007) oraz Atkins i Reuter-Lorenz (2008), wykorzystując procedurę DRM, wykazali, że błędy asocjacyjne pojawiają się niemal natychmiast po zakodowaniu materiału. W jaki sposób paradygmat DRM został zaimplementowany w badaniach pamięci roboczej? Coane i in. (2007) wykorzystali typowe listy, redukując jednak liczbę ich elementów do 3, 5 lub 7 słów prezentowanych sekwencyjnie przez 750 ms każde. Zadaniem badanych było podjęcie decyzji, czy słowo pojawiające się natychmiast po punkcie fiksacji było uprzednio prezentowane, czy też nie. Mierzono zarówno poprawność rozpoznań, jak i czas reakcji. W warunkach, w których kodowano 5 lub 7 słów, wykazano istotny efekt fałszywej pamięci, to jest wyższy poziom fałszywych alarmów dla słów krytycznych niż słów niezwiązanych. Ponadto czas reakcji potrzebny do zaklasyfikowania słowa krytycznego jako niekodowanego wcześniej był istotnie dłuższy niż czas reakcji na podjęcie takiej decyzji o słowie niezwiązanym.

Nieznacznie zmodyfikowana procedura zastosowana przez Atkins i Reuter-Lorenz (2008) potwierdziła te rezultaty, rozszerzając je również o test przypominania. Badani fałszywie przypomnieli sobie więcej słów krytycznych niż słów niezwiązanych zarówno wtedy, kiedy przypominanie następowało natychmiast po kodowaniu, jak i wtedy, gdy zastosowano zadanie dystrykcyjne. Wyniki obu badań znakomicie wpisują się w model Cowana (1999), który traktuje pamięć roboczą jako aktywną w danym momencie część pamięci długotrwałej i nie kwestionują założeń modelu Nairne'a (2002, 2006), w którym zdarzenia przechowywane w pamięci roboczej składają się z różnych cech, np.

fonologicznych, leksykalnych i semantycznych. Na etapie odzyskiwania cechy te pomagają w procesie rekonstrukcji śladu pamięciowego.

Procedura DRM w modelu hybrydowym

Zastosowanie procedury DRM do badania fałszywej pamięci roboczej zaowocowało powstaniem hybrydowego modelu DRM, w którym wewnątrzobiektoowo porównywano pamięć roboczą oraz pamięć długotrwałą (Olszewska, Reuter-Lorenz, Munier, Bendler, 2015; Olszewska, Hodel, Luttenberger, 2018). Wyniki potwierdziły wcześniejsze odkrycia dotyczące pamięci roboczej, pokazując dodatkowo, że wielkość zniekształceń utrzymywała się na podobnym poziomie w obu typach pamięci¹.

W dalszych badaniach zmodyfikowany model hybrydowy został zastosowany do testowania efektu modalności (Olszewska i in., 2015). Wykazano, że w pamięci roboczej prezentacja słuchowa sprzyjała redukcji błędów asocjacyjnych w porównaniu do prezentacji wzrokowej. Efekt ten był jednak odwrotny w przypadku pamięci długotrwałej. Niższy poziom błędów dla bodźców akustycznych w pamięci roboczej wynikał z tego, że ich ślad pamięciowy był tam ciągle dostępny. Wraz z upływem czasu uległ on degradacji, co w konsekwencji zaowocowało tym, że w pamięci długotrwałej osoby badane polegały już na śladzie treści. Z kolei wizualny ślad pamięciowy, choć początkowo nie posiadał tylu cech dystynktywnych, ulegał znacznie wolniejszej degradacji, skutkując mniejszą liczbą błędów w LTM. Wyniki te są zgodne z modelem Nairne'a (2002, 2006) oraz z nową teorią dystynktywności Hunta (2003, 2013). W kontekście tego podejścia przewaga słuchowej pamięci roboczej spowodowana była wysoką dystynktywnością przetwarzanych elementów (np. słów), które zawierały cechy charakterystyczne dla modalności, w jakiej były kodowane (*item-based distinctiveness*). Z drugiej jednak strony, cechy te szybko ulegały degradacji. W przeciwieństwie do pamięci słuchowej, przewaga bodźców kodowanych wizualnie dotyczyła pamięci długotrwałej i zależała od przetwarzania zbioru słów jako dystynktywnej całości, co pozwalało badanym skutecznie odróżnić słowa kodowane od słów krytycznych (*event-based distinctiveness*).

1 Porównaniom poddawano wskaźnik wrażliwości d' mierzony dla śladu treści (zob. Koutstaal, Schacter, 1997).

Kierunki dalszych badań i zastosowania praktyczne

Badania nad asocjacyjnymi błędami pamięci, zwłaszcza te z zastosowaniem paradygmatu DRM, znacząco wpłynęły na podniesienie świadomości ograniczeń pamięci i tego, jak łatwo może dojść do zniekształcenia wspomnień (Gallo, 2010). Mimo głosów krytyki zarzucających procedurom tego typu niską trafność ekologiczną, znane są również wyniki pokazujące, że podatność na błędy asocjacyjne wiąże się z podatnością na błędy pamięci autobiograficznej czy zniekształcenia pamięci w sytuacjach społecznych (Brainerd, Reyna, 2012). Dlatego konieczny jest dalszy rozwój badań z tego zakresu, także w Polsce, gdzie paradygmat DRM nie jest szczególnie popularny. Kolejne badania, dla LTM i pamięci roboczej, powinny dotyczyć zarówno niuansów teoretycznych związanych np. z procesami aktywacji i monitoringu wpływającymi na te zniekształcenia (Gallo, 2010), jak i procesów neuronalnych wyjaśniających ich podłoże (Zhu i in., 2019) oraz różnic indywidualnych w tym zakresie, np. w kontekście rytmów dobowych (Olszewska i in., 2018). Warto także uzupełniać wiedzę na temat możliwości zastosowań paradygmatu DRM w praktyce. Dotychczasowe badania w tej dziedzinie dotyczą m.in. przewidywania zniekształceń pamięci innego typu, np. pamięci autobiograficznej w oparciu o zniekształcenia powstające przy użyciu procedury DRM (Clancy, McNally, Schacter, Lenzenweger, Pitman, 2002; Geraerts, Smeets, Jelicic, van Heerden, Merckelbach, 2005; Otgaar, Muris, Howe, Merckelbach, 2017). Clancy i in. (2002) wykazali na przykład, że w porównaniu z grupą kontrolną, osoby deklarujące pamięć uprowadzenia przez kosmitów popełniały więcej błędów przypominania i rozpoznawania w klasycznym eksperymencie DRM.

Paradygmat DRM zastosowano również do przewidywania błędów pamięciowych u konsumentów w przypadku nieuczciwej konkurencji polegającej na tym, że nowa marka produktów wykorzystuje elementy wizualne do złudzenia przypominające detale użyte wcześniej przez markę prototypową – będącą zazwyczaj liderem rynku (Falkowski, Olszewska, Ulatowska, 2015). W badaniu tym zamiast materiału werbalnego wykorzystano podobne pod względem percepcyjnym opakowania produktów lub nazwy marek. Zmodyfikowana wersja DRM okazała się skuteczna w ocenie prawdopodobieństwa wystąpienia pomyłek konsumenckich w sytuacji stosowania naśladownictwa produktowego.

Podsumowując, należy zwrócić uwagę, że paradygmat DRM daje nie tylko możliwości poszukiwania mechanizmów leżących u podłoża zniekształceń pamięci, ale również pozwala na szerokie zastosowania praktyczne nie tylko w psychologii.

Literatura cytowana

- Akhtar, S., Howe, M. L., Hoepstine, K. (2018). Can false memories prime problem solutions for healthy older adults and those with Alzheimer's disease? *Journals of Gerontology: Series B*, 75(4), 743–752. <https://doi.org/10.1093/geronb/gby064>
- Arndt, J., Reder, L. M. (2003). The effect of distinctive visual information on false recognition. *Journal of Memory and Language*, 48(1), 1–15. [https://doi.org/10.1016/S0749-596X\(02\)00518-1](https://doi.org/10.1016/S0749-596X(02)00518-1)
- Atkins, A. S., Reuter-Lorenz, P. A. (2008). False working memories? Semantic distortion in a mere 4 seconds. *Memory & Cognition*, 36(1), 74–81. <https://doi.org/10.3758/mc.36.1.74>
- Baddeley, A. D. (1972). Retrieval rules and semantic coding in short-term memory. *Psychological Bulletin*, 78, 379–385. <https://doi.org/10.1037/h0033477>
- Baddeley, A. D., Hitch, G. J. (1974). Working memory. W: G. H. Bower (red.), *The psychology of learning and motivation*, t. 8 (s. 47–90). Nowy Jork: Academic Press.
- Bartlett, F. C. (1932). *Remembering: A study in experimental and social psychology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Ben-Artzi, E., Raveh, M. (2016). Perfectionism and false memories: A signal detection analysis. *Personality and Individual Differences*, 101, 132–136. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2016.05.062>
- Bousfield, W. A. (1953). The occurrence of clustering in the recall of randomly arranged associates. *Journal of General Psychology*, 49, 229–240. <https://doi.org/10.1080/00221309.1953.9710088>
- Brainerd, C. J., Reyna, V. F. (2012). Reliability of children's testimony in the era of developmental reversals. *Developmental Review*, 32(3), 224–267. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2012.06.008>
- Budson, A. E., Michalska, K. J., Sullivan, A. L., Rentz, D. M., Daffner, K. R., Schacter, D. L. (2003). False recognition in Alzheimer's disease: Evidence from categorized pictures. *Cognitive & Behavioral Neurology*, 16, 16–27. <https://doi.org/10.1093/brain/awf277>
- Budson, A. E., Todman, R. W., Schacter, D. L. (2006). Gist memory in Alzheimer's disease: Evidence from categorized pictures. *Neuropsychology*, 20, 113–122. <https://doi.org/10.1037/0894-4105.20.1.113>
- Butler, K. M., McDaniel, M. A., McCabe, D. P., Dornburg, C. C. (2010). The influence of distinctive processing manipulations on older adults' false memory. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 17(2), 129–159. <https://doi.org/10.1080/13825580903029715>
- Clancy, S. A., McNally, R. J., Schacter, D. L., Lenzenweger, M. F., Pitman, R. K. (2002). Memory distortion in people reporting abduction by aliens. *Journal of Abnormal Psychology*, 111(3), 455–461. <https://doi.org/10.1037//0021-843x.111.3.455>
- Coane, J. H., McBride, D. M., Raulerson, B. A., Jordan, J. S. (2007). False memory in a short-term memory task. *Experimental Psychology*, 54(1), 62–70. <https://doi.org/10.1027/1618-3169.54.1.62>

- Collins, A. M., Loftus, E. F. (1975). A spreading-activation theory of semantic processing. *Psychological Review*, 82(6), 407–428. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.82.6.407>
- Corson, Y., Verrier, N., Bucic, A. (2009). False memories and individual variations: The role of field dependence-independence. *Personality and Individual Differences*, 47(1), 8–11. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2009.01.036>
- Cowan, N. (1999). An embedded-processes model of working memory. W: A. Miyake, P. Shah (red.), *Models of working memory: Mechanisms of active maintenance and executive control* (s. 62–101). Cambridge: Cambridge University Press.
- Deese, J. (1959). On the prediction of occurrence of particular verbal intrusions in immediate recall. *Journal of Experimental Psychology*, 58, 17–22. <https://doi.org/10.1037/h0046671>
- Devitt, A. L., Schacter, D. L. (2016). False memories with age: Neural and cognitive underpinnings. *Neuropsychologia*, 91, 346–359. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2016.08.030>
- Dewhurst, S. A., Anderson, S. J. (1999). Effects of exact and category repetition in true and false recognition memory. *Memory & Cognition*, 27(4), 665–673. <https://doi.org/10.3758/bf03211560>
- Dodson, C. S., Schacter, D. L. (2002). When false recognition meets metacognition: The distinctiveness heuristic. *Journal of Memory and Language*, 46, 782–803. <https://doi.org/10.1006/jmla.2001.2822>
- Falkowski, A., Olszewska, J., Ulatowska, J. (2015). Are lookalikes confusing? The application of the DRM paradigm to test consumers confusion in counterfeit cases. *Marketing Letters*, 26, 461–471. <https://doi.org/10.1007/s11002-014-9279-0>
- Foley, M. A., Hughes, K., Librot, H., Paysnick, A. (2009). Imagery encoding effects on memory in the DRM paradigm: A test of competing predictions. *Applied Cognitive Psychology*, 23(6), 828–848. <https://doi.org/10.1002/acp.1516>
- Foley, M. A., Wozniak, K. H., Gillum, A. (2006). Imagination and false memory inductions: Investigating the role of process, content and source of imaginations. *Applied Cognitive Psychology*, 20(9), 1119–1141. <https://doi.org/10.1002/acp.1265>
- Gallo, D. A. (2010). False memories and fantastic beliefs: 15 years of the DRM illusion. *Memory & Cognition*, 38(7), 833–848. <https://doi.org/10.3758/MC.38.7.833>
- Gallo, D. A., Bell, D. M., Beier, J. S., Schacter, D. L. (2006). Two types of recollection-based monitoring in younger and older adults: Recall-to-reject and the distinctiveness heuristic. *Memory*, 14, 730–741. <https://doi.org/10.1080/09658210600648506>
- Gallo, D. A., McDermott, K. B., Percer, J. M., Roediger, H. L. (2001). Modality effects in false recall and false recognition. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 27(2), 339–353. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.27.2.339>
- Gallo, D. A., Seamon, J. G. (2004). Are nonconscious processes sufficient to produce false memories? *Consciousness and Cognition*, 13(1), 158–168. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2003.09.001>

- Graham, L. M. (2007). Need for cognition and false memory in the Deese-Roediger-McDermott paradigm. *Personality and Individual Differences*, 42(3), 409–418. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2006.07.012>
- Geraerts, E., Smeets, E., Jelicic, M., van Heerden, J., Merckelbach, H. (2005). Fantasy proneness, but not self-reported trauma is related to DRM performance of women reporting recovered memories of childhood sexual abuse. *Consciousness & Cognition*, 14(3), 602–612. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2005.01.006>
- Grosjean, F. (1989). Neurolinguistics, beware! The bilingual is not two monolinguals in one person. *Brain and Language*, 36(1), 3–15. [https://doi.org/10.1016/0093-934x\(89\)90048-5](https://doi.org/10.1016/0093-934x(89)90048-5)
- Gunter, R. W., Bodner, G. E., Azad, T. (2007). Generation and mnemonic encoding induce a mirror effect in the DRM paradigm. *Memory & Cognition*, 35(5), 1083–1092. <https://doi.org/10.3758/BF03193480>
- Hanczakowski, M., Mazzoni, G. (2011). Both differences in encoding processes and monitoring at retrieval reduce false alarms when distinctive information is studied. *Memory*, 19(3), 280–289. <https://doi.org/10.1080/09658211.2011.558514>
- Henkel, L. A., Johnson, M. K., De Leonardis, D. M. (1998). Aging and source monitoring: Cognitive processes and neuropsychological correlates. *Journal of Experimental Psychology: General*, 127(3), 251–268. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.127.3.251>
- Howe, M. L., Malone, C. (2011). Mood-congruent true and false memory: Effects of depression. *Memory*, 19(2), 192–201. <https://doi.org/10.1080/09658211.2010.544073>
- Huff, M. J., Bodner, G. E., Fawcett, J. M. (2015). Effects of distinctive encoding on correct and false memory: A meta-analytic review of costs and benefits and their origins in the DRM paradigm. *Psychonomic Bulletin & Review*, 22(2), 349–365. <https://doi.org/10.3758/s13423-014-0648-8>
- Hunt, R. R. (2003). Two contributions of distinctive processing to accurate memory. *Journal of Memory and Language*, 48(4), 811–825. [https://doi.org/10.1016/S0749-596X\(03\)00018-4](https://doi.org/10.1016/S0749-596X(03)00018-4)
- Hunt, R. R. (2013). Precision in memory through distinctive processing. *Current Directions in Psychological Science*, 22(1), 10–15. <https://doi.org/10.1177/0963721412463228>
- Hunt, R. R., Smith, R. E., Dunlap, K. R. (2011). How does distinctive processing reduce false memory? *Journal of Memory and Language*, 65(4), 378–389. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2011.06.003>
- Israel, L., Schacter, D. L. (1997). Pictorial encoding reduces false recognition of semantic associates. *Psychonomic Bulletin and Review*, 4(4), 577–581. <https://doi.org/10.3758/BF03214352>
- Johnson, M. J., Hashtroudi, S., Lindsay, D. S. (1993). Reality monitoring. *Psychological Review*, 88(1), 67–85. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.114.1.3>
- Joormann, J., Teachman, B. A., Gotlib, I. H. (2009). Sadder and less accurate? False memory for negative material in depression. *Journal of Abnormal Psychology*, 118(2), 412–419. <https://doi.org/10.1037/a0015621>

- Jou, J., Escamilla, E. E., Torres, A. U., Ortiz, A., Jr., Salazar, P. (2018). Where does the congruity effect come from in memorial comparative judgments? A serial-position-based distinctiveness account. *Journal of Memory and Language*, 103, 127–150. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2018.08.003>
- Jou, J., Foreman, J. (2007). Transfer of learning in avoiding false memory: The roles of warning, immediate feedback, and incentive. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 60(6), 877–896. <https://doi.org/10.1080/17470210600831184>
- Kantner, J., Lindsay, D. S. (2010). Can corrective feedback improve recognition memory? *Memory & Cognition*, 38(4), 389–406. <https://doi.org/10.3758/MC.38.4.389>
- Koutstaal, W., Schacter, D. L. (1997). Gist-based false recognition of pictures in older and younger adults. *Journal of Memory and Language*, 37, 555–583. <https://doi.org/10.1006/jmla.1997.2529>
- LaVoie, D. J., Faulkner, K. (2000). Age differences in false recognition using a forced choice paradigm. *Experimental Aging Research*, 26(4), 367–381. <https://doi.org/10.1080/036107300750015750>
- Leding, J. (2011). Need for cognition and false recall. *Personality and Individual Differences*, 51(1), 68–72. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2011.03.017>
- Macmillan, N., Creelman, C. (2005). *Detection theory: A user's guide*. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.
- Marmolejo, G., Diliberto-Macaluso, K., Altarriba, J. (2009). False memory in bilinguals: Does switching languages increase false memories? *The American Journal of Psychology*, 122(1), 1–16.
- Mazzoni, G. (2002). Naturally occurring and suggestion-dependent memory distortions: Convergence of disparate research traditions. *European Psychologist*, 7(1), 17–30. <https://doi.org/10.1027//1016-9040.7.1.17>
- McCabe, D. P., Smith, A. D. (2002). The effect of warnings on false memories in young and older adults. *Memory & Cognition*, 30(7), 1065–1077. <https://doi.org/10.3758/BF03194324>
- McCabe, D. P., Smith, A. D. (2006). The distinctiveness heuristic in false recognition and false recall. *Memory*, 14(5), 570–583. <https://doi.org/10.1080/09658210600624564>
- McDermott, K. B., Roediger, H. L. (1998). Attempting to avoid illusory memories: Robust false recognition of associates persists under conditions of explicit warnings and immediate testing. *Journal of Memory and Language*, 39(3), 508–520. <https://doi.org/10.1006/jmla.1998.2582>
- McDermott, K. D., Watson, J. M. (2001). The rise and fall of false recall: The impact of presentation duration. *Journal of Memory and Language*, 45(1), 160–176. <https://doi.org/10.1006/jmla.2000.2771>
- Meade, M. L., Geraci, L., Roediger, H. L. (2012). Neuropsychological status of older adults influences susceptibility to false memory. *American Journal of Psychology*, 125(4), 449–467. <https://doi.org/10.5406/amerjpsyc.125.4.0449>

- Monds, L. A., Paterson, H. M., Kemp, R. I., Bryant, R. A. (2013). Individual differences in susceptibility to false memories for neutral and trauma-related words. *Psychiatry, Psychology and Law*, 20(3), 399–411. <https://doi.org/10.1080/13218719.2012.692932>
- Nairne, J. S. (2002). Remembering over the short-term: The case against the standard model. *Annual Review of Psychology*, 53, 53–81. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.53.100901.135131>
- Nairne, J. S. (2006). Modeling distinctiveness: Implications for general memory theory. W: R. R. Hunt, J. Worthen (red.), *Distinctiveness and memory* (s. 27–46). Nowy Jork: Oxford University Press.
- Neuschatz, J. S., Payne, D. G., Lampinen, J. M., Toglia, M. P. (2001). Assessing the effectiveness of warnings and the phenomenological characteristics of false memories. *Memory*, 9(1), 53–71. <https://doi.org/10.1080/09658210042000076>
- Niedźwieńska, A. (2004). *Poznawcze mechanizmy zniekształceń w pamięci zdarzeń*. Kraków: WUJ.
- Olszewska, J., Hodel, A., Luttenberger, D. (2018, listopad). *The effects of diurnal variability and modality on false memories formation*. Poster na 59th Annual Meeting Psychonomic Society, Nowy Orlean, USA.
- Olszewska, J., Reuter-Lorenz, P. A., Munier, E., Bendler, S. A. (2015). Misremembering what you see or hear: Dissociable effects of modality on short- and long-term false recognition. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 41(5), 1316–1325. <https://doi.org/10.1037/xlm0000115>
- Olszewska, J., Ulatowska, J. (2013). Encoding strategy affects false recall and recognition: Evidence from categorical study material. *Advances in Cognitive Psychology*, 9(1), 44–52. <https://doi.org/10.2478/v10053-008-0130-0>
- Olszewska, J., Ulatowska, J. (2019). The effect of presentation format and encoding strategy on memory distortion. *European Review of Applied Psychology*, 69(2), 65–72. <https://doi.org/10.1016/j.erap.2019.03.004>
- Otgaar, H., Muris, P., Howe, M. L., Merckelbach, H. (2017). What drives false memories in psychopathology? A case for associative activation. *Clinical Psychological Science*, 5(6), 1048–1069. <https://doi.org/10.1177/2167702617724424>
- Paivio, A. (1986). *Mental representations: A dual coding approach*. Oxford: Oxford University Press.
- Park, L., Shobe, K. K., Kihlstrom, J. F. (2005). Associative and categorical relations in the associative memory illusion. *Psychological Science*, 16(10), 792–797. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2005.01616.x>
- Peters, M. J. V., Jelcic, M., Verbeek, H., Merckelbach, H. (2007). Poor working memory predicts false memories. *European Journal of Cognitive Psychology*, 19(2), 213–232. <https://doi.org/10.1080/09541440600760396>

- Pirmoradi, M., McKelvie, S. (2015). Feedback, confidence, and false recall in the DRMRS procedure. *Current Psychology: A Journal for Diverse Perspectives on Diverse Psychological Issues*, 34(2), 248–267. <https://doi.org/10.1007/s12144-014-9255-0>
- Reyna, V. F., Brainerd, C. J. (1995). Fuzzy-trace theory: An interim synthesis. *Learning and Individual Differences*, 7(1), 1–75. [https://doi.org/10.1016/1041-6080\(95\)90031-4](https://doi.org/10.1016/1041-6080(95)90031-4)
- Roediger, H. L., McDaniel, M. A. (2007). Illusory recollections in older adults: Testing Mark Twain's conjecture. W: M. Garry, H. Hayne (red.), *Do justice and let the sky fall: Elizabeth F. Loftus and her contributions to science, law, and academic freedom* (s. 105–136). Hillsdale: Erlbaum.
- Roediger, H. L., McDermott, K. (1995). Creating false memories: Remembering words not presented in lists. *Journal of Experimental Psychology*, 21(4), 803–814. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.21.4.803>
- Roediger, H. L., McDermott, K. B. (2000). Distortions of memory. W: F. I. M. Craik, E. Tulving (red.), *The Oxford handbook of memory* (s. 149–164). Oxford: Oxford University Press.
- Roediger, H. L., McDermott, K. B., Goff, L. M. (1997). Recovery of true and false memories: Paradoxical effects of repeated testing. W: M. A. Conway (red.), *Recovered memories and false memories* (s. 118–149). Oxford: Oxford University Press.
- Roediger, H. L., Watson, J. M., McDermott, K. B., Gallo, D. A. (2001). Factors that determine false recall: A multiple regression analysis. *Psychonomic Bulletin & Review*, 8, 385–407. <https://doi.org/10.3758/BF03196177>
- Ruci, L., Tomes, J. L., Zelenski, J. M. (2009). Mood-congruent false memories in the DRM paradigm. *Cognition and Emotion*, 23(6), 1153–1165. <https://doi.org/10.1080/02699930802355420>
- Sahlin, B. H., Harding, M. G., Seamon, J. G. (2005). When do false memories cross language boundaries in English–Spanish bilinguals? *Memory & Cognition*, 33(8), 1414–1421. <https://doi.org/10.3758/BF03193374>
- Sanford, L. C., Fisk, J. (2009). How does the extraversion personality trait influence false recall with the Deese–Roediger–McDermott (DRM) paradigm? *Journal of Research in Personality*, 43(6), 972–977. <https://doi.org/10.1016/j.jrp.2009.05.011>
- Smith, R. E., Hunt, R. R., Gallagher, M. P. (2008). The effect of study modality on false recognition. *Memory & Cognition*, 36(8), 1439–1449. <https://doi.org/10.3758/MC.36.8.1439>
- Smith, R. E., Lozito, J. P., Bayen, U. J. (2005). Adult age differences in distinctive processing: The modality effect on false recall. *Psychology and Aging*, 20(3), 486–492. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.20.3.486>
- Storbeck, J., Clore, G. L. (2005). With sadness comes accuracy; with happiness, false memory: Mood and the false memory effect. *Psychological Science*, 16(10), 785–791. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2005.01615.x>
- Tulving, E. (1985). Memory and consciousness. *Canadian Psychology*, 26(1), 1–12. <https://doi.org/10.1037/h0080017>

- Ulatowska, J., Olszewska, J. (2013). Creating associative memory distortions – A Polish adaptation of the DRM paradigm. *Polish Psychological Bulletin*, 44(4), 449–456. <https://doi.org/10.2478/ppb-2013-0048>
- Ulatowska, J., Olszewska, J., Hanson, M. D. (2020). Does test type influence false recognition in the DRM paradigm? Comparison of the yes/no recognition test and two-alternative forced-choice test. *American Journal of Psychology*, 133(1), 49–62. <https://doi.org/10.5406/amerjpsyc.133.1.0049>
- Ulatowska, J., Olszewska, J., Wiśniewska, D., Rogowski, T. (2019). The DRM paradigm in sign language: An investigation of associative memory errors in deaf and hearing signers. *Current Psychology*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1007/s12144-019-00492-7>
- Watson, J. M., Balota, D. A., Sergent-Marshall, S. D. (2001). Semantic, phonological, and hybrid veridical and false memories in healthy older adults and in individuals with dementia of the Alzheimer type. *Neuropsychology*, 15(2), 254–267. <https://doi.org/10.1037//0894-4105.15.2.254>
- Watson, J. M., McDermott, K. B., Balota, D. A. (2004). Attempting to avoid false memories in the Deese/Roediger-McDermott paradigm: Assessing the combined influence of practice and warnings in young and old adults. *Memory & Cognition*, 32(1), 135–141. <https://doi.org/10.3758/BF03195826>
- Westerberg, C. E., Marsolek, C. J. (2003). Sensitivity reductions in false recognition: A measure of false memories with stronger theoretical implications. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 29(5), 747–759. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.29.5.747>
- Winograd, E., Peluso, J. P., Glover, T. A. (1998). Individual differences in susceptibility to memory illusions. *Applied Cognitive Psychology*, 12(Spec Issue), S5–S27. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-0720\(199812\)12:73.0.CO;2-D](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-0720(199812)12:73.0.CO;2-D)
- Wright, D. B., Startup, H. M., Mathews, S. A. (2005). Mood, dissociation and false memories using the Deese-Roediger-McDermott procedure. *British Journal of Psychology*, 96(Pt 3), 283–293. <https://doi.org/10.1348/000712605X49916>
- Zhu, B., Chen, C., Shao, X., Liu, W., Zhuang, L., Loftus, E., Xue, G. (2019). Multiple interactive memory representations underlie the induction of false memory. *PNAS*, 116(9), 3466–3475. <https://doi.org/10.1073/pnas.1817925116>

JOANNA ULATOWSKA

Instytut Psychologii, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

Metoda pośredniej oceny szczerości – szansa na wyższą skuteczność wykrywania kłamstwa czy technika bez możliwości praktycznego zastosowania?

Sposób cytowania: Ulatowska, J. (2020). Metoda pośredniej oceny szczerości – szansa na wyższą skuteczność wykrywania kłamstwa czy technika bez możliwości praktycznego zastosowania? W: M. Trojan, M. Gut (red.), *Nowe technologie i metody w psychologii* (s. 395–410). Warszawa: Liberi Libri. <https://doi.org/10.47943/lib.9788363487430.rozdzial18>

Wbrew potocznym opiniom, wykrywanie kłamstwa jest trudnym zadaniem. Setki badań, podsumowanych w kilku obszernych przeglądach (np. Vrij, 2008) i metaanalizach (Aamodt, Custer, 2006; Bond, DePaulo, 2006), jasno pokazują, że średnia skuteczność w ocenie szczerości rzadko sięga 60%. I mimo że wartość ta istotnie różni się od poziomu przypadku, czyli 50% (Bond, DePaulo, 2006), to trudno uznać te wyniki za satysfakcjonujące z praktycznego punktu widzenia. Niska trafność¹ sądów o szczerości innych tłumaczona jest na kilka sposobów (Vrij, 2008). Przede wszystkim wskazuje się na brak motywacji wykrywających do poznania prawdy, gdyż taka wiedza może za sobą nieść poważne koszty. Po drugie, różnice w zachowaniu kłamców i osób prawdomównych są nieznaczne, a żaden wskaźnik behawioralny nie jest wyłącznie i specyficznie związany z kłamaniem. Po trzecie, badania wskazują, że ludzie mają błędne przekonania na temat tego, jak zachowują się kłamcy (np. Bogaard, Meijer, Vrij, Merckelbach, 2016; Strömwall, Granhag, 2003; The Global Deception Research Team, 2006; Ulatowska, 2009, 2017), dlatego nawet te drobne rzeczywiste różnice często nie są brane pod uwagę (por. Hartwig, Bond, 2011). Ponadto – jak wykazano w kilku badaniach z ostatnich lat – istnieje niezbyt silny, choć istotny związek trafności wykrywania z poziomem wiedzy o wskaźnikach kłamstwa (Bogaard, Meijer, 2018; Reinhard, Scharmach, Müller, 2013; Ulatowska, 2011, 2017).

Metody oceny szczerości

Opisany wyżej poziom skuteczności oceny szczerości oscylujący w granicach poziomu zgadywania dotyczy badań, w których zastosowano wykrywanie kłamstwa bez użycia dodatkowych technik czy urządzeń. W badaniach tych uczestnicy proszeni są o obejrzenie, wysłuchanie lub przeczytanie treści zawierających kłamstwo lub prawdę, a następnie o decyzję czy wypowiedź jest szczera, czy nie. Ten rodzaj bezpośredniego wykrywania kłamstwa jest najczęściej stosowany na co dzień (zarówno przez laików, jak i profesjonalistów), ale jednocześnie najmniej skuteczny (Vrij, 2008). Dlatego od lat prowadzone są próby opracowania skuteczniejszej techniki wykrywania kłamstwa. Badaniom poddawane są m.in. metody wykorzystujące dodatkowe urządzenia mierzące reakcje fizjologiczne,

¹ W rozdziale tym słowo *trafność* w kontekście wykrywania kłamstwa jest używane zamiennie ze słowem *skuteczność*, będącym odpowiednikiem angielskiego *accuracy*.

takie jak poligraf (przegląd badań w: Meijer, Verschuere, 2015), EEG (przegląd badań w: Iacono, 2015), techniki neuroobrazowania (przegląd badań w: Ganis, 2015) oraz te wykorzystujące specyficzne sposoby prowadzenia wywiadu lub skupiające uwagę na konkretnych wskaźnikach podczas obserwacji podejrzanego o kłamstwo (np. Vrij, 2015a, 2015b). Niestety, każda z tych metod ma wady wiążące się głównie z możliwością ich stosowania w praktyce oraz ze skutecznością, która nadal odbiega od idealnej (np. Vrij, 2008). Ponadto użycie części z nich wymaga specjalistycznego przeszkolenia oraz kosztownego sprzętu, dlatego w ramach niniejszego rozdziału omówione zostaną wyłącznie techniki wykrywania kłamstwa, niewymagające użycia dodatkowych urządzeń, a zwłaszcza oparte na tak zwanej metodzie pośredniej oceny szczerości (*indirect lie detection*).

Wśród metod prowadzenia wywiadu lub przesłuchania, którego celem jest ocena szczerości, uwagę wielu badaczy skupiają w ostatnich latach dwie techniki – technika strategicznego użycia dowodów (*Strategic Use of Evidence*, SUE; Hartwig, Granhag, Strömwall, Kronkvist, 2006) oraz metoda polegająca na podnoszeniu obciążenia poznawczego u osób podejrzewanych o kłamstwo (Vrij, 2015b). Technika SUE polega na zastosowaniu specyficznej procedury konfrontowania wcześniejszych zeznań osób podejrzewanych o kłamstwo z zewnętrznymi dowodami, które same w sobie nie przesądzą o winie (np. odciski palców). Istotą metody jest wstrzymanie się z przedstawianiem podejrzanemu dowodów do czasu aż nie skłamie, np. zaprzeczając obecności na miejscu przestępstwa. Gdy do tego dojdzie, przesłuchujący prezentuje dowody i prosi o wyjaśnienie rozbieżności między tym, co podejrzany zeznał, a posiadanymi dowodami. Zaskoczony takim obrotem sprawy kłamca może przejawiać więcej behawioralnych wskaźników kłamstwa, które ułatwią jego wykrycie. Badania pokazują, że uczestnicy przeszkoleni w SUE są w stanie ocenić szczerość z ponad 85% dokładnością, w porównaniu do 56% trafności u osób stosujących typowe techniki przesłuchania (Hartwig i in., 2006). Co więcej, metoda ta jest równie skuteczna w wykrywaniu kłamstw dotyczących przeszłych działań, jak i tych dotyczących intencji (Clemens, Granhag, Strömwall, 2011).

Jednak technika SUE ma dwa główne ograniczenia: wymaga posiadania dowodów oraz przeszkolonego przesłuchującego. Metoda, która przewyższa to pierwsze ograniczenie i nadal prowadzi do stosunkowo wysokiej trafności wykrywania kłamstwa, polega na zwiększaniu różnicy w obciążeniu poznawczym między kładcami i osobami prawdomównymi (*cognitive load approach*; Vrij, 2015b). Metaanaliza Vrija, Fishera i Blanka (2017) wykazała, że poproszenie podejrzanego o kłamstwo, aby opowiedział wydarzenia od końca, zachęcanie

tej osoby do podania większej liczby szczegółów lub zadawanie pytań, których nie mogła się spodziewać, może zwiększyć trafność oceny szczerości do 71% w porównaniu z tradycyjnym przesłuchaniem (zob. też: Verschuere, Köbis, Bereby-Meyer, Rand, Shalvi, 2018). Podejście to bazuje na założeniu, że taki sposób prowadzenia przesłuchania mocniej wpływa na zachowanie kłamców, i tak już obciążonych zazwyczaj trudniejszym zadaniem mówienia nieprawdy, niż na osoby prawdomówne. To zaś przekłada się na bardziej zauważalne dla wykrywającego werbalne i niewerbalne wskaźniki kłamstwa, np. wolniejsze tempo mowy czy mniejszą liczbę szczegółów (Vrij, 2015b). W odróżnieniu od technik podnoszących napięcie emocjonalne, zaletą tej metody jest również brak wątpliwości etycznych co do jej stosowania (np. Verschuere, Meijer, Vrij, 2016).

Mimo relatywnie wyższej trafności, podejście związane z obciążeniem poznawczym nie jest bez wad. Poziom błędów tej metody może wynikać między innymi z założenia, że wykrywający zwrócą uwagę na diagnostyczne wskaźniki behawioralne (tzw. wskaźniki rzeczywiste lub obiektywne) sugerujące nieszczerość. Jednak, jak wspomniano wyżej, większość z nas podczas wykrywania kłamstwa kieruje się stereotypowymi, nieprawidłowymi wskaźnikami (tzw. wskaźnikami subiektywnymi; np. Bogaard i in., 2016). Techniką dającą możliwość przezwyciężenia tego problemu jest metoda pośredniego wykrywania kłamstwa.

Metoda pośredniego wykrywania kłamstwa

W większości badań nad skutecznością wykrywania kłamstwa stosuje się metodę bezpośrednią, gdzie wykrywający wprost proszony jest o ocenę szczerości podejrzewanych osób (tj. odpowiedź na pytanie, czy oceniana osoba mówi prawdę, czy kłamie). W niektórych badaniach obok pytania bezpośredniego stosowano jednak dodatkowe miary, w których obserwatorzy proszeni byli o ocenę innych niż szczerość cech zachowania nadawcy (np. Vrij, Edward, Bull, 2001) lub o ocenę własnych wrażeń po zapoznaniu się ze szczerym lub nieszczerym komunikatem (np. Evanoff, Porter, Black, 2016). Wyniki dużej części tych badań pokazały, że na podstawie odpowiedzi na te dodatkowe pytania – określane obecnie jako pośrednie – można odróżnić kłamców od mówiących prawdę² z wyższą trafnością niż na podstawie bezpośrednich ocen szczerości.

2 W badaniach testujących skuteczność metody pośredniej najczęściej nie mówi się o skuteczności wykrywania kłamstwa, ale raczej o skuteczności odróżniania kłamstwa od prawdy,

Odkrycie skuteczności metody pośredniej wydaje się dość przypadkowe, ponieważ początkowo pytania te pełniły zazwyczaj inne funkcje niż rozróżnianie kłamstwa i prawdy³. W jednym z pierwszych badań DePaulo, Rosenthal, Green i Rosenkrantz (1982) do bezpośrednich ocen szczerości dodali kilka pytań o inne cechy nadawcy, na przykład o to, czy w jej lub jego wypowiedzi można zauważyć przejawy sprzecznych uczuć. Wykazali, że o ile badani ocenili komunikaty, które zawierały kłamstwo jako mniej szczerze niż komunikaty prawdziwe, to sądzili również, że zawierały one więcej przejawów sprzecznych uczuć czy dwuznaczności. Podobne wyniki uzyskały Hurd i Noller (1988), które poza ocenami m.in. poziomu szczerości wypowiedzi, prosiły badanych także, by relacjonowali na bieżąco swoje odczucia podczas słuchania prawdy lub kłamstwa. Wykazały one, że skuteczność bezpośredniego wykrywania kłamstwa była niska, ale badani dzieląc się swoimi przemyśleniami w trakcie słuchania wypowiedzi nieprawdziwych byli bardziej skłonni, by sugerować, że może być to kłamstwo. Wygląda więc na to, że ostateczna decyzja o szczerości często nie ma związku z przebiegiem procesu jej podejmowania (Hurd, Noller, 1988).

Typy pytań pośrednich

Do tej pory przeprowadzono wiele badań z wykorzystaniem metody pośredniej, wykazując, że może być ona skuteczna, gdy stosowana jest w przypadku różnych typów kłamstwa, np. przy kłamstwach na temat bieżących opinii (Ulatowska, 2014), przeszłych działań lub intencji (Ulatowska, 2018), gdy kłamstwa oglądane są na nagraniach video lub na żywo (Landström, Granhag, Hartwig, 2005) lub gdy nadawcami są dzieci (Landström, Granhag, Hartwig, 2007). Badania pokazały również, że na podstawie pośrednich ocen, m.in. tego, jak komfortowo czuli się wykrywający, czy otrzymali wystarczającą ilość informacji lub jak silne podejrzenia wzbudzili u nich nadawcy, można było skutecznie odróżnić komunikaty prawdziwe i fałszywe (przegląd badań w: DePaulo, Morris, 2004; por. Bond, Levine, Hartwig, 2015). Za miarę pośrednią uznaje się

ponieważ ocen dokonuje się zazwyczaj na wielopunktowych skalach, a skuteczność oblicza się jako różnicę między średnimi ocenami dla nadawców prawdomównych i kłamiących.

3 Badaniem z wykorzystaniem metody pośredniej, które uznano za pionierskie w tym obszarze, było badanie DePaulo i Rosenthala (1979).

także oceny pewności decyzji o szczerości innych. DePaulo, Charlton, Cooper, Lindsay i Muhlenbruck (1997) w metaanalizie badań nad tym zagadnieniem pokazali, że mimo iż korelacja pewności i trafności oceny jest niska, to badani są istotnie bardziej pewni swoich decyzji, kiedy oceniają komunikaty prawdziwe.

Mnogość procedur i pytań uznawanych za pośrednią ocenę szczerości (por. Bond i in., 2015; DePaulo, Morris, 2004) skłoniła Granhaga (2006) do próby klasyfikacji tych metod. Wyróżnił on kilka możliwych podziałów na typy pytań pośrednich:

1. o proces (tj. analiza procesu umysłowego prowadzącego do decyzji) lub o produkt (tj. odpowiedź na konkretne pytanie, np. o sprzeczność emocji u nadawcy);
2. o przedmiot (tj. pytanie o cechy lub zachowanie nadawcy) lub o podmiot (tj. pytanie o odczucia odbiorcy);
3. o werbalne wskaźniki kłamstwa lub o niewerbalne wskaźniki kłamstwa;
4. o rzeczywiste wskaźniki kłamstwa lub o subiektywne wskaźniki kłamstwa (zob. Vrij, 2008);
5. posiadające podstawy teoretyczne (np. pytanie o poziom wysiłku umysłowego u nadawcy, wynikające z podejścia związanego z obciążeniem poznawczym) lub takich podstaw nieposiadające (por. Bond i in., 2015).

Mechanizm pośredniej oceny szczerości

Mimo że wyniki sporej grupy badań wykazały wyższą skuteczność metody pośredniej w porównaniu do metody bezpośredniej, do dziś nie jest w pełni jasne to, jaki mechanizm odpowiada za tę przewagę (por. Granhag, 2006). W związku z tym, że tak wiele sposobów pomiaru zaliczanych jest do wykrywania pośredniego, od jakiegoś czasu toczy się spór o to, co leży u podstaw skuteczności tej metody. Niektórzy badacze sugerują, że chodzi o zaangażowanie procesów nieświadomych lub intuicji (Reinhard, Greifender, Scharmach, 2013; ten Brinke, Stimson, Carney, 2014). Inni, że świadomie analizowane są wskaźniki odróżniające kłamców i osoby prawdomówne, ale są to inne wskaźniki niż te poszukiwane przez osoby wykrywające kłamstwo bezpośrednio (Street, Richardson, 2015; Street, Vadillo, 2016).

Podstawowym celem jednego z pierwszych badań (Vrij i in., 2001), których wyniki sugerowały, że mechanizm działania metody pośredniej nie opiera się na dostępie do jakiegś nieświadomej wiedzy, było sprawdzenie, czy zadanie

pytania pośredniego i bezpośredniego oddzielnym grupom badanych⁴ wpłynię na skuteczność tej pierwszej metody. Wykazano, że dzięki zastosowaniu pytania o poziom wysiłku umysłowego nadawcy, uwaga odbiorców skierowana została ku rzeczywistym, diagnostycznym wskaźnikom kłamstwa przejawianym przez oceniane osoby, w tym przypadku – wydłużonego czasu potrzebnego do rozpoczęcia udzielania odpowiedzi (tzw. okres latencji) i zmniejszonej liczby ilustratorów. Doprowadziło to do istotnie wyższej trafności metody pośredniej. Sugeruje to więc, że takie ogólne pytania pośrednie odwołujące się do procesów, jakim mogą podlegać kłamcy, nie aktywizują stereotypowych przekonań na temat przejawów kłamstwa, a przyciągają uwagę do bardziej diagnostycznych, często pojedynczych wskaźników obecnych w zachowaniu kłamców (Street, Richardson, 2015; Vrij i in., 2001).

Co więcej, badania pokazują, że o ile bezpośrednio pytanie o szczerość może prowadzić do wydawania sądów opartych na licznych wskaźnikach behawioralnych (Hartwig, Bond, 2014), to ich związek z kłamaniem może być sprzeczny – jeden ze wskaźników może sugerować kłamstwo, a drugi prawdę (Street, Bischof, Vadillo, Kingstone, 2016). Metoda pośrednia natomiast może prowadzić do analizy tylko tych wskaźników, które będą diagnostyczne dla kłamstwa (Street, Richardson, 2015). Kwestia ta wymaga dalszych badań jednoznacznie potwierdzających te przypuszczenia (zob. Ulatowska, Dobrzyńska, 2015). Wygląda jednak na to, że mimo iż badany w warunku pośrednim nie jest proszony o dokonanie świadomej analizy wskaźników kłamstwa, to nie oznacza to, że metoda pośrednia angażuje jakiś rodzaj intuicyjnych umiejętności. Niektórzy badacze sugerują wręcz, że zaufanie i dawanie wiary innym jest automatycznym trybem funkcjonowania człowieka, a podejrzliwość, konieczna do wykrycia kłamstwa, wymaga zaangażowania świadomego przetwarzania informacji (Levine, 2019).

Ograniczenia skuteczności metody pośredniej

Wyjaśnienie skuteczności metody pośredniej sugerujące wykorzystanie diagnostycznych wskaźników kłamstwa znajduje potwierdzenie w metaanalizie Bonda i in. (2015). Wykazali oni, że na 24 pytania uznane za pośrednie, jedynie 4 przewyższały skutecznością pytanie bezpośrednie. Ten brak spójności

4 Dodatkowo badacze ci jako pierwsi przetestowali skuteczność pytania pośredniego w grupie profesjonalistów, w tym przypadku policjantów.

między rezultatami badań może wynikać z tego, że wiele pytań pośrednich wziętych pod uwagę w tej metaanalizie odnosiło się do stereotypowych, nieprawidłowych wskaźników kłamstwa (np. pytania o kontakt wzrokowy czy nerwowość; por. DePaulo i in., 2003).

Metoda ta bywa jednak nieskuteczna także wtedy, gdy pytanie pośrednie nie dotyczy nieprawidłowego wskaźnika kłamstwa (np. Klaver, Lee, Spidel, Hart, 2009). Co więcej, wyniki prowadzonych przeze mnie badań sugerują, że nie wszystkie pytania pośrednie są tak samo skuteczne, a zależec to może od spójności treści pytania pośredniego z tematem kłamstwa (Ulatowska, 2014). Temat i kontekst kłamstwa mogą bowiem prowadzić do aktywacji innych procesów neuronalnych (Jung, Lee, 2012) i psychologicznych u kłamcy (Vrij, 2008). Procesy te mogą z kolei odmiennie wpływać na obecność lub brak diagnostycznych wskaźników behawioralnych u kłamców. Z tego powodu pytanie pośrednie np. o wysiłek umysłowy nadawcy (czyli dotyczące obciążenia poznawczego) mogło nie doprowadzić do skutecznego odróżnienia osób kłamiących i mówiących prawdę na temat sympatii do znanych sobie osób (czyli opisujących emocje) (Ulatowska, 2014).

Dopasowanie pytania pośredniego do tematu kłamstwa

W kolejnym badaniu przetestowałam więc przypuszczenie, że pytania pośrednie będą skuteczne tylko wtedy, gdy dotyczyć będą wskaźników, które mogą przejawiać nadawcy doświadczający konkretnych procesów psychicznych (tj. obciążenia poznawczego, pobudzenia emocjonalnego lub prób kontroli zachowania; Zuckerman, DePaulo, Rosenthal, 1981). W badaniu tym 306 badanych ($M_{\text{wiek}} = 21,45$; $SD_{\text{wiek}} = 2,89$; 70,1% kobiet) poproszono o obejrzenie 10 wypowiedzi (połowę stanowiły kłamstwa) na jeden z trzech tematów: przesłuchanie w sprawie pozorowanej kradzieży, wywiad o poglądach na kontrowersyjne tematy społeczno-polityczne lub wolna wypowiedź na temat sympatii do znanych sobie osób. Scenariusze te różnią się motywacją kłamcy wynikającą z możliwości uzyskania nagrody finansowej oraz możliwym większym obciążeniem poznawczym wynikającym z zadawania nieoczekiwanych pytań (w przypadku dwóch pierwszych tematów) lub możliwością przejawiana sprzecznych emocji (w trzecim scenariuszu)⁵. Wykrywający, używając skali od

5 Opis procedury przygotowania nagrań w: Ulatowska, 2013.

1 (*zdecydowanie nie*) do 9 (*zdecydowanie tak*), odpowiadali na pytanie bezpośrednie („Czy wypowiadający się kłamał?”) lub jedno z trzech pytań pośrednich („Czy wypowiadający się włożył w wypowiedź dużo wysiłku umysłowego?” lub „Czy wypowiadający się był pewny tego, co mówi?”, lub „Czy wypowiadający się miał mieszane uczucia?”). Analiza wariancji w modelu mieszanym 2 (szczerość komunikatu: prawda vs. kłamstwo) x 3 (scenariusz kłamstwa) x 4 (typ pytania) wykazała istotny efekt główny szczerości, $F(1, 294) = 19,53$; $p < 0,001$; $\eta^2 = 0,06$. Oceny osób kłamiących były niższe ($M = 5,28$; $SD = 1,41$) niż oceny osób prawdomównych ($M = 5,66$; $SD = 1,46$). Istotne były również efekt główny scenariusza kłamstwa, $F(2, 294) = 14,74$; $p < 0,001$; $\eta^2 = 0,09$ i typu pytania, $F(3, 294) = 22,10$; $p < 0,001$; $\eta^2 = 0,18$. Najważniejsza z punktu widzenia celów badania interakcja⁶ czynników szczerość, scenariusz kłamstwa i typ pytania okazała się również istotna, $F(6, 294) = 3,17$; $p = 0,005$; $\eta^2 = 0,06$. Porównania skuteczności oceny szczerości w poszczególnych scenariuszach kłamstwa pokazały, że w przypadku bardziej wymagających poznawczo scenariuszy dotyczących kradzieży i opinii społeczno-politycznej, w których nadawcy musieli odpowiedzieć na nieoczekiwane pytania i sfabrykować alibi lub opinię, to pytanie o wysiłek umysłowy pozwoliło na trafne rozróżnienie między kłamstwem i prawdą. Uczestnicy uważali, że kłamcy wkładają w wypowiedź więcej wysiłku niż osoby prawdomówne (różnica w ocenach kłamców i prawdomównych wynosiła, odpowiednio: 0,56; $p = 0,078$ i 1,08; $p = 0,001$). Jest zatem możliwe, że pytanie to zwróciło uwagę badanych na oznaki zwiększonego obciążenia poznawczego u kłamców, np. spadek częstości ruchów nóg (Ulatowska, 2013). W scenariuszu kradzieży istotna na poziome trendu była również różnica w ocenach nadawców, kiedy użyto pytania o pewność wypowiedzi (różnica 0,56; $p = 0,078$), jednak niezgodnie z przewidywaniami kłamcy zostali ocenieni jako bardziej pewni⁷. Z kolei przy scenariuszu o niższych wymaganiach poznawczych (wolna wypowiedź o sympatii do znajomego), który wymagał fałszowania emocji i wyrażania opinii, dwa pytania pośrednie spójne z tym tematem – pytanie o pewność wypowiedzi (różnica 1,52; $p = 0,001$) i pytanie o mieszane uczucia (różnica 1,66; $p < 0,001$) – skutecznie

6 Pozostałe efekty interakcji: scenariusz x szczerość: $F(2, 294) = 6,14$; $p = 0,002$; $\eta^2 = 0,04$; scenariusz x typ pytania: $F(6, 294) = 5,52$; $p < 0,001$; $\eta^2 = 0,10$; szczerość x typ pytania: $F(3, 294) = 0,68$; $p = 0,566$; $\eta^2 = 0,007$.

7 Wynik ten może być zgodny z podejściem związanym z próbami kontroli zachowania podczas kłamstwa (Vrij, 2008): kłamcy nie biorą swojej wiarygodności za pewnik i bardziej świadomie podchodzą do planowania i kontrolowania swojego przekazu niż osoby prawdomówne.

różnicowały kłamców i prawdomównych. Kłamcy zostali ocenieni jako mniej pewni swoich opinii i przejawiający mieszane uczucia w większym stopniu. Pytanie bezpośrednie pozwoliło na trafne rozróżnienie kłamców i mówiących prawdę tylko w przypadku scenariusza opinii (różnica 0,70; $p = 0,028$). Pozostałe różnice nie były istotne statystycznie. Należy także zauważyć, że istotne statystycznie różnice między ocenami kłamców i osób prawdomównych nie były duże (różnice od 0,56 do 1,66 na 9-punktowej skali), a siła efektu (d Cohena) wahała się od małej/średniej (0,40) do wysokiej (1,19). Podobne różnice uzyskano w poprzednich badaniach (np. Vrij i in., 2001).

Uzyskane wyniki potwierdziły hipotezę dotyczącą wyższej skuteczności metody pośredniej – uczestnicy byli w stanie odróżnić prawdę od kłamstwa częściej, gdy odpowiadali na pytania pośrednie. Jednak, jak sugerowano w poprzednich badaniach (Ulatowska, 2014), nie wszystkie pytania pośrednie były równie efektywne, a ich skuteczność była częściowo zależna od dopasowania treści pytania do możliwych w danym scenariuszu wskaźników behawioralnych. Tego typu odpowiedź zawarta w pytaniu pośrednim, wskazująca, na jakie elementy zachowania nadawcy należy zwrócić uwagę, może być jednak skuteczna jedynie wtedy, gdy obserwator będzie wiedział nie tylko, jakiego rodzaju zachowania szukać (np. ruchy nóg), ale także w jaki sposób to zachowanie jest powiązane z kłamaniem (np. zmniejszenie częstości ruchów nóg). W przypadku metody pośredniej zwykle nie dostarcza się wykrywającemu informacji o kierunku natężenia wskaźników behawioralnych. Potwierdzenie tego przypuszczenia wymaga więc dalszych badań.

Używanie wielu pytań pośrednich jednocześnie

Badania nad metodą pośrednią różnią się również liczbą pytań pośrednich stosowanych jednocześnie – w niektórych badaniach testowano pojedyncze pytania (np. Ulatowska, 2010; Vrij i in., 2001), w innych – kilka pytań na raz (np. DePaulo i in., 1982; Klaver i in., 2009; Sporer, Masip, 2012). Jeśli zasadne byłoby sugestie wysuwane przez niektórych badaczy (np. Reinhard i in., 2013; ten Brinke i in., 2014), że skuteczność metody pośredniej bazuje na zaangażowaniu intuicyjnego czy nieświadomego przetwarzania informacji, to zastosowanie kilku pytań jednocześnie mogłoby obniżyć skuteczność metody pośredniej. Spowodowane byłoby to m.in. wydłużeniem czasu na podjęcie decyzji i aktywizacją świadomego trybu przetwarzania informacji (Albrechtsen, Meissner, Susa, 2009).

We wspomnianych wyżej badaniach własnych w bardziej bezpośredni sposób (tj. używając tych samych pytań i ocenianych komunikatów) porównywałam działanie kilku pytań pośrednich stosowanych wewnątrzgrupowo lub międzygrupowo, wykazując, że czynnik ten nie ma wpływu na skuteczność metody pośredniej (Ulatowska, 2014). Jest to zgodne z sugestią, że poprawna ocena wiarygodności nie może być oparta na intuicji czy „zdrowym rozsądku”, ale raczej na świadomej analizie w oparciu o dostępne wskazówki (Porter, ten Brinke, 2009).

Świadomość stosowania metody pośredniej

Kolejnym, najprawdopodobniej najważniejszym, zastrzeżeniem do pośredniej oceny szczerości jest możliwość jej praktycznego użycia. Dlatego w kolejnych badaniach bezpośrednio porównywałam skuteczność odróżniania kłamstwa od prawdy, w warunkach, gdy metoda pośrednia stosowana była samodzielnie lub w połączeniu z metodą bezpośrednią (Ulatowska, 2014). Zagadnienie to wydaje się istotne, ponieważ trudno wyobrazić sobie eksperta, na przykład policjanta, który ocenia przesłuchanie, używając pytań pośrednich, jednocześnie nie zdając sobie sprawy, że ich celem jest weryfikacja szczerości. Wykazałam, że stosowanie metody pośredniej w połączeniu z bezpośrednią nie obniżyło skuteczności tej pierwszej – większość pytań pośrednich pozwoliła na skuteczne rozróżnienie kłamców i osób prawdomównych. Wyniki te są zgodne z rezultatami wcześniejszego badania, w którym zastosowałam jedno pytanie pośrednie, jednak manipulowałam instrukcją informującą badanych o celu ich ocen. Połowie powiedziano wprost, że odpowiadają na pytanie pośrednie lub bezpośrednie po to, by ocenić szczerość; drugiej połowie – że ich zadaniem jest po prostu ocena oglądanych osób (Ulatowska, 2010). Wykazałam, że podanie pełnej informacji o celu oceny nie obniża skuteczności pośredniego wykrywania kłamstwa.

Podsumowanie

Podsumowując opisane powyżej wyniki badań, można stwierdzić, że istnieją dowody na to, iż ocena szczerości metodą pośrednią może prowadzić do wyższej skuteczności w odróżnianiu kłamców od mówiących prawdę niż metoda

bezpośrednia. Efekt ten, uzyskiwany dla różnych typów pytań pośrednich oraz dla różnych typów kłamstw, może być konsekwencją skierowania uwagi ku bardziej diagnostycznym wskaźnikom kłamstwa. Zaletą tej metody (zob. tabela 1) jest więc nie tylko jej uniwersalność, ale także łatwość stosowania i badania – nie wymaga specjalnego przeszkolenia ani dodatkowych urządzeń. W ostatnich latach więcej uwagi poświęcono również próbom wyjaśnienia mechanizmu jej działania (Street, Richardson, 2015, Ulatowska, Dobrzyńska, 2015). Nadal wiele kwestii pozostaje jednak niejasnych – od przyczyn przypadków jej nieskuteczności zaczynając, przez brak w pełni wyjaśnionych podstaw teoretycznych, a na możliwości zastosowania metody w praktyce kończąc. To ostatnie zagadnienie jest szczególnie kłopotliwe, ponieważ nie poświęcono mu praktycznie żadnych badań. Nie dziwi więc fakt, że niektórzy badacze wątpią w wyższość metody pośredniej nad bezpośrednią oceną szczerości (Levine, 2019).

Tabela 1

Podsumowanie zalet i wad metod oceny szczerości

Metoda	Zalety	Wady
Bezpośrednia ocena szczerości	- Nie wymaga dodatkowego sprzętu lub przeszkolenia - Możliwa do zastosowania w większości sytuacji i dla wszystkich kanałów komunikacji	- Niska skuteczność - Wymaga znajomości rzeczywistych wskaźników kłamstwa - Oparta na wykrywaniu niewielkich różnic w zachowaniu - Umiarkowany wzrost skuteczności po treningu
Pośrednia ocena szczerości	- Nie wymaga dodatkowego sprzętu lub przeszkolenia - Często skuteczniejsza niż metoda bezpośrednia - Nie wymaga znajomości rzeczywistych wskaźników kłamstwa	- Brak jednoznacznej definicji pytania pośredniego - Niewyjaśnione w pełni przyczyny niespójności danych o skuteczności - Brak jednoznacznych podstaw teoretycznych - Brak danych o możliwości praktycznego zastosowania
Metody zwiększające obciążenie poznawcze	- Relatywnie wysoka skuteczność - Dobrze ugruntowane teoretycznie - Możliwość stosowania w praktyce	- Konieczność przeszkolenia osoby prowadzącej wywiad - Brak możliwości zastosowania „wstecz” (dla danych zebranych bez zastosowania tej metody)
Strategiczne użycie dowodów	- Wysoka skuteczność - Możliwość stosowania w praktyce	- Wymaga posiadania dowodów - Wymaga przeszkolenia - Brak możliwości zastosowania „wstecz”

Literatura cytowana

- Aamodt, M. G., Custer, H. (2006). Who can best catch a liar? A meta-analysis of individual differences in detecting deception. *The Forensic Examiner*, 15(1), 6–11.
- Albrechtsen, J. S., Meissner, C. A., Susa, K. J. (2009). Can intuition improve deception detection performance? *Journal of Experimental Social Psychology*, 45(4), 1052–1055. <https://doi.org/10.1016/j.jesp.2009.05.017>
- Bogaard, G., Meijer, E. H. (2018). Self-reported beliefs about verbal cues correlate with deception-detection performance: Beliefs correlate with lie-detection performance. *Applied Cognitive Psychology*, 32(1), 129–137. <https://doi.org/10.1002/acp.3378>
- Bogaard, G., Meijer, E. H., Vrij, A., Merckelbach, H. (2016). Strong, but wrong: Lay people's and police officers' beliefs about verbal and nonverbal cues to deception. *PLoS ONE*, 11(6), e0156615. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156615>
- Bond, C. F., DePaulo, B. M. (2006). Accuracy of deception judgments. *Personality and Social Psychology Review*, 10(3), 214–234. https://doi.org/10.1207/s15327957pspr1003_2
- Bond, C. F., Levine, T. R., Hartwig, M. (2015). New findings in non-verbal lie detection. W: P. A. Granhag, A. Vrij, B. Verschuere (red.), *Detecting deception* (s. 38–58). Chichester: Wiley Blackwell.
- Clemens, F., Granhag, P. A., Strömwall, L. A. (2011). Eliciting cues to false intent: A new application of strategic interviewing. *Law and Human Behavior*, 35(6), 512–522. <https://doi.org/10.1007/s10979-010-9258-9>
- DePaulo, B. M., Charlton, K., Cooper, H., Lindsay, J. J., Muhlenbruck, L. (1997). The accuracy-confidence correlation in the detection of deception. *Personality and Social Psychology Review*, 1(4), 346–357. https://doi.org/10.1207/s15327957pspr0104_5
- DePaulo, B. M., Lindsay, J. J., Malone, B. E., Muhlenbruck, L., Charlton, K., Cooper, H. (2003). Cues to deception. *Psychological Bulletin*, 129(1), 74–118. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.129.1.74>
- DePaulo, B. M., Morris, W. L. (2004). Discerning lies from truths: Behavioral cues to deception and the indirect pathway of intuition. W: P. A. Granhag, L. A. Strömwall (red.), *The detection of deception in forensic contexts* (s. 15–41). Cambridge: Cambridge University Press.
- DePaulo, B. M., Rosenthal, R. (1979). Telling lies. *Journal of Personality and Social Psychology*, 37(10), 1713–1722. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.37.10.1713>
- DePaulo, B. M., Rosenthal, R., Green, C. R., Rosenkrantz, J. (1982). Diagnosing deceptive and mixed messages from verbal and nonverbal cues. *Journal of Experimental Social Psychology*, 18(5), 433–446. [https://doi.org/10.1016/0022-1031\(82\)90064-6](https://doi.org/10.1016/0022-1031(82)90064-6)

- Evanoff, C., Porter, S., Black, P. J. (2016). Video killed the radio star? The influence of presentation modality on detecting high-stakes, emotional lies. *Legal and Criminological Psychology*, 21(2), 332–343. <https://doi.org/10.1111/lcrp.12064>
- Ganis, G. (2015). Deception detection using neuroimaging. W: P. A. Granhag, A. Vrij, B. Verschuere (red.), *Detecting deception* (s. 105–121). Chichester: Wiley Blackwell.
- Granhag, P. A. (2006). Rethinking implicit lie detection. *The Journal of Credibility Assessment and Witness Psychology*, 7, 180–190.
- Hartwig, M., Bond, C. F. (2011). Why do lie-catchers fail? A lens model meta-analysis of human lie judgments. *Psychological Bulletin*, 137(4), 643–659. <https://doi.org/10.1037/a0023589>
- Hartwig, M., Bond, C. F. (2014). Lie detection from multiple cues: A meta-analysis. *Applied Cognitive Psychology*, 28(5), 661–676. <https://doi.org/10.1002/acp.3052>
- Hartwig, M., Granhag, P. A., Strömwall, L. A., Kronkvist, O. (2006). Strategic use of evidence during police interviews: When training to detect deception works. *Law and Human Behavior*, 30(5), 603–619. <https://doi.org/10.1007/s10979-006-9053-9>
- Hurd, K., Noller, P. (1988). Decoding deception: A look at the process. *Journal of Nonverbal Behaviour*, 12(3), 217–233. <https://doi.org/10.1007/BF00987489>
- Iacono, W. G. (2015). Forensic application of event-related brain potentials to detect guilty knowledge. W: P. A. Granhag, A. Vrij, B. Verschuere (red.), *Detecting deception* (s. 81–104). Chichester: Wiley Blackwell.
- Jung, K.-H., Lee, J.-H. (2012). Cognitive and emotional correlates of different types of deception. *Social Behavior and Personality: An International Journal*, 40(4), 575–584. <https://doi.org/10.2224/sbp.2012.40.4.575>
- Klaver, J., Lee, Z., Spidel, A., Hart, S. D. (2009). Psychopathy and deception detection using indirect measures. *Legal and Criminological Psychology*, 14(1), 171–182. <https://doi.org/10.1348/135532508X289964>
- Landström, S., Granhag, P. A., Hartwig, M. (2005). Witnesses appearing live versus on video: Effects on observers' perception, veracity assessments and memory. *Applied Cognitive Psychology*, 19(7), 913–933. <https://doi.org/10.1002/acp.1131>
- Landström, S., Granhag, P. A., Hartwig, M. (2007). Children's live and videotaped testimonies: How presentation mode affects observers' perception, assessment and memory. *Legal and Criminological Psychology*, 12(2), 333–348. <https://doi.org/10.1348/135532506X133607>
- Levine, T. R. (2019). Five reasons why I am skeptical that indirect or unconscious lie detection is superior to direct deception detection. *Frontiers in Psychology*, 10, 1354. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01354>
- Meijer, E. H., Verschuere, B. (2015). The polygraph: Current practice and new approaches. W: P. A. Granhag, A. Vrij, B. Verschuere (red.), *Detecting deception* (s. 59–80). Chichester: Wiley Blackwell.

- Porter, S., ten Brinke, L. (2009). Dangerous decisions: A theoretical framework for understanding how judges assess credibility in the courtroom. *Legal and Criminological Psychology*, 14(1), 119–134. <https://doi.org/0.1348/135532508X281520>
- Reinhard, M.-A., Greifeneder, R., Scharmach, M. (2013). Unconscious processes improve lie detection. *Journal of Personality and Social Psychology*, 105(5), 721–739. <https://doi.org/10.1037/a0034352>
- Reinhard, M.-A., Scharmach, M., Müller, P. (2013). It's not what you are, it's what you know: Experience, beliefs, and the detection of deception in employment interviews. *Journal of Applied Social Psychology*, 43(3), 467–479. <https://doi.org/10.1111/j.1559-1816.2013.01011.x>
- Sporer, S. L., Masip, J. (2012). *Indirect vs. direct measures to detect deception: A cross-national comparison*. Poster na AP-LS Conference/5th International Congress of Psychology and Law, San Juan, Puerto Rico.
- Street, C. N. H., Bischof, W. F., Vadillo, M. A., Kingstone, A. (2016). Inferring others' hidden thoughts: Smart guesses in a low diagnostic world. *Journal of Behavioral Decision Making*, 29(5), 539–549. <https://doi.org/10.1002/bdm.1904>
- Street, C. N. H., Richardson, D. C. (2015). The focal account: Indirect lie detection need not access unconscious, implicit knowledge. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 21(4), 342–355. <https://doi.org/10.1037/xap0000058>
- Street, C. N. H., Vadillo, M. A. (2016). Can the unconscious boost lie-detection accuracy? *Current Directions in Psychological Science*, 25(4), 246–250. <https://doi.org/10.1177/0963721416656348>
- Strömwall, L. A., Granhag, P. A. (2003). How to detect deception? Arresting the beliefs of police officers, prosecutors and judges. *Psychology, Crime & Law*, 9(1), 19–36. <https://doi.org/10.1080/10683160308138>
- ten Brinke, L., Stimson, D., Carney, D. R. (2014). Some evidence for unconscious lie detection. *Psychological Science*, 25(5), 1098–1105. <https://doi.org/10.1177/0956797614524421>
- The Global Deception Research Team. (2006). A world of lies. *Journal of Cross-Cultural Psychology*, 37(1), 60–74. <https://doi.org/10.1177/0022022105282295>
- Ulatowska, J. (2009). Knowledge of cues to deception – looking for its determinants. *Problems of Forensic Sciences*, 80, 411–428.
- Ulatowska, J. (2010). The influence of providing the context of the assessment on the accuracy of the indirect method of deception detection. *Problems of Forensic Sciences*, 84, 380–391.
- Ulatowska, J. (2011). The relation between knowledge of cues to deception and the ability to detect deceit. *Problems of Forensic Sciences*, 85, 50–63.
- Ulatowska, J. (2013). Indicators of deception in different lie scenarios. *Annals of Psychology*, 16, 127–146.

- Ulatowska, J. (2014). Different questions – different accuracy? The accuracy of various indirect question types in deception detection. *Psychiatry, Psychology and Law*, 21(2), 231–240. <https://doi.org/10.1080/13218719.2013.803278>
- Ulatowska, J. (2017). Teachers' beliefs about cues to deception and the ability to detect deceit. *Educational Psychology*, 37(3), 251–260. <https://doi.org/10.1080/01443410.2016.1231297>
- Ulatowska, J. (2018). Accuracy of indirect method in detection of false intent. *Legal and Criminological Psychology*, 23(1), 24–36. <https://doi.org/10.1111/lcrp.12116>
- Ulatowska, J., Dobrzyńska, M. (2015, sierpień). *Eye tracking as indirect method of deception detection*. Referat na Decepticon: International Conference on Deceptive Behavior, Cambridge, Wielka Brytania.
- Verschuere, B., Köbis, N. C., Bereby-Meyer, Y., Rand, D., Shalvi, S. (2018). Taxing the brain to uncover lying? Meta-analyzing the effect of imposing cognitive load on the reaction-time costs of lying. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, 7(3), 462–469. <https://doi.org/10.1016/j.jarmac.2018.04.005>
- Verschuere, B., Meijer, E., Vrij, A. (2016). Increasing pressure does not benefit lie detection: A reply to ten Brinke et al. (2015). *Psychology, Crime & Law*, 22(9), 915–920. <https://doi.org/10.1080/1068316X.2016.1202249>
- Vrij, A. (2008). *Detecting lies and deceit: Pitfalls and opportunities*. Chichester: Wiley.
- Vrij, A. (2015a). Verbal lie detection tools: Statement validity analysis, reality monitoring and scientific content analysis. W: P. A. Granhag, A. Vrij, B. Verschuere (red.), *Detecting deception* (s. 3–36). Chichester: Wiley Blackwell.
- Vrij, A. (2015b). A cognitive approach to lie detection. W: P. A. Granhag, A. Vrij, B. Verschuere (red.), *Detecting deception* (s. 205–229). Chichester: Wiley Blackwell.
- Vrij, A., Edward, K., Bull, R. (2001). Police officers' ability to detect deceit: The benefit of indirect deception detection measures. *Legal and Criminological Psychology*, 6(2), 185–196. <https://doi.org/10.1348/135532501168271>
- Vrij, A., Fisher, R. P., Blank, H. (2017). A cognitive approach to lie detection: A meta-analysis. *Legal and Criminological Psychology*, 22(1), 1–21. <https://doi.org/10.1111/lcrp.12088>
- Zuckerman, M., DePaulo, B. M., Rosenthal, R. (1981). Verbal and nonverbal communication of deception. W: L. Berkowitz (red.), *Advances in experimental social psychology*, t. 14 (s. 1–59). Nowy Jork: Academic Press.

ŁUKASZ ROLAND MICIUK¹,
MONIKA MARIA DUBAS-MICIUK²

¹Instytut Psychologii, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

²Instytut Psychologii, Katolicki Uniwersytet Lubelski Jana Pawła II

Analiza powierzchni odpowiedzi (*response surface analysis*) w badaniach psychologicznych

Sposób cytowania: Miciuk, Ł. R., Dubas-Miciuk, M. M. (2020). Analiza powierzchni odpowiedzi (*response surface analysis*) w badaniach psychologicznych. W: M. Trojan, M. Gut (red.), *Nowe technologie i metody w psychologii* (s. 411–429). Warszawa: Liberi Libri. <https://doi.org/10.47943/lib.9788363487430.rozdzial19>

Wprowadzenie

Im większa rozbieżność między tym, jaka osoba jest, a tym, jaka chciałaby być, tym wyższy poziom odczuwanych przez nią emocji depresyjnych. Z kolei im większa rozbieżność między tym, jaka osoba jest, a tym, jaka powinna być, w tym większym stopniu odczuwa lęk. Psycholog orientujący się w poznawczej psychologii osobowości doskonale zna te postulaty – zostały sformułowane na gruncie klasycznej teorii rozbieżności Ja Higginsa (Higgins, Klein, Strauman, 1985; zob. też: Bąk, 2002) i potwierdzone w badaniach naukowych, które dostarczyły prostych, eleganckich wyników (Higgins, 1987). Czasami jednak rzeczywistość jest nieco bardziej skomplikowana.

Psychologowie są w coraz większym stopniu świadomi, że związki między badanymi przez nich zmiennymi często nie są prostoliniowe, nawet jeśli istotne współczynniki korelacji wydają się potwierdzać myślenie, że gdy poziom jednej zmiennej rośnie, to poziom drugiej zmiennej również rośnie (lub maleje). Co więcej, brak prostoliniowości nie musi automatycznie oznaczać klasycznego związku krzywoliniowego (tj. wykreślonego w przestrzeni dwuwymiarowej). Skąd zatem wiadomo, z jakiego rodzaju związkiem mamy do czynienia? Znalezienie odpowiedzi na to pytanie dopiero na etapie analiz zebranych danych nie będzie w pełni satysfakcjonujące. Wiedza na ten temat jest przecież niezbędna do formułowania niepowierzchownych, dobrze przemyślanych hipotez, uwzględniających złożoność psychologicznych problemów badawczych. Problem ten w sposób szczególny dotyczy postulowanych związków między (nie)podobnymi wartościami dwóch zmiennych a nasileniem trzeciej zmiennej.

Do poradzenia sobie z zarysowanym wyżej problemem pomocna będzie metoda statystyczna nazywana analizą powierzchni odpowiedzi (Humberg, Nestler, Back, 2019). Aby jednak lepiej wyjaśnić jej ideę i zastosowania, będziemy się do niej zbliżać stopniowo, wychodząc od rozważenia kilku poglądowych przykładów takich problemów badawczych, które dotyczą rzeczywistości nieco bardziej złożonej, niż mogłoby się wydawać na pierwszy rzut oka.

Pierwszy poglądowy problem badawczy.

Konsekwencje zamiłowania do porządku we wspólnym mieszkaniu

Rozważmy hipotezę: „Im większa zgodność charakterów współlokatorów w zakresie zamiłowania do porządku, tym mniejsza liczba uwag na temat

sprzątania wypowiedzianych w ich mieszkaniu”. Wynikające z niej hipotezy szczegółowe mogłyby brzmieć:

- A) W mieszkaniu pedanta i bałaganiarza uwagi padają często.
- B) W mieszkaniu dwóch pedantów uwagi padają rzadko.
- C) W mieszkaniu dwóch bałaganiarzy uwagi również padają rzadko.

Hipotezy te można uzasadnić na przykład:

- spodziewanymi reprimendami formułowanymi przez pedanta pod adresem bałaganiarza (hipoteza 1);
- idealnym porządkiem panującym w mieszkaniu sprzątanym przez dwóch pedantów, który minimalizuje konieczność wypowiadania uwag o potrzebie utrzymywania czystości (hipoteza 2);
- obustronną zgodą na życie w nieposprzętym mieszkaniu, które dwóm bałaganiarzom nie przeszkadza (hipoteza 3).

Jeśli tak jest w istocie i wszystkie powyższe hipotezy są trafne, mamy najpewniej do czynienia z negatywnym związkiem prostoliniowym: poziom jednej zmiennej (liczba uwag na temat sprzątania) maleje wraz ze wzrostem drugiej zmiennej (zgodność charakterów w zakresie pedantyzmu). Ale co jeśli się okaże, że hipoteza 3 była błędna i że dwaj bałaganiarze ciągle kłócą się o to, który z nich ma w końcu odkurzyć mieszkanie? Wówczas jeden rodzaj zgodności charakterów (bałaganiarz + bałaganiarz) będzie wiązał się z wysoką, a drugi (pedant + pedant) z niską częstotliwością uwag na temat sprzątania. Gdyby tak było, rozważaną hipotezę należałoby uznać nie tyle za niepotwierdzoną, co wręcz za niewłaściwie postawioną. Z jakim związkiem między zmiennymi mielibyśmy wtedy do czynienia?

Drugi poglądowy problem badawczy.

Częstotliwość zabierania głosu na zebraniach

Zastanówmy się: „Jak zgodność między błyskotliwością pracowników ocenianą przez nich samych i tą w ocenie ich szefów wiąże się z częstotliwością zabierania przez pracowników głosu na zebraniach?”. Tabela 1 zawiera hipotetyczne możliwe odpowiedzi na to pytanie. Możemy postulować, że człowiek, który wprawdzie uważa się za błyskotliwego, ale dostawał od szefa liczne dowody deprecjonowania jego pomysłów, nauczył się zabierać głos *rzadko*, jedynie w najważniejszych dla niego sprawach. Z kolei pracownik niemający o sobie najlepszego zdania, ale ceniony przez szefa, może być przez niego *cza-*

sami „wyciągany do odpowiedzi”. O ile spodziewaną częstotliwość zabierania głosu w przypadku rozbieżnych opinii na temat błyskotliwości można ogólnie określić jako umiarkowaną (*czasami i rzadko*), o tyle postulowane konsekwencje zgodnych opinii są już zupełnie do siebie niepodobne: niepoważany pracownik o niskiej samoocenie prawdopodobnie rezygnuje i nie odzywa się *nigdy*, a ceniony zarówno przez siebie, jak i przez szefa *często* zabiera głos, bo ma poczucie, że może wiele wnieść do dyskusji. Jak zbudować model matematyczny, który pozwoli nam uwzględnić wszystkie te zależności jednocześnie?

Tabela 1

Hipotetyczne związki między błyskotliwością pracownika postrzeganą przez niego samego oraz jego szefa a zabieraniem przez pracownika głosu na zebraniach

Błyskotliwość pracownika		Częstotliwość zabierania przez pracownika głosu na zebraniach
w jego własnej opinii	w opinii jego szefa	
Tak	Tak	Często
Tak	Nie	Rzadko
Nie	Tak	Czasami
Nie	Nie	Nigdy

Trzeci poglądowy problem badawczy. Towarzyskość małżonków a imprezowanie

Jeśli zadamy pytanie: „Jak występująca u małżonków (ro)zbieżność w zakresie towarzyskości przekłada się na częstotliwość chodzenia przez nich na imprezy?”, częstotliwość imprezowania będzie zmienną wyjaśnianą, zaś poziomy towarzyskości męża i żony – dwoma predyktorami. Hipotetyczne związki między tymi zmiennymi przedstawia tabela 2 i można je podsumować w następujący sposób. Jeśli oboje małżonkowie są wysoce towarzyscy, chodzą na imprezy najczęściej (np. 9 razy na kwartał), a jeśli oboje cechują się niską towarzyskością – wcale. Z identycznymi częstotliwościami imprezowania (tj. 9 razy na kwartał lub wcale) mamy do czynienia wówczas, gdy mąż cechuje się średnim, a żona odpowiednio: wysokim lub niskim poziomem towarzyskości. Jeśli żona ma wysoki, a mąż niski poziom towarzyskości, imprezują 6 razy na kwartał, zaś jeśli jest odwrotnie – zaledwie 2 razy. Wreszcie, jeśli żona cechuje się średnim poziomem towarzyskości, małżonkowie chodzą na

imprezy 4 razy na kwartał, niezależnie od tego, czy mąż ma niski, średni, czy wysoki poziom towarzyskości.

Gdyby tak w istocie wyglądały wyniki badań, mogłoby to oznaczać, że mężowie, pragnąc być dżentelmenami i zapewnić jak najwięcej komfortu swoim żonom, w większym stopniu dostosowują się do ich potrzeb. Przykładowo mogą dawać się częściej wyciągać na imprezy (jeśli są mniej towarzyscy od żon) albo chodzić na nie rzadziej (jeśli są bardziej towarzyscy od żon). A może rzeczywistość przedstawia się zupełnie odwrotnie i to żony bardziej ulegają mężom? Jak widać na tym przykładzie, ważna może okazać się nie tylko wielkość rozbieżności między predyktorami, ale również natura rozbieżności, tj. który konkretnie predyktor przyjmuje wyższe wartości, a który niższe.

Tabela 2

Hipotetyczne związki między (nie)zgodnością małżonków w zakresie towarzyskości a wspólnym chodzeniem na imprezy

Towarzyskość		Wspólne chodzenie na imprezy (liczba imprez na kwartał)
Żony	Męża	
Niska	Wysoka	2
Niska	Średnia	0
Niska	Niska	0
Średnia	Wysoka	4
Średnia	Średnia	4
Średnia	Niska	4
Wysoka	Wysoka	9
Wysoka	Średnia	9
Wysoka	Niska	6

Przeznaczenie analizy powierzchni odpowiedzi (RSA)

Analiza powierzchni odpowiedzi (*response surface analysis*, RSA) to metoda statystyczna umożliwiająca udzielenie odpowiedzi na pytania o to, jak (nie) zgodność predyktorów wiąże się ze zmienną wyjaśnianą (Humbert i in., 2019). Metoda RSA nie ogranicza się jednak do odpowiedzi na pytanie, czy wraz ze

wzrostem/spadkiem (nie)zgodności dwóch zmiennych rośnie/maleje poziom zmiennej wyjaśnianej. Pozwala także na określenie, *w jaki sposób* wszystkie możliwe kombinacje dwóch predyktorów wiążą się ze zmienną wyjaśnianą, tj. czy pewne rodzaje zgodności/rozbieżności są „lepsze”/„gorsze” od pozostałych (Barranti, Carlson, Cote, 2017). Umożliwia ponadto modelowanie otrzymanych wyników w przestrzeni trójwymiarowej, co ułatwia ich zrozumienie i interpretację (Schönbrodt, 2018). Najpierw należy jednak właściwie zaplanować badania i odpowiednio przygotować dane do analiz.

Specyfika danych, na jakich wolno przeprowadzać RSA

Przed przeprowadzeniem RSA należy się upewnić, czy zebrane dane odpowiadają stawianym im wymaganiom. Po pierwsze, dane muszą spełniać założenia regresji wielomianowej (por. Shanock, Baran, Gentry, Pattison, Heggstad, 2010). Po drugie, dwa predyktory powinny mieć wspólny sens psychologiczny, gdyż tylko wtedy będzie można mówić o zgodności lub rozbieżności między nimi. Przykładowo, można mówić o (ro)zbieżności partnerów w zakresie cechy neurotyczności, ale pytanie o zgodność opinii osoby A na temat stosowania kary śmierci z opinią osoby B na temat używania plastikowych toreb na zakupy wydaje się pozbawione logiki i sensu, tj. nie wiadomo, na czym taka zgodność opinii miałaby polegać i co miałyby oznaczać¹. Po trzecie, oba predyktory powinny być mierzone na takiej samej, niestandardyzowanej skali. W przeciwnym razie jednostka miary w jednym predyktorze może mieć inne znaczenie niż pozornie identyczna jednostka w drugim predyktorze, prowadząc do fałszywych wyników RSA. Z tego powodu, odwołując się do powyższego przykładu, neurotyczności nie wolno mierzyć u jednego małżonka np. za pomocą kwestionariusza NEO-FFI (Zawadzki, Strelau, Szczepaniak, Śliwińska, 1998), a u drugiego np. za pomocą inwentarza NEO-PI-R (Siuta, 2006), gdyż

¹ Z drugiej strony, wydaje się, że wiele zależy od hipotezy badawczej. Przykładowo, jeśli postulujemy że wzajemne dopasowanie ugodowości żony i neurotyczności męża pozwala wyjaśnić poziom satysfakcji ze związku, odmienny sens psychologiczny predyktorów nie jest wystarczającym powodem do rezygnacji z RSA (por. Milatz, Lüftenegger, Schober, 2015), zwłaszcza że na dużym poziomie ogólności sens psychologiczny neurotyczności i ugodowości jest zbliżony (jedno i drugie to cecha osobowości). Podobnie, jeśli postulujemy np. że (ro)zbieżność (dez)aprobaty wobec kary śmierci i plastikowych toreb (u jednej osoby) pozwala nam coś wyjaśnić, również możemy rozważyć użycie RSA w naszych analizach.

wariancja i rozpiętość możliwych do uzyskania wyników jest różna w przypadku obu tych metod. Zmienna wyjaśniana może być natomiast mierzona na takiej samej skali jak predyktory lub na dowolnej innej (Barranti i in., 2017).

Odwołując się do pojęcia mocy testu (Abserson, 2010; zob. też: Sosnowski, Jarmakowska-Kostrzanowska, w tym tomie), im silniejszy związek (ro)zbieżności predyktorów ze zmienną wyjaśnianą, tym mniejsza wymagana liczebność badanej próby. I tak, zgodnie z opracowanymi wytycznymi (Faul, Erdfelder, Buchner, Lang, 2009), trzeba dysponować 36 obserwacjami, aby z prawdopodobieństwem 80% wykryć w RSA duże efekty ($f^2 = 0,35$), 77 obserwacjami, aby wykryć efekty średnie ($f^2 = 0,15$) albo 550 obserwacjami, aby wykryć małe efekty ($f^2 = 0,02$). Wymienione liczebności umożliwiają wykrycie zmiany R^2 w drugim kroku regresji stanowiącej jeden z pierwszych etapów RSA (por. niżej).

Etapy RSA

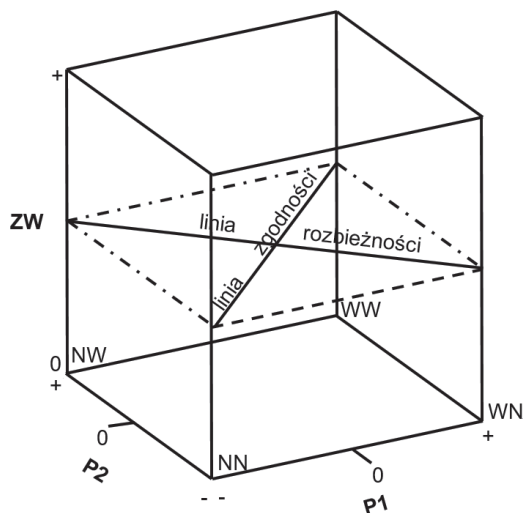
W ogólnym zarysie, RSA obejmuje trzy kroki: regresję wielomianową, generowanie powierzchni odpowiedzi w oparciu o jej wyniki oraz testowanie, czy (nie)zgodność predyktorów ma znaczenie (i jakie) dla osiąganych wartości zmiennej wyjaśnianej. Technikę RSA można przeprowadzić w bezpłatnym programie statystycznym R, wykorzystując opracowany w tym celu pakiet RSA (Schönbrodt, 2018). Barranti, Carlson i Cote (2017, materiały dodatkowe do artykułu) opracowali tzw. syntax (tj. kod w języku programowania R) wykorzystujący procedury zawarte w pakiecie RSA. Syntax ten należy najpierw dostosować do własnych potrzeb, tj. podstawić własną ścieżkę pliku danych oraz nazwy zmiennych i w razie potrzeby zmodyfikować wartości innych parametrów, zgodnie z precyzyjnymi wskazówkami zawartymi w komentarzach stanowiących integralną część syntaxu. Uruchomiony syntax sprawia, że program R wykonuje po kolei następujące zadania z wykorzystaniem pakietu RSA (Barranti i in., 2017; por. Humberg i in., 2019): (1) weryfikuje istnienie wśród zgromadzonych obserwacji przypadków zgodności i niezgodności predyktorów, (2) centruje predyktory (w celu ułatwienia interpretacji wyników) oraz (3) przeprowadza regresję krokową, w której w pierwszym kroku wariancja zmiennej wyjaśnianej jest tłumaczona przez efekty główne pierwszego i drugiego predyktora (P_1 , P_2), a w drugim kroku również przez ich kwadraty (P_1^2 , P_2^2) oraz interakcję ($P_1 \times P_2$).

Jeśli model regresji okazuje się istotny i w drugim kroku regresji dochodzi do zwiększenia ilości wyjaśnionej wariancji (R^2), program R kontynuuje pracę i w ostatnich krokach (4) generuje trójwymiarową powierzchnię odpowiedzi i (5) drukuje raport, którego najważniejszymi elementami są: informacja na temat tego, czy model statystyczny jest istotny, wizualizacja przestrzeni odpowiedzi w przestrzeni trójwymiarowej (do wyboru: statyczna lub dynamiczna, tj. możliwa do dowolnego obracania za pomocą myszki komputera), a także wartości parametrów a_1 , a_2 , a_3 i a_4 , pozwalające na ocenę kształtu powierzchni odpowiedzi, a tym samym interpretację wyników (por. niżej).

Wizualizacja powierzchni odpowiedzi w oparciu o współczynniki liniowe

Rysunek 1 przedstawia trójwymiarowy układ współrzędnych, w który można wrysować powierzchnię odpowiedzi. Jak widać, predyktory P1 i P2 są wycentrowane (0) w środku skali. Linie zgodności (*line of congruence*) wyznaczają takie obserwacje, w przypadku których wartości P1 i P2 są identyczne. Z kolei linia rozbieżności (*line of incongruence*) wyznaczana jest w oparciu o obserwacje, w których wartości P1 są przeciwieństwami P2. W punktach WW i NN występuje zgodność predyktorów, jednak w pierwszym przypadku oba przyjmują najwyższe, a w drugim najniższe wartości. W punktach WN i NW widzimy rozbieżność między predyktorami, przy czym w punkcie WN predyktor P1 przyjmuje najwyższą, a P2 najniższą wartość, zaś w punkcie NW jest odwrotnie. Powierzchnia odpowiedzi byłaby więc tutaj wyznaczana przez wartości zmiennej wyjaśnianej (ZW) odpowiadające wszystkim istniejącym kombinacjom predyktorów.

Linia zgodności i linia rozbieżności odgrywają kluczową rolę w interpretacji wyników RSA. Kształt obu linii (a konkretnie ich nachylenie i krzywiznę) wyznaczają cztery współczynniki (a_1 , a_2 , a_3 i a_4) wyliczane przy pomocy pakietu RSA w R (Schönbrodt, 2018) na podstawie niestandardyzowanych współczynników b w analizie regresji (więcej szczegółów na ten temat można znaleźć m.in. w opracowaniu: Barranti i in., 2017). W tabeli 3 opisano zwięźle znaczenie każdego współczynnika. Należy pamiętać, że interpretacji podlegają wyłącznie współczynniki istotne statystycznie.



Rysunek 1. Przestrzeń trójwymiarowa, w której wykreśla się powierzchnię odpowiedzi (opracowanie własne na podstawie: Barranti i in., 2017). ZW – zmienna wyjaśniana; P1 – pierwszy predyktor; P2 – drugi predyktor; WW – zgodność predyktorów (gdy oba przyjmują najwyższe wartości skali); NN – zgodność predyktorów (gdy oba przyjmują najniższe wartości skali); WN – rozbieżność predyktorów (gdy P1 przyjmuje najwyższą, a P2 najniższą wartość); NW – rozbieżność predyktorów (gdy P1 przyjmuje najniższą, a P2 najwyższą wartość).

Tabela 3

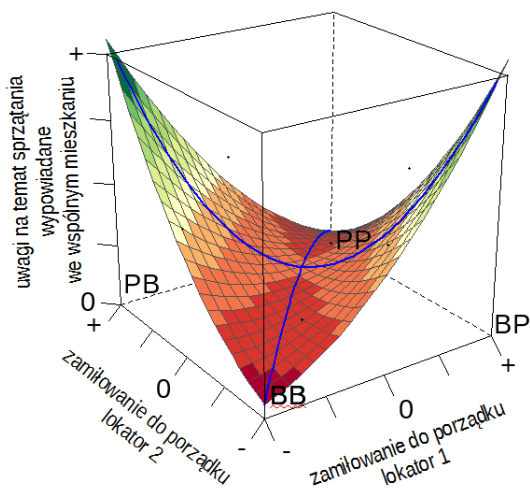
Zasady interpretacji istotnych statystycznie współczynników $a1$ – $a4$ w RSA

Współczynnik	(+)	(-)
	ZW przyjmuje wyższe wartości ...	
Linia zgodności		
a1 (nachylenie)	... gdy P1 i P2 uzyskują zgodność w górnym wartościach skali (niż gdy uzyskują zgodność w dolnych wartościach skali)	... gdy P1 i P2 uzyskują zgodność w dolnych wartościach skali (niż gdy uzyskują zgodność w górnym wartościach skali)
a2 (krzywizna)	... jeśli P1 i P2 uzyskują zgodność bliżej krańców skali	... jeśli P1 i P2 uzyskują zgodność bliżej śroдка (0) skali
Linia rozbieżności		
a3 (nachylenie)	... jeśli wartości P1 są większe niż wartości P2	... jeśli wartości P1 są mniejsze niż wartości P2
a4 (krzywizna)	... im większa jest różnica między wartościami P1 a wartościami P2	... im mniejsza jest różnica między wartościami P1 a wartościami P2

Adnotacja. Opracowanie własne na podstawie: Barranti i in., 2017; (+) – pozytywna wartość współczynnika, (-) – negatywna wartość współczynnika, ZW – zmienna wyjaśniana, P1 – pierwszy predyktor, P2 – drugi predyktor.

Demonstracja i interpretacja przykładowych wyników RSA w nawiązaniu do poglądowych problemów badawczych

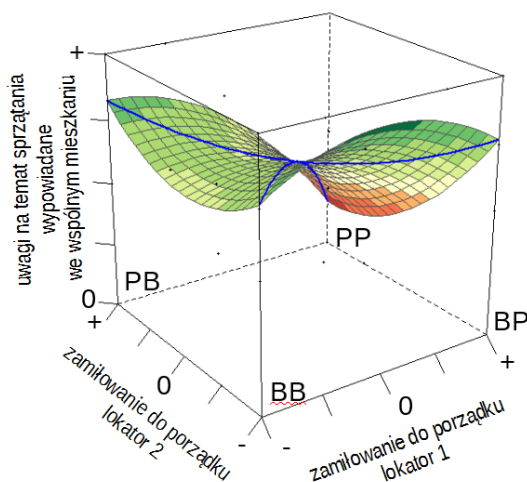
Rysunki 2, 3, 4 i 5 ilustrują związki postulowane w opisach trzech poglądowych problemów badawczych (w razie potrzeby, czytelnik proszony jest o przypomnienie ich sobie, wracając do wcześniejszych sekcji niniejszego rozdziału), tj. przedstawiają powierzchnie odpowiedzi wykreślone na podstawie danych symulowanych (zgodnych z hipotezami). Przystępując do analizy i interpretacji tych rysunków, warto zwrócić uwagę, że im bardziej zielony/czerwony kolor powierzchni odpowiedzi, tym wyższe/nizsze wartości przyjmuje zmienna wyjaśniana.



Rysunek 2. Wizualizacja powierzchni odpowiedzi na danych symulowanych (pierwszy poglądowy problem badawczy – pierwszy hipotetyczny wariant). Skrajne konfiguracje lokatorów: BB (bałaganiarz + bałaganiarz), PP (pedant + pedant), BP (bałaganiarz + pedant), PB (pedant + bałaganiarz). Istotne współczynniki: a_2^- (negatywna krzywizna linii zgodności), a_4^+ (pozytywna krzywizna linii rozbieżności).

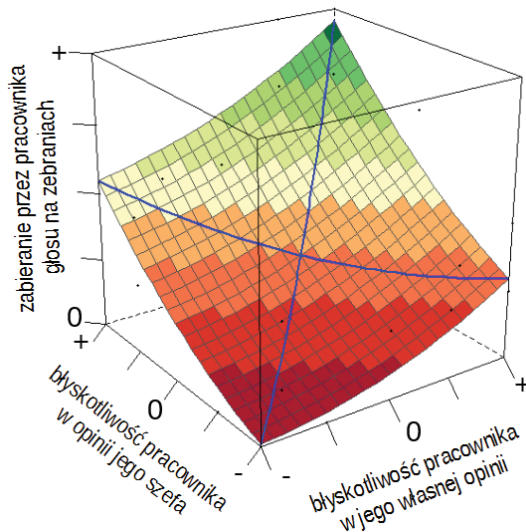
Rysunek 2 odnosi się do pierwszego poglądowego problemu badawczego (por. podrozdział *Pierwszy poglądowy problem badawczy...*), dotyczącego zamiłowania do porządku u dwóch współlokatorów. Linia rozbieżności rozciąga się od punktu wyznaczającego liczbę uwag na temat sprzątania wypowiedzianych w mieszkaniu lokatorów o konfiguracji BP (lokator 1: bałaganiarz, lokator

2: pedant) do punktu wyznaczającego liczbę uwag na temat sprzątanía wypowiedzianych w mieszkaniu lokatorów o konfiguracji PB (lokator 1: pedant, lokator 2: bałaganiarz). Krańcami linii zgodności są punkty wyznaczające liczbę uwag na temat sprzątanía wypowiedzianych odpowiednio: w mieszkaniu dwóch bałaganiarzy (konfiguracja BB) i dwóch pedantów (konfiguracja PP). Na rysunku 1 można z łatwością zaobserwować wniosek płynący z pozytywnego współczynnika określającego krzywiznę linii rozbieżności (a4+): im większa różnica między zamiłowaniem do porządku obu lokatorów (skrajne konfiguracje: BP i PB), tym więcej uwag na temat sprzątanía wypowiada się w ich wspólnym mieszkaniu. Z kolei im większa zgodność obu lokatorów w zakresie zamiłowania do porządku (skrajne konfiguracje: BB i PP), tym mniej uwag na temat sprzątanía wypowiada się w ich mieszkaniu. Ten drugi wniosek płynie z negatywnego współczynnika określającego krzywiznę linii zgodności (a2-): uwag na temat sprzątanía jest więcej, jeśli lokatorzy uzyskują zgodność w zakresie zamiłowania do porządku bliżej środka skali (czyli obaj są przeciętnie bałaganiarscy/pedantyczni), niż gdy uzyskują zgodność bliżej krańców skali (tj. obaj są bałaganiarzami lub pedantami).



Rysunek 3. Wizualizacja powierzchni odpowiedzi na danych symulowanych (pierwszy poglądowy problem badawczy – drugi hipotetyczny wariant). Skrajne konfiguracje lokatorów: BB (bałaganiarz + bałaganiarz), PP (pedant + pedant), BP (bałaganiarz + pedant), PB (pedant + bałaganiarz). Istotne współczynniki: a1- (negatywne nachylenie linii zgodności), a4+ (pozytywna krzywizna linii rozbieżności).

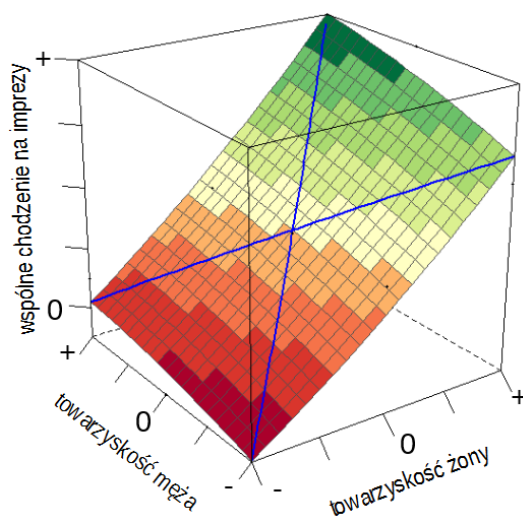
W opisie pierwszego pogładowego problemu badawczego znajduje się alternatywna hipoteza, zgodnie z którą dwaj bałaganiarze ciągle kłócą się o to, który z nich ma posprzątać mieszkanie (podczas gdy dwaj pedanci nie czynią sobie uwag na temat sprzątania, bo obaj dbają o idealną czystość). Taki wariant ilustruje rysunek 3. Negatywne nachylenie linii zgodności ($a1-$) oznacza, że uwag na temat sprzątania jest więcej, jeśli lokatorzy uzyskują zgodność w zakresie zamiłowania do sprzątania w dolnych wartościach skali (tj. bliżej konfiguracji BB: dwaj bałaganiarze) niż w górnych wartościach skali (tj. bliżej konfiguracji PP: dwaj pedanci). Pociągnęło to za sobą osłabienie pozytywnego współczynnika $a4+$ (zauważmy, że linia rozbieżności na rysunku 3 ma podobną krzywiznę jak na rysunku 2, ale jest mniej wklęsła), który jednak pozostał istotny (innymi słowy, w dalszym ciągu im większa różnica między zamiłowaniem do porządku obu lokatorów, tym większa średnia liczba uwag na temat sprzątania wypowiedzanych w ich wspólnym mieszkaniu).



Rysunek 4. Wizualizacja powierzchni odpowiedzi na danych symulowanych (drugi pogładowy problem badawczy). Istotne współczynniki: $a1+$ (pozytywne nachylenie linii zgodności), $a3-$ (negatywne nachylenie linii rozbieżności).

Rysunek 4 dotyczy drugiego pogładowego problemu badawczego na temat częstotliwości zabierania głosu na zebraniach. Jak wynika z pozytywnego nachylenia linii zgodności ($a1+$), częstość zabierania przez pracownika głosu

na zebraniach jest wyższa w sytuacji, gdy opinie na temat błyskotliwości pracownika według niego samego oraz według jego szefa uzyskują zgodność w górnych wartościach skali (tj. błyskotliwość oceniana wysoko) niż w sytuacji, gdy zgodność uzyskiwana jest w dolnych wartościach skali (tj. błyskotliwość oceniana nisko). Z kolei negatywne nachylenie linii rozbieżności ($a3-$) oznacza, że częstotliwość zabierania głosu na zebraniach jest większa, gdy błyskotliwość pracownika w jego własnej opinii jest mniejsza (a nie większa) niż w opinii jego szefa (w razie potrzeby Czytelnik może wrócić do podrozdziału *Drugi poglądowy problem badawczy...*, aby przypomnieć sobie teoretyczne uzasadnienie takiej zależności).



Rysunek 5. Wizualizacja powierzchni odpowiedzi na danych symulowanych (trzeci poglądowy problem badawczy). Istotne współczynniki: $a1+$ (pozytywne nachylenie linii zgodności), $a3+$ (pozytywne nachylenie linii rozbieżności).

Rysunek 5 ilustruje związki między zmiennymi postulowane w trzecim poglądowym problemie badawczym, dotyczącym imprezowania małżonków cechujących się (nie)podobnym poziomem towarzyskości. Po pierwsze, pozytywne nachylenie linii zgodności ($a1+$) informuje nas, że wspólne wychodzenie małżonków na imprezy jest częstsze, gdy mąż i żona uzyskują zgodność w zakresie towarzyskości w górnych wartościach skali (czyli oboje są wysoce towarzyscy), niż gdy uzyskują zgodność w dolnych wartościach skali (czyli oboje są mało

towarzyscy). Po drugie, imprezowanie jest częstsze, jeśli towarzyskość żony jest większa niż towarzyskość męża (pozytywne nachylenie linii rozbieżności: a3+).

Tematyka badań psychologicznych wykorzystujących RSA

Walory analizy powierzchni odpowiedzi sprawiają, że jest ona coraz częściej stosowana w psychologicznych badaniach naukowych, choć wydaje się stosunkowo mało znana na gruncie polskiej psychologii. Tabela 4 zawiera krótki przegląd stawianych w psychologii pytań badawczych wykorzystujących RSA. Niżej przedstawiono najważniejsze wnioski, które udało się sformułować dzięki zastosowaniu tej metody analizy danych.

Tabela 4

Przykładowe wykorzystania RSA w różnych obszarach badań psychologicznych

Źródło	Pytanie badawcze	Obszar psychologii
Van Petegem, Antonietti, Eira Nunes, Kins, Soenens, 2019	Jaki jest związek zgodności/rozbieżności ocen nadopiekuńczości matki (w diadach: matka–nastolatek) z nieprzystosowaniem i frustracją potrzeb u młodzieży?	Wychowawcza
Human, Dirks, DeLongis, Chen, 2016	Jak przystosowanie adolescentów wiąże się z (ro)zbieżnością obrazu rodziny w oczach rodziców i adolescentów?	Rodziny
Franken, Laceulle, Van Aken, Ormel, 2017	Jak podobieństwo osobowości dzieci i rodziców przekłada się na eksternalizację problemów u dzieci?	Kliniczna
Cemalcilar, Baruh, Kezer, Kamiloglu, Nigdeli, 2018	Jak (ro)zbieżność cech osobowości dwojga ludzi wiąże się z postrzeganą atrakcyjnością interpersonalną?	Społeczna
Derrick, Britton, Baker, Haddad, 2018	W jaki sposób (ro)zbieżność oczekiwanego i otrzymywanego wsparcia wiąże się ze skutecznością walki z uzależnieniem od tytoniu?	Uzależnień
Lu, Liu, Chen, Long, 2017	Czy kultura organizacyjna może promować zachowania prośrodowiskowe, jeśli istnieją rozbieżności w zakresie wartości prośrodowiskowych u poszczególnych pracowników i tych promowanych w firmie?	Pracy i organizacji/środowiskowa
Quintus, Egloff, Wrzus, 2017	Jaki jest związek między obiektywną koncepcją siebie a potrzebą samodoskonalenia?	Osobowości
Barranti, Carlson, Furr, 2016	Czy rozbieżność opinii na temat moralności osoby wiąże się z kosztami interpersonalnymi?	Moralności

Na przykład badania nad konsekwencjami postrzeganej nadopiekuńczości matek (Van Petegem i in., 2019) dostarczyły wyników, których (bez „naginania” rzeczywistości) nie dałoby się wyrazić w postaci klasycznego związku prosto- lub krzywoliniowego. Z jednej strony, jeśli matki były postrzegane jako nadopiekuńcze zarówno przez siebie, jak i przez ich nastoletnie dzieci (zbieżność ocen), wiązało się to z wyższym niedostosowaniem społecznym oraz silniejszą frustracją potrzeb u nastolatków. Z drugiej, rozbieżność ocen (matka–nastolatek) w zakresie nadopiekuńczości matki wiązała się z większym natężeniem objawów eksternalizacyjnych oraz poczuciem splątania i braku autonomii u młodzieży. Jednocześnie efekt ten był wyraźnie silniejszy, jeśli nastolatki oceniały nadopiekuńczość matek wyżej niż matki oceniały ją u siebie. W innych badaniach, nad przystosowaniem młodzieży (Human i in., 2016), niższe przystosowanie adolescentów wiązało się zarówno ze zbieżnością predyktorów (gdy adolescenti i ich rodzice mieli negatywny obraz rodziny), jak i z rozbieżnością predyktorów (gdy adolescenti mieli bardziej negatywny obraz rodziny w porównaniu ze swoimi rodzicami). Badania Frankena i in. (2017) wykazały natomiast, że nasilenie objawów eksternalizacyjnych u dzieci w małym stopniu wiąże się z nielicznymi specyficznymi (ro)zbieżnościami w zakresie osobowości dzieci i rodziców. Zależy natomiast przede wszystkim od osobowości dzieci (jak widać, zaletą RSA może być czasami możliwość dowiedzenia, że [nie]zgodność predyktorów w rzeczywistości nie ma aż takiego znaczenia jak przewidywali badacze). W badaniach nad atrakcyjnością interpersonalną (Cemalcilar i in., 2018), badani z jednej strony jako bardziej atrakcyjnych postrzegali takich ludzi, których uważali za bardziej ugodowych, otwartych i sumiennych od nich samych. Z drugiej jednak – jeśli taka rozbieżność „na niekorzyść” badanego była zbyt duża (i w związku z tym, prawdopodobnie, zagrażająca dla samooceny), postrzegana atrakcyjność „lepszyc” osób spadała. Z kolei badania nad skutecznością walki z uzależnieniem (Derrick i in., 2018) dostarczyły interesujących wniosków na temat konsekwencji (nie)realistycznych oczekiwań. Gdy osoby rzucające palenie otrzymywały od bliskich osób wsparcie mniejsze od oczekiwanego, z większym prawdopodobieństwem i szybciej sięgały po papierosa (jak się można domyślić, efektu tego nie obserwowano, jeśli wsparcie było takie jak oczekiwane lub większe). W badaniach nad dopasowaniem osoby do środowiska (tzw. *person-environment fit*) stwierdzono, że im bardziej nasilenie organizacyjnych wartości prośrodowiskowych przewyższało nasilenie tych wartości u poszczególnych pracowników, tym bardziej pracownicy angażowali się w działania

prośrodowiskowe (Lu i in., 2017). Z kolei motywacja do samodoskonalenia okazała się tym silniejsza, im bardziej samoopisy badanych w zakresie eks-trawersji, ugodowości i sumienności pokrywały się z tym, jak zostali opisani w zakresie tych cech przez ich znajomych (Quintus i in., 2017). To sugeruje, że gotowość do zmiany siebie jest związana z obiektywnym postrzeganiem siebie. W jeszcze innym badaniu okazało się natomiast, że im lepiej badani oceniali swoją moralność w porównaniu z określającymi ich sędziami, tym mniej byli lubiani i poważani przez sędziów (Barranti i in., 2016).

Ogólnie więc, pytania stawiane w badaniach wykorzystujących RSA mogą dotyczyć m.in. związków interpersonalnych (zawodowych, romantycznych i innych), percepcji społecznej, trafności samowiedzy, dopasowania osoba-środowisko, porównań społecznych oraz wielu innych zagadnień z zakresu psychologii Ja, klinicznej, zdrowia, społecznej, środowiskowej, rodziny albo pracy (por. Edwards, Parry, 1993; Humberg i in., 2019; Humberg i in., 2018). Technika RSA może być przydatna wszędzie tam, gdzie interesuje nas związek (ro)zbieżności w zakresie dwóch predyktorów (opinii na dany temat, postrzeganych obrazów osoby, właściwości osoby/sytuacji itp.) z poziomem trzeciej zmiennej.

Podsumowanie

Czasami proste hipotezy badawcze dotyczące różnego rodzaju zgodności i rozbieżności trafnie opisują rzeczywistość psychologiczną. Przykładowo: im wyższe zaangażowanie osoby w aktywne poszukiwanie obiektywnych informacji na swój temat, tym większa zgodność między tym, jak sama siebie opisuje, a tym, jak opisują ją jej znajomi (Miciuk, w tym tomie). Mimo to, często mamy do czynienia z bardziej złożonymi relacjami między zmiennymi. Nawet gdy przyjrzymy się dokładniej sławnej teorii rozbieżności Ja Higginsa (1987), streszczonej na początku niniejszego rozdziału, okaże się, że dotyczy ona nie wszelkich rodzajów rozbieżności w strukturze Ja, lecz jedynie takich, gdzie poziom Ja idealnego/Ja powinnościowego jest wyższy (ale już nie niższy) niż poziom Ja realnego. Innymi słowy, teoria ta w istocie postuluje, że poziom emocji depresyjnych/lękowych jest tym wyższy, im *mniej* (ale nie *bardziej*) osoba jest taka, jaka chciałaby/powinna być. Badacze mogą rozwijać błędne teorie, jeśli będą postulować, że zgodność predyktorów wiąże się z wysokimi wartościami zmiennej wyjaśnianej, podczas gdy – przykładowo – pewne typy

zgodności mogą wiązać się z wyższymi wartościami, a inne z niższymi (Barranti i in., 2017). Analogicznie, teorie będą również błędne, jeśli założymy, że wszystkie rozbieżności między predyktorami wiążą się z niskimi wartościami zmiennej wyjaśnianej, podczas gdy niektóre rozbieżności mogą wiązać się z niższymi wartościami od pozostałych. Z tych powodów RSA wydaje się mieć przewagę nad alternatywnymi sposobami ujmowania związku (ro)zbieżności ze zmienną wyjaśnianą (np. nad moderowaną regresją, podejściem opartym na różnicach bezwzględnych lub resztach – Shanock i in., 2010; por. West, Kenny, 2011). Warto dodać, że RSA (dzięki dedykowanym pakietom w R) można przeprowadzać również m.in. na danych zagnieżdżonych (analizy wielopoziomowe – por. Nestler, Humberg, Schönbrodt, 2019), na danych zależnych (np. „jak zgodność charakterów przekłada się na poczucie dobrostanu każdego z małżonków?”), a także w przypadkach, gdy zmienna wyjaśniana jest dychotomiczna (Barranti i in., 2017).

Literatura cytowana

- Aberson, C. L. (2010). *Applied power analysis for the behavioral science*. Nowy Jork: Routledge.
- Barranti, M., Carlson, E. N., Cote, S. (2017). How to test questions about similarity in personality and social psychology research: Description and empirical demonstration of response surface analysis. *Social Psychological and Personality Science*, 8(4), 465–475. <https://doi.org/10.1177/1948550617698204>
- Barranti, M., Carlson, E. N., Furr, R. M. (2016). Disagreement about moral character is linked to interpersonal costs. *Social Psychological and Personality Science*, 7(8), 806–817. <https://doi.org/10.1177/1948550616662127>
- Bąk, W. (2002). E. Tory Higginsa teoria rozbieżności. *Przegląd Psychologiczny*, 45, 39–55.
- Cemalcilar, Z., Baruh, L., Kezer, M., Kamiloglu, R. G., Nigdeli, B. (2018). Role of personality traits in first impressions: An investigation of actual and perceived personality similarity effects on interpersonal attraction across communication modalities. *Journal of Research in Personality*, 76, 139–149. <https://doi.org/10.1016/j.jrp.2018.07.009>
- Derrick, J. L., Britton, M., Baker, Z. G., Haddad, S. (2018). A response surface analysis of expected and received support for smoking cessation: Expectancy violations predict greater relapse. *Addictive Behaviors*, 83, 160–166. <https://doi.org/10.1016/j.addbeh.2018.01.026>

- Edwards, J. R., Parry, M. E. (1993). On the use of polynomial regression equations as an alternative to difference scores in organizational research. *Academy of Management Journal*, 36(6), 1577–1613. <https://doi.org/10.5465/256822>
- Faul, F., Erdfelder, E., Buchner, A., Lang, A.-G. (2009). Statistical power analyses using G*Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses. *Behavior Research Methods*, 41(4), 1149–1160. <https://doi.org/10.3758/BRM.41.4.1149>
- Franken, A., Laceulle, O. M., Van Aken, M. A. G., Ormel, J. (2017). Using response surface analysis to interpret the impact of parent–offspring personality similarity on adolescent externalizing problems. *European Journal of Personality*, 31(1), 104–117. <https://doi.org/10.1002/per.2088>
- Higgins, E. T. (1987). Self-discrepancy: A theory relating self and affect. *Psychological Review*, 94(3), 319–340. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.94.3.319>
- Higgins, E. T., Klein, R., Strauman, T. (1985). Self-concept discrepancy theory: A psychological model for distinguishing among different aspects of depression and anxiety. *Social Cognition*, 3(1), 51–76. <https://doi.org/10.1521/soco.1985.3.1.51>
- Human, L. J., Dirks, M. A., DeLongis, A., Chen, E. (2016). Congruence and incongruence in adolescents' and parents' perceptions of the family: Using response surface analysis to examine links with adolescents' psychological adjustment. *Journal of Youth and Adolescence*, 45(10), 2022–2035. <https://doi.org/10.1007/s10964-016-0517-z>
- Humberg, S., Dufner, M., Schönbrodt, F. D., Geukes, K., Hutteman, R., Küfner, A. C. P., ..., Back, M. D. (2019). Is accurate, positive, or inflated self-perception most advantageous for psychological adjustment? A competitive test of key hypotheses. *Journal of Personality and Social Psychology*, 116(5), 835–859. <https://doi.org/10.1037/pspp0000204>
- Humberg, S., Dufner, M., Schönbrodt, F. D., Geukes, K., Hutteman, R., van Zalk, M. H. W., ..., Back, M. D. (2018). Enhanced versus simply positive: A new condition-based regression analysis to disentangle effects of self-enhancement from effects of positivity of self-view. *Journal of Personality and Social Psychology*, 114(2), 303–322. <https://doi.org/10.1037/pspp0000134>
- Humberg, S., Nestler, S., Back, M. D. (2019). Response surface analysis in personality and social psychology: Checklist and clarifications for the case of congruence hypotheses. *Social Psychological and Personality Science*, 10(3), 409–419. <https://doi.org/10.1177/1948550618757600>
- Lu, H., Liu, X., Chen, H., Long, R. (2017). Employee–organization pro-environmental values fit and pro-environmental behavior: The role of supervisors' personal values. *Science and Engineering Ethics*, 25(3), 519–557. <https://doi.org/10.1007/s11948-017-0007-z>
- Milatz, A., Lüftenegger, M., Schober, B. (2015). Teachers' relationship closeness with students as a resource for teacher wellbeing: A response surface analytical approach. *Frontiers in Psychology*, 6, 1949. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01949>

- Nestler, S., Humberg, S., Schönbrodt, F. D. (2019). Response surface analysis with multilevel data: Illustration for the case of congruence hypotheses. *Psychological Methods*, 24(3), 291–308. <https://doi.org/10.1037/met0000199>
- Quintus, M., Egloff, B., Wrzus, C. (2017). Predictors of volitional personality change in younger and older adults: Response surface analyses signify the complementary perspectives of the self and knowledgeable others. *Journal of Research in Personality*, 70, 214–228. <https://doi.org/10.1016/j.jrp.2017.08.001>
- Schönbrodt, F. D. (2018). *RSA: Response surface analysis* (R package Version 0.9.10) [Oprogramowanie komputerowe]. Pobrane z: <http://cran.r-project.org/web/packages/RSA>
- Shanock, L. R., Baran, B. E., Gentry, W. A., Pattison, S. C., Heggstad, E. D. (2010). Polynomial regression with response surface analysis: A powerful approach for examining moderation and overcoming limitations of difference scores. *Journal of Business and Psychology*, 25(4), 543–554. <https://doi.org/10.1007/s10869-010-9183-4>
- Siuta, J. (2006). *Inwentarz Osobowości NEO-PI-R Paula T. Costy i Roberta R. McCrae. Adaptacja polska. Podręcznik*. Warszawa: Pracownia Testów Psychologicznych PTP.
- Van Petegem, S., Antonietti, J.-P., Eira Nunes, C., Kins, E., Soenens, B. (2019). The relationship between maternal overprotection, adolescent internalizing and externalizing problems, and psychological need frustration: A multi-informant study using response surface analysis. *Journal of Youth and Adolescence*, 49(1), 162–177. <https://doi.org/10.1007/s10964-019-01126-8>
- West, T. V., Kenny, D. A. (2011). The truth and bias model of judgment. *Psychological Review*, 118(2), 357–378. <https://doi.org/10.1037/a0022936>
- Zawadzki, B., Strelau, J., Szczepaniak, P., Śliwińska, M. (1998). *Inwentarz osobowości NEO-FFI Costy i McCrae (Adaptacja polska – podręcznik)*. Warszawa: Pracownia Testów Psychologicznych PTP.

ŁUKASZ ROLAND MICIUK

Instytut Psychologii, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

QOS: Q-sort do pomiaru zgodności między samoopisem i szacowaniem (*self-other agreement*) oraz innych wskaźników obiektywności samowiedzy

Sposób cytowania: Miciuk, Ł. R. (2020). QOS: Q-sort do pomiaru zgodności między samoopisem i szacowaniem (*self-other agreement*) oraz innych wskaźników obiektywności samowiedzy. W: M. Trojan, M. Gut (red.), *Nowe technologie i metody w psychologii* (s. 431–448). Warszawa: Liberi Libri. <https://doi.org/10.47943/lib.9788363487430.rozdzial20>

W jakim stopniu przekonania ludzi na własny temat są bliskie rzeczywistości? Zgodność między samoopisem i szacowaniem (*self-other agreement*) to najczęściej stosowana miara akuratności samowiedzy (*accuracy of self-knowledge*). Samoopis osoby badanej porównywany jest z jej opisem stworzonym przez inną, znającą ją osobę. Przyjmuje się, że im mniejsza/większa zgodność obu opisów, tym mniejsza/większa akuratność samowiedzy. Zwolennicy takiej metodologii argumentują, że nie można mówić o trafnym obrazie siebie, jeśli nie jest on zobiektywizowany (Miciuk, 2017; Vazire, Carlson, 2010; Vazire, Solomon, 2015). Przeciwnicy zwracają uwagę, że nasi znajomi również mogą się mylić na nasz temat, więc trudno uznać ich zdanie za obiektywne kryterium porównawcze (Giacomin, Jordan, 2016; Miciuk, 2020; Vazire, 2010; por. Vazire, Wilson, 2012). Co więcej, osoba badana jako jedyna ma dostęp do swoich trudno obserwowalnych i nieujawnionych myśli, prywatnych wspomnień i przeżyć emocjonalnych. Współczesne konceptualizacje akuratności samowiedzy (por. niżej) opierają się więc na (1) wielowymiarowej obiektywności albo (2) trafności wielokryterialnej, gdzie obiektywność jest jednym z kryteriów akuratności samowiedzy (a nie jedynym).

Przykładowo w modelu samowiedzy osobowościowej (Back, Vazire, 2012) oprócz zgodności między samoopisem i szacowaniem bierze się pod uwagę również inne wskaźniki obiektywności, tj. zgodność samoopisu z zachowaniem (*behavioral prediction*), wiedzę osoby o tym, jak postrzegają ją inni (*meta-accuracy*) oraz spójność samoopisu wyrażonego wprost z tym wyrażonym nie wprost (*explicite-implicite consistency*). Z kolei teoria adekwatności samowiedzy (Miciuk, 2017) postuluje trzy powiązane ze sobą kryteria akuratności samowiedzy: wiarygodność (ocenianą na podstawie procesów poznawczych odpowiedzialnych za przetwarzanie informacji o sobie), użyteczność (dotyczącą obecności adaptacyjnych sądów na własnych temat w strukturze samowiedzy i zakresu ich przydatności w codziennym funkcjonowaniu) oraz obiektywność rozważaną wyłącznie w kontekście pozostałych dwóch kryteriów.

Wymogi formalne i treściowe stawiane metodom do pomiaru obiektywności samowiedzy

Konieczność prowadzenia badań mających na celu określenie stopnia i zakresu przydatności kryterium obiektywności w ocenie akuratności samowiedzy stwarza zapotrzebowanie na nowe narzędzia pomiarowe. Wydaje się,

że atrakcyjna metoda pomiaru obiektywności samowiedzy powinna spełniać następujące kryteria.

1. Pozwalać na uchwycenie zarówno tego, co jest najbardziej, jak i najmniej charakterystyczne dla opisywanej osoby dzięki minimalizacji ryzyka oceniania większości pozycji testowych w podobny i mało przemyślany sposób. Niepożądane jest m.in. notoryczne celowanie w środkową opcję na skali Likerta oraz ocenianie się wysoko w przypadku większości społecznie pożądanых, a nisko w przypadku niepożądanych określeń opisowych.
2. Stwarzać szansę oceny znaczenia (wagi) każdego określenia (pozycji testowej) dla opisu (obrazu) osoby w kontekście pozostałych określeń. Powinno to także pozwalać na dowolne zmienianie (korygowanie) ocen poszczególnych pozycji testowych w procesie konstruowania całościowego obrazu osoby.
3. Umożliwiać tworzenie uporządkowanej „panoramy” określeń opisujących osobę, będącej percepcyjnie dostępną i komunikatywną dla uczestnika badania już w trakcie wykonywania zadania. To zaś stanowiłoby faktycznie pewien *obraz* osoby, nie zaś nieuporządkowany zbiór odpowiedzi na wymienione, jedna pod drugą, pozycje testowe (tak jak w przypadku kwestionariuszy).
4. Składać się z krótkich i prostych, możliwych do szybkiego przeczytania pozycji testowych, zwłaszcza że w standardowym badaniu każda osoba badana używa metody dwukrotnie: do opisu siebie oraz do opisu znajomej osoby. W tym kontekście pojedyncze słowa opisujące osobę wydają się mieć przewagę nad – o wiele dłuższymi – zdaniami.
5. Ujmować swoim zakresem możliwie szeroki i zróżnicowany obszar samowiedzy, tj. nieograniczony sztywno wąskimi ramami teoretycznymi jednej teorii. Jest to postulat trudny do osiągnięcia w przypadku większości popularnych inwentarzy osobowości.

Warto zauważyć, że pierwsze cztery z wymienionych wyżej wymagań mają charakter formalny, zaś piąte – treściowy. Wartością dodaną metody pomiaru obiektywności samowiedzy w jej aspekcie treściowym mogłyby być ukryte w niej skale tematyczne umożliwiające pomiary zgodności między samoopisem i szacowaniem w ramach węższych obszarów samowiedzy. Jest to wskazane, gdyż zgodnie z proponowaną teorią adekwatności samowiedzy (Miciuk, 2017, 2020; Miciuk, Oleś, 2017; por. Back, Vazire, 2012; Brycz, Wyszomirska-Góra,

Konarski, Wojciszke, 2018), obiektywność myślenia o sobie na ściśle określony temat wiąże się ze specyficznymi, uwiarygodniającymi to myślenie procesami poznawczymi oraz unikalnymi przejawami przydatności takiego myślenia.

Etapy tworzenia narzędzia QOS

Aspekty i decyzje formalne. Mając na celu spełnienie pierwszych trzech wymogów stawianych konstruowanemu narzędziu do pomiaru obiektywności samowiedzy (por. wyżej), zdecydowano się na wykorzystanie metodologii Q (Block, 2008; Stephenson, 1993). Ogólnie rzecz biorąc, polega ona na układaniu przez badanego pozycji testowych w taki sposób, by powstał wierny (jego zdaniem) opis przedmiotu badania (np. osoby), stanowiący uporządkowaną kompozycję wszystkich pozycji testowych, wizualnie przypominający zrotowany o 180° rozkład normalny złożony z określonej liczby kolumn o różnej pojemności (por. rysunek 1). Nie ma więc możliwości, by większość pozycji testowych ocenić jako równie mało lub wysoce deskryptywne. Metodologia Q wymusza na uczestniku badania „ważenie” każdej pozycji testowej na tle wszystkich pozostałych. Możliwa jest więc (a nawet wskazana) zmiana decyzji dowolną ilość razy i korygowanie sortowania aż do uzyskania przemyślanego, całościowego obrazu osoby. Panorama rozciąga się od określeń najbardziej nietrafnie opisujących osobę (stanowiących lewy jej kraniec) do określeń najbardziej trafnie opisujących osobę (będących na jej prawym krańcu). Na środku natomiast znajdują się określenia, które okazały się najmniej przydatne do sporządzenia opisu (tj. nie opisują dość dobrze ani tego, jaka ta osoba jest, ani tego, jaka nie jest).

Bardzo niecharakterystyczne	Niecharakterystyczne	Dość niecharakterystyczne	Trochę niecharakterystyczne	Neutralne	Trochę charakterystyczne	Dość charakterystyczne	Charakterystyczne	Bardzo charakterystyczne
(3)								(3)
	(5)						(5)	
		(10)				(10)		
			(15)		(15)			
				(17)				

Rysunek 1. Układ przestrzenny, w jakim należy sortować pozycje testowe Q05; nazwy kategorii (w nagłówkach kolumn) oraz pojemność kolumn wyrażona liczbą pól (liczby w nawiasach).

Strategia doboru treści samowiedzy podlegających ocenie. Aby spełnić czwarte i piąte wymaganie stawiane metodzie do pomiaru obiektywności samowiedzy, zdecydowano się wybrać pozycje testowe do Q-sort z *Listy przymiotnikowej ACL* (Gough, Heilbrun, 1983) w polskiej adaptacji Martowskiej (2012). Chodziło o skonstruowanie nieprzesadnie obszernego, ale wystarczająco bogatego zbioru zróżnicowanych charakterystyk osobowych, wyrażonych w krótkiej i komunikatywnej formie. Lista ACL (Gough, Heilbrun, 1983) składa się z 300 słów powszechnie używanych do opisu ludzi i jest teoretycznie eklektyczna (znajdują się w niej m.in. określenia odnoszące się do cech fizycznych, intelektu, cech temperamentu i charakteru oraz podskale tematyczne inspirowane bardziej szczegółowymi teoriami osobowości, na przykład koncepcją potrzeb

Murraya oraz analizą transakcyjną Berne'a). Polska adaptacja (Martowska, 2012) posiada satysfakcjonującą trafność potwierdzoną w licznych badaniach korelacyjnych i klinicznych oraz dobre wskaźniki rzetelności (wartości współczynnika α Cronbacha dla większości podskal wahają się między: 0,70 a 0,95, a stabilność pomiaru test-retest: 0,63–0,88). W typowym użyciu osoba badana czyta arkusz ACL i zaznacza na liście dowolną liczbę pozycji testowych, które jej zdaniem dobrze ją opisują (Martowska, 2012).

Chociaż *Lista przymiotnikowa ACL* może być używana do pomiaru zgodności między samoopisem i szacowaniem w jej tradycyjnej formie, pomiar taki pozbawiony będzie opisanych wyżej zalet metodologii Q. Wydaje się również, że jeśli celem badacza jest pomiar obiektywności obrazu siebie (nie zaś uzyskanie znormalizowanych wyników osoby w licznych podskalach mierzących różne aspekty osobowości), stosowanie aż 300 pozycji testowych jest nieekonomiczne. Z drugiej strony, skoro badania prowadzone za pomocą konstruowanego narzędzia mają służyć m.in. testowaniu zasadności posługiwania się kryterium obiektywności w odniesieniu do różnych treści samowiedzy, talia (tj. zbiór pozycji przeznaczonych do sortowania) powinna składać się z co najmniej dwóch rodzajów charakterystyk osobowych. Po pierwsze takich, które z racjonalnego punktu widzenia poddają się ocenie w kryterium obiektywności. Po drugie natomiast z takich, które wydają się być subiektywne w swojej naturze i jako takie rodzą w głowie psychologa uzasadnione pytania odnośnie racjonalności poszukiwania dla nich obiektywnego kryterium porównawczego.

Wskazane było również uwzględnienie określeń opisujących człowieka, który raczej dobrze siebie zna i jest wolny od poważnych złudzeń na własny temat, by móc ocenić, w jakim stopniu badany uważa się za takiego człowieka i co na ten temat sądzi jego znajoma osoba.

Procedura konstrukcji talii QOS. Strategię konstrukcji talii oparto na procedurze oceny materiału testowego przez sędziów kompetentnych (Krejtz, Krejtz, 2005). W tym przypadku byli to psycholodzy, aktualnie uczestniczący w seminarium doktorskim z zakresu psychologii osobowości. Ich zadaniem była dwukrotna ocena każdej z 300 pozycji testowych (charakterystyk osobowych) znajdujących się na *Liście przymiotnikowej ACL*. Każdy sędzia pracował samodzielnie. W pierwszym etapie był proszony o zaznaczenie tych charakterystyk osobowych, które w jego/jej opinii „najtrafniej potrafi ocenić opisywana osoba, sama na swój temat”. Jeśli dane określenie zostało wybrane przez co najmniej czterech spośród sześciu sędziów, włączano je do talii jako charakterystyka osobowa

„potencjalnie trafniej oceniana z perspektywy Ja”. W kolejnym kroku, każdy sędzia był proszony o zaznaczenie tych charakterystyk osobowych, które w jego/jej opinii „mogą być najtrafniej ocenione przez znajomych opisywanej osoby” (sędziowie udzielali odpowiedzi na nowych arkuszach ACL, tak by nie mogli dokonywać porównań z efektami swojej pracy z pierwszego etapu). Jeśli dane określenie zostało wybrane przez co najmniej czterech spośród sześciu sędziów, włączano je do talii jako charakterystyka osobowa „potencjalnie trafniej oceniana z perspektywy innych osób”. Na koniec talia została uzupełniona o pozycje testowe tworzące podskalę ACL mierzącą Potrzebę rozumienia siebie i innych (*intraception need*), przejawiającą się aktywnym dążeniem do zrozumienia swojego zachowania i zachowania innych osób (Gough, Heilbrun, 1983).

Opis narzędzia QOS i zasady przeprowadzania badania

Talia QOS składa się z 83 charakterystyk osobowych (pozycji testowych):

- 24 potencjalnie trafniej ocenianych z perspektywy Ja (TOP_ja), np. „zadowolony z siebie”, „karzący samego siebie”, „skłonny do kłamstwa”, „o wszechstronnych zainteresowaniach”;
- 30 potencjalnie trafniej ocenianych z perspektywy innych osób (TOP_in), np. „zrzędlivy”, „trzymający na dystans”, „dobrze wychowany”, „czarujący”;
- 32¹ opisujących człowieka aktywnie dążącego do rozumienia siebie i innych (DR_ji), np. „refleksyjny”, „dojrzały”, „wnikliwy”, „czujny”, „współczujący”.

Wszystkie pozycje testowe uporządkowano w stałej, ustalonej w wyniku losowania kolejności, w jakiej zgodnie ze standaryzowaną procedurą powinny być prezentowane każdej osobie badanej podczas przeprowadzania badania. Wykaz pozycji testowych (we wspomnianej kolejności) oraz przydatne informacje na ich temat znajdują się w tabeli B1.

Procedura pomiaru obiektywności samowiedzy z wykorzystaniem narzędzia QOS wymaga udziału diad złożonych z dwóch znających się ze sobą osób i w przypadku każdej osoby z diady badanie obejmuje trzy rundy:

1 Dwie spośród nich należą zarazem do charakterystyk TOP_ja („obdarzony wyobraźnią”, „współczujący”), a jedna do TOP_in („liczący się z innymi”).

1. Samoopis za pomocą QOS:
 - sortowanie wstępne do trzech (zgodnie z zaleceniami The Riverside Accuracy Project, 2016) ogólnych kategorii;
 - sortowanie właściwe do dziewięciu (zgodnie z zaleceniami Blocka, 2008) bardziej specyficznych kategorii (por. rysunek 1).
2. Pomiar innych interesujących badacza zmiennych (lub zadanie nie związane z tematem badań, pełniące funkcję „przerywnika”).
3. Opis znajomej osoby z diady za pomocą QOS:
 - sortowanie wstępne (j.w.);
 - sortowanie właściwe (j.w.).

Szczegółowe instrukcje dla osób badanych przeznaczone do wykorzystania przez badaczy w badaniach własnych znajdują się w *Załączniku A*. Każda osoba badana powinna pracować samodzielnie, w specjalnie wydzielonym boksie laboratorium lub najlepiej w osobnym pomieszczeniu. Uczestnicy badania powinni mieć zapewnione komfortowe warunki pracy, takie jak cisza i prywatność. W szczególności nie powinni być przez nikogo nachalnie obserwowani w trakcie sortowania.

Sortowania QOS można przeprowadzać (tak jak w przypadku każdego narzędzia bazującego na metodologii Q) na dwa sposoby, tj. wykorzystując pomoce papierowe lub komputery. Pierwszy sposób wymaga przygotowania dwóch identycznych zestawów kartoników (po jednym zestawie dla każdej osoby z diady), zawierających po jednej pozycji testowej, które badany będzie później układać na planszy (por. rysunek 1) o odpowiednim rozmiarze. Kartoniki zawierające odpowiednie pozycje testowe należy wycinać za pomocą nożyczek z oryginalnych arkuszy ACL. Warto uwagi programy komputerowe i aplikacje internetowe umożliwiające przeprowadzanie sortowań z wykorzystaniem samodzielnie wprowadzonych talii pozycji testowych to m.in. PQMethod, PCQ, KenQ, HtmlQ, Flash Q, Q-sort touch, Q-Assessor, WebQsort i Q-Software QSW (International Society for the Scientific Study of Subjectivity, 2017) oraz Q-sorter Program (The Riverside Accuracy Project, 2016).

Czas wykonania nie jest w żaden sposób ograniczony. Doświadczenia zebrane w dotychczasowych badaniach (Miciuk, 2020) pokazują, że badani istotnie różnią się czasem, w jakim udaje im się przejść całą procedurę². W związku

2 Warto dodać, że do tej pory nie stwierdzono istotnych związków między czasem wykonywania sortowań a obiektywnością samowiedzy mierzonej za pomocą QOS.

z tym prowadzący badanie powinien dołożyć starań, by osoby mające wolniejsze tempo pracy nie odczuwały presji i mogły sfinalizować wszystkie zadania bez skrzępowania, z należytą uwagą i skupieniem. Pomocne mogą okazać się słowa: „To całkowicie naturalne, że ludzie wykonują te zadania w różnym tempie. Proszę się nie spieszyć i spokojnie pracować dalej”.

Obliczanie wskaźnika zgodności między samoopisem i szacowaniem

Z uwagi na merytoryczną krytykę korelacyjnych miar zgodności między samoopisem i szacowaniem (Cronbach, 1955; por. Korulczyk, 2019), zalecane jest posługiwanie się w obliczeniach wzorem na odległość euklidesową:

$$d(s, o) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (s_i - o_i)^2}$$

gdzie:

d = rozbieżność sortowań (niezgodność między samoopisem i szacowaniem w ramach diady znajomych),

s_i = numer kolumny, w której opisywana osoba umieściła charakterystykę i (opisując samą siebie),

o_i = numer kolumny, w której znajomy opisywanej osoby umieścił charakterystykę i (szacując, jaka jest opisywana osoba),

n = całkowita liczba charakterystyk składających się na opis osoby podlegający analizie,

i = konkretna charakterystyka opisowa.

Odejmując wartość d uzyskaną przez osobę badaną od jej wartości maksymalnej w próbie, otrzymamy wyrażony wprost wskaźnik zgodności między samoopisem i szacowaniem, stanowiący miarę obiektywności samowiedzy (Korulczyk, 2019; por. Ashby, Perrin, 1988; Hochwälder, Nystedt, 1997). Można policzyć jeden wskaźnik dla całego obrazu siebie i/lub większą liczbę wskaźników opartych na wybranych charakterystykach (np. TOP_ja, TOP_in, DR_ji).

Wstępna ocena wartości psychometrycznej narzędzia QOS

Zgodnie z metodologią Q, miarą trafności samoopisu osoby jest alternatywny opis (szacowanie) dokonany przez jej znajomego. Ocenę wartości psychometrycznej QOS oparto więc na analizie związków wskaźników zgodności między samoopisem i szacowaniem z innymi, teoretycznie uzasadnionymi zmiennymi. I tak, ważnych informacji dostarczyły wyniki badań laboratoryjnych mających na celu empiryczną konfirmację hipotetycznego modelu opartego na teorii adekwatności samowiedzy (Miciuk, 2020). W badaniach tych ($N = 203$) zmienna latentna obiektywność samowiedzy (ładowana dodatkowo przez trzy wskaźniki zgodności między samoopisem i szacowaniem mierzone za pomocą QOS, przy czym nieco silniej przez TOP_in i DR_ji, a słabiej przez TOP_ja) wiązała się znacząco ($R = 0,54$; $p < 0,001$) ze zmienną latentną wiarygodność koncepcji siebie (ładowaną dodatkowo przez obserwowalne: motywację do aktualizowania samowiedzy i utrzymywania jej spójności oraz postrzeganie siebie przez pryzmat rodzaju i jakości bliskich relacji interpersonalnych). Korelowała także istotnie ($R = 0,23$; $p < 0,05$) ze zmienną latentną użyteczność samowiedzy (ładowaną dodatkowo przez mierzone bezpośrednio zmienne: odczuwanie pozytywnych emocji względem własnej osoby oraz posiadanie sensu życia wzmagającego angażowanie się w celowe działania). Wyniki te przemawiają na korzyść teorii leżącej u podstaw konstrukcji narzędzia QOS. Zgodnie z nią, obiektywne myślenie o sobie wykazuje współzmiennność z określonymi procesami poznawczymi zaangażowanymi w nieznieskształcone przetwarzanie informacji na temat Ja. Ponadto wiąże się ono z funkcjonalnym aspektem samowiedzy, czyli jej przydatnością w procesach samoregulacji i codziennej adaptacji.

Podobnych wniosków dostarcza analiza wyników innych badań przeprowadzonych przy użyciu narzędzia QOS (por. tabela 1). Motywacja do utrzymywania pozytywnego (autowaloryzacja) oraz już posiadanego (autopotwierdzenie) obrazu siebie nie wiązały się w żaden sposób z poszczególnymi wskaźnikami zgodności między samoopisem i szacowaniem w QOS. Natomiast motywacja do poszukiwania prawdziwych (zamiast preferowanych) informacji o sobie (autodiagnozowanie) oraz włączanie w obraz Ja wiedzy o sobie płynącej z relacji interpersonalnych (relacyjność–współzależność Ja) korelują dodatkowo ze wspomnianymi w poprzednim zdaniu wskaźnikami. Pozytywnym predyktorem obiektywności samowiedzy okazało się także nasilenie potrzeby rozumienia siebie i innych (szczególnie to szacowane przez znajomego). Z kolei dane umieszczone w ostatnich pięciu wierszach tabeli 1 sugerują, że lepsze rozeznanie w swoich

mocnych i słabych stronach (wnioskowane na podstawie obiektywności samo-wiedzy) wiąże się z efektywniejszym gospodarowaniem zasobami osobistymi (wyższą postrzeganą zdolnością radzenia sobie z codziennymi wyzwaniami i bardziej pozytywną postawą wobec trudności), a także z mniejszym ryzykiem wyciągania nieuprawnionych wniosków na temat własnego funkcjonowania interpersonalnego, mogących prowadzić do odczuwania poczucia winy i wrogości.

Tabela 1

Wskaźniki zgodności między samoopisem i szacowaniem mierzonych za pomocą QOS: interkorelacje oraz korelacje z innymi zmiennymi

Zmienna	α	Zgodność między samoopisem i szacowaniem (QOS) w zakresie charakterystyk:			
		TOP_ja	TOP_in	DR_ji	SUM
TOP_ja		1			
TOP_in		0,48***	1		
DR_ji		0,48***	0,56***	1	
SUM		0,80***	0,85***	0,80***	1
Autowaloryzacja (SMA) ^a	0,72	0,07	-0,03	-0,02	0,01
Autopotwierdzenie (SMA) ^a	0,67	0,08	-0,06	-0,11	0,01
Autodiagnozowanie (SMA) ^a	0,65	0,20**	0,20**	0,20**	0,25***
Relacyjność-współzależność Ja (JRW) ^a	0,81	0,20**	0,25***	0,22***	0,28***
Potrzeba rozumienia siebie i innych [w samoopisie] (QOS/ACL) ^a	0,64	0,30***	0,40***	0,28***	0,41***
Potrzeba rozumienia siebie i innych [w szacowaniu znajomego] (QOS/ACL) ^a	0,74	0,32***	0,38***	0,49***	0,48***
Otwartość na nowe doświadczenia i poczucie humoru (SPP-25) ^c	0,66	0,45***	0,33***	0,33**	0,45***
Tolerancja niepowodzeń i traktowanie życia jako wyzwania (SPP-25) ^c	0,66	0,38***	0,25***	0,27***	0,38***
Optymizm i zdolność mobilizacji w trudnych sytuacjach (SPP-25) ^c	0,77	0,40***	0,33***	0,24**	0,42***
Poczucie winy (PANAS-X) ^b	0,86	-0,19**	-0,19**	-0,20**	-0,23**
Odczuwana wrogość (PANAS-X) ^b	0,78	-0,16*	-0,23**	-0,26***	-0,26***

^a $N = 278$ (176 kobiet); ^b $N = 201$ (125 kobiet); ^c $N = 150$ (93 kobiety).

Adnotacja. SMA – Skala motywów autoewaluacyjnych (Gregg, Hepper, Sedikides, 2011; Miciuk, Oleś, 2018); JRW – Skala relacyjności-współzależności Ja (Cross, Bacon, Morris, 2000; Kaźmierczak, 2012); ACL – Lista przymiotnikowa ACL (Gough, Heilbrun, 1983; Martowska, 2012); SPP-25 – Skala pomiaru prężności – Wersja 25-itemowa (Ogińska-Bulik, Juczyński, 2008); PANAS-X – Skala pozytywnego i negatywnego afektu – Wersja rozszerzona (Fajkowska, Marszał-Wiśniewska, 2009).

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

Opisane wyżej badania nie pozwalają na wyciągnięcie zdecydowanych wniosków na temat specyfiki wskaźników zgodności między samoopisem i szacowaniem dla charakterystyk TOP_ja, TOP_in i DR_ji (por. tabela 1). Istnieje potrzeba prowadzenia dalszych badań walidacyjnych, w ramach których warto byłoby m.in. porównać wskaźnik zgodności między samoopisem i szacowaniem w QOS z analogicznym wskaźnikiem w ACL (Martowska, 2012) oraz doprecyzować strukturę czynnikową QOS (rozwiązanie wstępne można znaleźć w tabeli B1).

Podsumowanie i alternatywne zastosowania narzędzia QOS

Wartość badawczą narzędzia QOS należy uznać za wstępnie potwierdzoną i wymagającą dalszych systematycznych badań. Technika QOS łączy w sobie zalety *Listy przymiotnikowej ACL* oraz metody Q. Spełnia tym samym sformułowane wcześniej wymagania wobec narzędzi mierzących obiektywność samowiedzy. Warto dodać, że badani pozytywnie reagowali na QOS, określając wykonywane przez siebie zadania jako ciekawe, angażujące oraz pogłębiające wgląd. Decydując się na stosowanie QOS w badaniach własnych, należy jednak pamiętać o głównej wadze każdego narzędzia opierającego się na metodzie Q. Mianowicie, w obliczu postrzeganej przez osobę badaną równoważności kilku pozycji testowych, może być ona zmuszona do różnicowania ich trochę „na siłę”, o ile nie zdoła ich wszystkich zmieścić w preferowanej przez siebie kolumnie z uwagi na ograniczoną ilość miejsca.

Oprócz pomiaru zgodności między samoopisem i szacowaniem, narzędzia QOS można używać (ze zmodyfikowaną instrukcją) m.in. do określania poziomu wiedzy osoby o tym, jak jest postrzegana przez innych oraz do analizy rozbieżności między tym, jak osoba samą siebie postrzega, a tym, jak czuje się postrzegana.

Literatura cytowana

- Ashby, F. G., Perrin, N. A. (1988). Toward a unified theory of similarity and recognition. *Psychological Review*, 95(1), 124–150. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.95.1.124>
- Back, M. D., Vazire, S. (2012). Knowing our personality. W: S. Vazire, T. D. Wilson (red.), *Handbook of self-knowledge* (s. 7–21). Nowy Jork–London: The Guilford Press.

- Block, J. (2008). *The Q-sort in character appraisal: Encoding subjective impressions of persons quantitatively*. Waszyngton: American Psychological Association.
- Brycz, H., Wyszomirska-Góra, M., Konarski, R., Wojciszke, B. (2018). Metacognitive-self fosters drive for self-knowledge: The role of metacognitive self for motivation to search diagnostic information about the self. *Polish Psychological Bulletin*, 49, 66–76. <https://doi.org/10.24425/119473>
- Cronbach, L. J. (1955). Processes affecting scores on „understanding of others” and „assumed similarity”. *Psychological Bulletin*, 52(3), 177–193. <https://doi.org/10.1037/h0044919>
- Cross, S. E., Bacon, P. L., Morris, M. L. (2000). The relational-interdependent self-construal and relationships. *Journal of Personality and Social Psychology*, 78(4), 791–808. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.78.4.791>
- Fajkowska, M., Marszał-Wiśniewska, M. (2009). Właściwości psychometryczne Skali Pozytywnego i Negatywnego Afektu – Wersja Rozszerzona (PANAS-X). Wstępne wyniki badań w polskiej próbie. *Przegląd Psychologiczny*, 52(4), 355–388.
- Giacomin, M., Jordan, C. H. (2016). How implicit self-esteem influences perceptions of self-esteem at zero and non-zero acquaintance. *Self and Identity*, 15(6), 615–637. <https://doi.org/10.1080/15298868.2016.1183516>
- Gough, H. G., Heilbrun, A. B. (1983). *Adjective check list manual*. Palo Alto: Consulting Psychologists Press.
- Gregg, A. P., Hepper, E. G., Sedikides, S. (2011). Quantifying self-motives: Functional links between dispositional desires. *European Journal of Social Psychology*, 41(7), 840–852. <https://doi.org/10.1002/ejsp.827>
- Hochwälder, J., Nystedt, L. (1997). On the psychological significance of the Euclidean representation of implicit personality theory. *Scandinavian Journal of Psychology*, 38(1), 15–19. <https://doi.org/10.1111/1467-9450.00003>
- International Society for the Scientific Study of Subjectivity. (2017). *Q-methodology for the scientific study of human subjectivity. Analysis. Q-sorting software*. Pobrane z: <http://qmethod.org/resources/software>
- Ogińska-Bulik, N., Juczyński, Z. (2008). Skala Pomiaru Prężności — SPP-25. *Nowiny Psychologiczne*, 3, 39–56.
- Każmierczak, M. (2012). Ja relacyjne-współzależne: Pomiar i psychologiczne korelaty. *Polskie Forum Psychologiczne*, 17(1), 27–43.
- Korulczyk, T. (2019). Przegląd współczynników zgodności par. *Studia Psychologiczne*, 56(1), 32–57. <https://doi.org/10.2478/V1067-010-0180-8>
- Krejtz, K., Krejtz, I. (2005). Rzetelność w analizie treści. W: K. Stemplewska-Żakowicz, K. Krejtz (red.), *Wywiad psychologiczny. Wywiad jako postępowanie badawcze* (s. 217–230). Warszawa: Pracownia Testów Psychologicznych PTP.

- Martowska, K. (2012). *Lista przymiotnikowa ACL. Harrison G. Gough, Alfred B. Heilbrun, Jr. Polska normalizacja*. Warszawa: Pracownia Testów Psychologicznych PTP.
- Miciuk, Ł. R. (2017). *Self-concept adequacy – empirical studies on the field of cognitive personality psychology* (Niepublikowana praca doktorska). Katolicki Uniwersytet Lubelski Jana Pawła II. Lublin.
- Miciuk, Ł. R. (2020). Self-knowledge adequacy: New ideas on what it means to know yourself and whether it is worth it – Theory and preliminary results. *Self and Identity*. Manuskrypt w recenzji.
- Miciuk, Ł. R., Oleś, P. (2017, wrzesień). *Zgodność samoopisu i szacowania jako wskaźnik trafności samowiedzy osobowościowej - badanie Q-sort*. Poster na 36. Zjeździe Polskiego Towarzystwa Psychologicznego, Gdańsk.
- Miciuk, Ł. R., Oleś, P. (2018, kwiecień). *The Polish adaptation of the Self-Motive Items Scale by Gregg, Hepper & Sedikides*. Poster na Międzynarodowej Konferencji „Between Narcissism and Entitlement: Self-Enhancement in a Cross-Cultural Perspective”. Warszawa.
- Stephenson, W. (1993). Introduction to Q-Methodology. *Operant Subjectivity*, 17(1–2), 1–13.
- The Riverside Accuracy Project. (2016). *Q-sort resources. Q-sorter program*. Pobrane z: <https://rap.ucr.edu/qsorter>
- Vazire, S. (2010). Who knows what about a person? The self–other knowledge asymmetry (SOKA) model. *Journal of Personality and Social Psychology*, 98(2), 281–300. <https://doi.org/10.1037/a0017908>
- Vazire, S., Carlson, E. N. (2010). Self-knowledge of personality: Do people know themselves? *Social and Personality Psychology Compass*, 4(8), 605–620. <https://doi.org/10.1111/j.1751-9004.2010.00280.x>
- Vazire, S., Solomon, B. C. (2015). Self- and other-knowledge of personality. W: M. L. Cooper, R. J. Larsen (red.), *Handbook of personality processes and individual differences* (s. 261–281). Waszyngton: American Psychological Association.
- Vazire, S., Wilson, T. D. (red.). (2012). *Handbook of self-knowledge*. Nowy Jork: Guilford.

Załącznik A

QOS: Instrukcje dla badanych (przed ukośnikami podano sformułowania do użycia w instrukcji do opisu siebie, a kursywą – w instrukcji do opisu znajomej osoby z diady).

Sortowanie wstępne:

Opisz siebie/*Opisz znajomą osobę, z którą przyszedłeś(przyszłaś) na badanie* za pomocą podanych określeń, umieszczając każde z nich w jednej z trzech kategorii:

- niecharakterystyczne (taki NIE jesteś/*ta osoba taka NIE jest*)
- neutralne (trochę taki jesteś, a trochę nie/*ta osoba trochę taka jest, a trochę nie*)
- charakterystyczne (taki JESTEŚ/*ta osoba taka JEST*)

Sortowanie właściwe:

Teraz Twoim zadaniem jest przyporządkowanie każdego z określeń do jednej z dziewięciu kategorii (kolumn), jednak tym razem liczba określeń, które należy umieścić w każdej kategorii, jest ściśle określona (por. rysunek 1).

Nagłówki kolumn pomogą Ci podjąć właściwe decyzje, zaś generalna zasada jest taka:

- im bardziej **na lewo**, tym dane określenie **mniej trafnie** oddaje to, **jaki (jaka) jesteś/jaka jest opisywana przez Ciebie osoba;**
- im bardziej **na prawo**, tym dane określenie **bardziej trafnie** oddaje to, **jaki (jaka) jesteś/jaka jest opisywana przez Ciebie osoba.**

Początkowy podział słów na trzy kategorie miał na celu ułatwić Ci zadanie, jednak teraz możesz bez ograniczeń przemieszczać określenia między wszystkimi dziewięcioma kategoriami, aż uznasz, że powstały układ określeń wystarczająco dobrze opisuje Ciebie/*tę osobę*.

Załącznik B

Tabela 1
Pozycje testowe QOS

Kol.	Nr pozycji (ACL)	Typ pozycji	Wstępna struktura czynnikowa:	
			Przynależność pozycji do skali ¹ (ładunek czynnikowy ²)	
1.	300	TOP_in	WI	(0,56)
2.	132	TOP_ja	HM	(0,74)
3.	57	TOP_in	PD	(-0,53)
4.	237	TOP_in		
5.	240	TOP_in	NR	(0,72)
6.	186	DR_ji+	BR	(0,57)
7.	72	TOP_in	ZO	(0,41)
8.	254	DR_ji+	WI	(0,73)
9.	26	DR_ji+	BR	(0,55)
10.	107	TOP_ja	WI	(-0,63)
11.	215	DR_ji+	WI	(0,40)
12.	115	DR_ji-	NR	(0,77)
13.	60	TOP_ja	ZS	(-0,69)
14.	277	TOP_ja	ZS	(-0,67)
15.	34	TOP_ja	RZ	(0,76)
16.	133	TOP_ja, DR_ji+	HM	(0,68)
17.	203	TOP_ja		
18.	278	TOP_ja		
19.	144	TOP_ja	ZS	(0,64)
20.	92	DR_ji-	WI	(-0,73)
21.	213	DR_ji+	ZO	(-0,65)
22.	136	TOP_ja	ZS	(0,62)
23.	82	TOP_in	ZO	(0,60)
24.	253	DR_ji+	BR	(0,59)
25.	243	TOP_ja	NR	(-0,67)
26.	74	TOP_ja		
27.	111	TOP_ja	ZO	(-0,66)
28.	66	TOP_in		
29.	3	TOP_ja	RZ	(0,55)
30.	279	DR_ji+	BR	(0,52)
31.	30	TOP_in		
32.	150	TOP_ja		

Ciąg dalszy tabeli na następnej stronie

Ciąg dalszy tabeli z poprzedniej strony

Kol.	Nr pozycji (ACL)	Typ pozycji	Wstępna struktura czynnikowa:	
			Przynależność pozycji do skali ¹ (ładunek czynnikowy ²)	
33.	230	DR_ji-	ZS	(-0,47)
34.	270	TOP_ja	ZS	(0,71)
35.	267	TOP_in		
36.	157	DR_ji-	NR	(0,48)
37.	154	DR_ji-		
38.	23	TOP_ja		
39.	8	TOP_in	AS	(0,82)
40.	12	TOP_ja	WI	(0,48)
41.	134	DR_ji-	WI	(-0,55)
42.	153	TOP_ja		
43.	291	TOP_in		
44.	49	TOP_in	ZO	(0,60)
45.	33	DR_ji+	PD	(0,54)
46.	191	TOP_ja	BF	(0,66)
47.	167	DR_ji+	PD	(0,60)
48.	252	TOP_ja	ZS	(0,65)
49.	43	DR_ji-	WS	(0,58)
50.	256	TOP_ja, DR_ji+	WI	(0,67)
51.	113	DR_ji-	BF	(-0,57)
52.	58	DR_ji+		
53.	20	DR_ji+	HM	(0,53)
54.	192	DR_ji+		
55.	251	DR_ji+	WI	(0,60)
56.	44	TOP_in		
57.	55	TOP_in	NA	(0,57)
58.	50	TOP_in	WS	(0,59)
59.	210	TOP_in	WS	(0,65)
60.	25	TOP_in	AS	(0,67)
61.	108	TOP_in	RZ	(-0,73)
62.	297	TOP_in	ZS	(-0,50)
63.	59	DR_ji+	BR	(0,49)
64.	5	TOP_in		
65.	262	DR_ji+	ZO	(-0,41)
66.	54	TOP_ja		
67.	69	TOP_in, DR_ji+		
68.	226	DR_ji+	RZ	(0,75)

Ciąg dalszy tabeli na następnej stronie

Ciąg dalszy tabeli z poprzedniej strony

Kol.	Nr pozycji (ACL)	Typ pozycji	Wstępna struktura czynnikowa: Przynależność pozycji do skali ¹ (ładunek czynnikowy ²)	
69.	184	TOP_in		
70.	185	TOP_in	AS (0,65)	
71.	236	DR_ji+	BF (0,59)	
72.	138	TOP_in	PD (0,58)	
73.	10	TOP_in	NA (0,78)	
74.	146	TOP_ja	BF (-0,73)	
75.	19	TOP_in	ZO (-0,76)	
76.	6	TOP_in		
77.	271	DR_ji-	WS (0,50)	
78.	143	TOP_in		
79.	70	DR_ji+		
80.	238	DR_ji+	WI (0,44)	
81.	198	TOP_in	AS (0,80)	
82.	188	DR_ji+		
83.	1	TOP_in	NA (0,74)	

Adnotacja. Kol. – kolejność, w jakiej pozycje testowe powinny być prezentowane osobie badanej podczas badania za pomocą QOS; Nr pozycji (ACL) – numer pozycji testowej w polskiej adaptacji *Listy przymiotnikowej ACL*; TOP_ja – charakterystyka osobowa potencjalnie trafniej oceniana z perspektywy Ja; TOP_in – charakterystyka osobowa potencjalnie trafniej oceniana z perspektywy innych osób; DR_ji+ – charakterystyka człowieka aktywnie dążącego do rozumienia siebie i innych (wprost); DR_ji- – charakterystyka człowieka aktywnie dążącego do rozumienia siebie i innych (wspak); AS – Atrakcyjność seksualna ($\alpha = 0,78$); BF – Beztroskie podejście do wydatkowania zasobów finansowych ($\alpha = 0,64$); BR – Bystrość i rezolucyjność ($\alpha = 0,60$); HM – Szerokie horyzonty myślowe ($\alpha = 0,54$); NA – Nieopanowanie i awanturczość ($\alpha = 0,70$); NR – Nieufność i rezerwa w kontaktach ($\alpha = 0,75$); PD – Powaga i dojrzałość ($\alpha = 0,58$); RZ – Rzetelne wykonywanie zadań ($\alpha = 0,74$); WI – Wrażliwość na potrzeby innych ($\alpha = 0,82$); WS – Wywyższanie się i niski szacunek do innych ($\alpha = 0,58$); ZO – Zaznaczanie swojej obecności w towarzystwie ($\alpha = 0,76$); ZS – Zadowolenie z siebie ($\alpha = 0,81$).

^a Czynniki otrzymano w wyniku eksploracyjnej analizy czynnikowej (EFA) metodą osi głównych na grupie $N = 556$ (63% kobiet). Zaprezentowana struktura czynnikowa ma wyłącznie charakter wstępny i wymaga dalszych badań. ^b Każdy podany ładunek czynnikowy dowodził wyraźnej przynależności danej pozycji do tylko jednej skali.

TYTUS SOSNOWSKI,

LILIANA JARMAKOWSKA-KOSTRZANOWSKA

Instytut Psychologii, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

Do czego potrzebna jest moc statystyczna testu?

Sposób cytowania: Sosnowski, T., Jarmakowska-Kostrzanowska, L. (2020). Do czego potrzebna jest moc statystyczna testu? W: M. Trojan, M. Gut (red.), *Nowe technologie i metody w psychologii* (s. 449–470). Warszawa: Liberi Libri. <https://doi.org/10.47943/lib.9788363487430.rozdzial21>

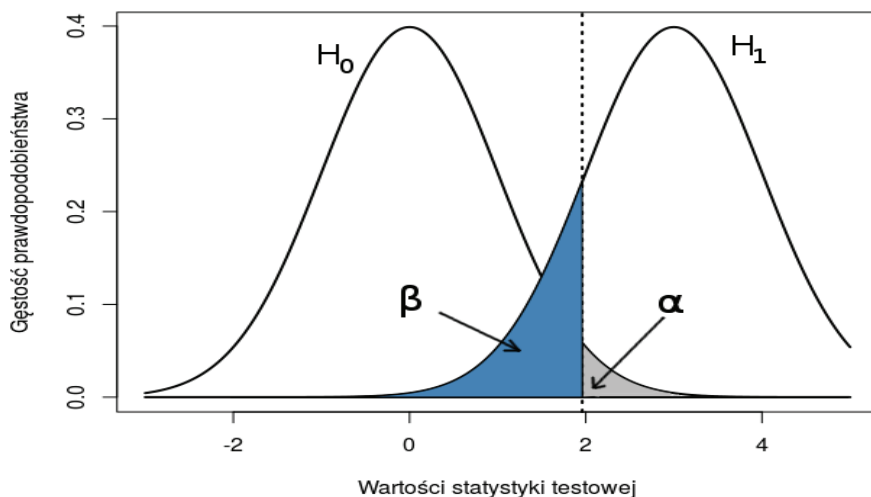
Czym jest moc statystyczna testu?

Celem badań empirycznych jest zazwyczaj poszukiwanie zależności istniejących w populacji na podstawie badania próby. Jest oczywiste, że wykrycie jakiegoś efektu jest łatwiejsze wtedy, gdy efekt ten jest duży, niż wtedy, gdy jest mały. W tym drugim przypadku może się zdarzyć, że, kierując się wyłącznie kryterium istotności statystycznej, uznamy, że interesujący nas efekt nie istnieje w populacji, podczas gdy faktycznie efekt ten występuje. Błąd taki, zwany błędem II rodzaju, traktowany jest często jako mniej ważny niż błąd I rodzaju, polegający na błędnym uznaniu, że jakiś efekt istnieje, podczas gdy faktycznie tak nie jest, a efekt zaobserwowany w próbie jest skutkiem czynników losowych lub błędów metodologicznych. Tak schematyczne podejście do problemu może jednak prowadzić do błędnych decyzji (Hoenig, Heisey, 2001).

Upraszczając nieco sprawę, można powiedzieć, że moc statystyczna testu (*statistical power* – SP) to prawdopodobieństwo wykrycia określonego efektu, o ile efekt taki rzeczywiście istnieje w populacji. Przykładowo, jeśli moc testu wynosi 0,25, to znaczy, że mamy 25% szans na wykrycie danego efektu. Nie oznacza to oczywiście, że w serii czterech podobnych badań uda nam się wykryć interesujący nas efekt dokładnie jeden raz. Oznacza natomiast, że jeśli liczba powtórzeń badania będzie rosła do nieskończoności, to względna częstość wykrycia efektu będzie zbliżać się do granicy 0,25.

Aby przybliżyć pojęcie mocy testu, należy odwołać się do podstawowych pojęć statystycznych. Błąd I rodzaju, zwany inaczej błędem alfa (α), to prawdopodobieństwo uznania hipotezy zerowej (H_0) przy założeniu, że jest ona fałszywa. Błąd II rodzaju, zwany inaczej błędem beta (β), to prawdopodobieństwo odrzucenia hipotezy zerowej (H_0) przy założeniu, że jest ona prawdziwa. Oba te błędy nie sumują się do jedności, ale pozostają ze sobą w związku. Ilustruje to (w sposób schematyczny) rysunek 1, na którym pokazano dwie krzywe gęstości statystyk testowych: jedną otrzymaną przy założeniu prawdziwości hipotezy zerowej H_0 , a drugą otrzymaną przy założeniu prawdziwości hipotezy alternatywnej (H_1). Błędy α i β zaznaczone są na rysunku jako skrajne fragmenty pola pod każdą z obu krzywych, odcięte za pomocą kropkowanej linii pionowej. Jeśli przesuniemy tę linię w prawo, błąd α ulegnie zmniejszeniu natomiast zwiększy się błąd β . Przesunięcie linii w lewo da efekt odwrotny. Umieszczenie linii pionowej można potraktować jako graficzny odpowiednik wybranego przez badacza poziomu α . Faktycznie jednak, badacz decyduje się każdorazowo na pewien kompromis między wielkością błędu α i błędu β .

Moc statystyczna testu definiowana jest jako $1 - \beta$. Problematyka mocy testu rozwijana jest co najmniej od lat '60 ubiegłego wieku (por. Cohen, 1962; Hays, 1981¹), a największy wkład w jej rozpropagowanie wniósł Jacob Cohen (zob. Cohen, 1988, 1992).



Rysunek 1. Relacja między błędem α i błędem β .

Analiza mocy testu jest ważna z wielu powodów. Po pierwsze, stosowanie testów o zbyt małej mocy (*underpowered*) może prowadzić do fałszywych wniosków, tj. uznania, że jakiś efekt nie istnieje, podczas gdy on faktycznie istnieje. Decyzje takie mogą mieć nieraz poważne konsekwencje praktyczne. Na przykład mogą prowadzić do uznania, że jakiś lek nie ma negatywnych skutków ubocznych (tzn. wielkość tych skutków jest zerowa), podczas gdy faktycznie powoduje on takie skutki. Po drugie, analiza mocy testu chroni przed „zaśmiecaniem” literatury wynikami niekonkluzywnymi. Jeśli wielkość efektu w populacji jest bardzo mała i moc testu jest również bardzo mała, to szansa na wykrycie takiego efektu jest niewielka, a wyciąganie wniosków z nieistotnych statystycznie wyników jest obarczone dużym ryzykiem błędu (por. Ellis, 2010; Kirk, 1996; Murphy, Myers, Wolach, 2009). Kierując się takimi powodami, coraz większa liczba czasopism naukowych wymaga od

1 Pierwsze wydanie podręcznika Haysa, zawierające analizę mocy testu, ukazało się w roku 1963.

autorów podawania mocy testu. Podobne wymagania zaczynają się pojawiać przy ocenie projektów przez instytucje finansujące badania (np. Narodowe Centrum Nauki).

Po trzecie, analiza mocy testu pozwala na bardziej racjonalne planowanie badań, w szczególności – na odpowiedni dobór wielkości próby. Próba zbyt mała obniża moc testu i, tym samym, zmniejsza szansę na wykrycie interesującego na efektu, natomiast próba zbyt duża powoduje niepotrzebne zwiększenie kosztów badań. Powstaje pytanie, jaka powinna być moc testu. Tam gdzie jest to możliwe, powinna być większa niż 0,50, gdyż prawdopodobieństwo wykrycia efektu jest wtedy większe niż prawdopodobieństwo jego niewykrycia (por. Murphy i in., 2009). Skutki stosowania testów o zbyt małej mocy dobrze ilustruje przykład, jaki przytacza Rossi (1990). Wyniki badań nad spontanicznym przypominaniem (*spontaneous recovery*), opublikowane w latach 1948–1969, były niespójne: z 48 badań tylko 20 dało wyniki istotne statystycznie. Przeprowadzona przez autora meta-analiza wykazała, że średnia moc stosowanych testów wynosiła 0,3875, co niemal dokładnie odpowiadało procentowi wyników istotnych statystycznie (41,70%).

Zdaniem Cohena (1988), wielkość mocy testu powinna wynosić 0,80. Inaczej mówiąc, proponuje on, aby zalecana wielkość błędu β (0,20) była czterokrotnością powszechnie akceptowanej wielkości błędu α (0,05). Propozycja przyjęcia takiej konwencji spotyka się ze zróżnicowaną opinią specjalistów (por. Ellis, 2010). Ponadto postulat ten kłóci się z praktyką badawczą. W roku 1962 Cohen dokonał pierwszej meta-analizy mocy statystycznej testów. Objęła ona 2088 testów zaczerpniętych z 70 artykułów opublikowanych w roczniku 1960 czasopisma *Journal of Abnormal and Social Psychology*. Przeprowadzona analiza wykazała, że średnia moc testów, w przypadku małych, umiarkowanych i dużych efektów, wynosiła odpowiednio: 0,18, 0,48 i 0,83. W roku 1990 Rossi przedstawił obszerne podsumowanie 25 artykułów przeglądowych, zawierających analizę mocy statystycznej 39 863 testów zaczerpniętych z 1517 artykułów, opublikowanych w 39 czasopismach z różnych dziedzin nauki w latach 1960–1984. Średnia moc testów, w przypadku małych, umiarkowanych i dużych efektów, wynosiła, odpowiednio: 0,26, 0,64 i 0,85. Nowsze zestawienie Ellisa (2010), podsumowujące wyniki 25 prac przeglądowych, zawierających analizę wyników opublikowanych w 60 czasopismach z zakresu różnych nauk społecznych w latach 1960–2000, wskazuje na nieco wyższe wyniki: 0,22, 0,74 i 0,92. Jak widać z przedstawionych wyżej analiz, średnia moc testów zdecydowanie odbiegała od wartości 0,8 w przypadku małych efektów, była również

od niej niższa w przypadku efektów umiarkowanej wielkości, a przekraczała wartość postulowaną przez Cohena tylko w przypadku dużych efektów.

Skąd wzięła się koncepcja mocy statystycznej testu?

Jak wspomniano wyżej, moc testu definiuje się w kategoriach niepopęśnienia błędu II-go rodzaju (Neyman, 1977), stąd w zapisie mamy $1 - \beta$. Jest to pojęcie z leksykonu szkoły frekwentystycznej, która czerpie w bardzo dużym stopniu z historycznych korzeni rachunku prawdopodobieństwa: z gier hazardowych. To tu najłatwiej można sobie wyobrazić wielokrotne powtarzanie tej samej czynności, np. nieskończony ciąg rzutów monetą, i na podstawie wyników wnioskować, że jeśli połowa z rzutów skończy się reszką, to prawdopodobieństwo otrzymania reszki wynosi $\frac{1}{2}$. Taka jest geneza częstościowej interpretacji prawdopodobieństwa, czyli stabilizującej się częstości występowania pewnego zdarzenia (przykładowo: otrzymanie reszki) w rosnącym do nieskończoności ciągu powtórzeń tej samej czynności.

Rzut monetą można utożsamić z pojedynczym badaniem, w którym badacz przeciwstawia dwie hipotezy: zerową H_0 i alternatywną H_1 , więc może w związku z tym popełnić dwa rodzaje błędów: I-go i II-go rodzaju (omówione powyżej). Zadaniem frekwentysty było zaprojektować test statystyczny, aby nie mylić się za często (Neyman, Pearson, 1933). Rezultatem są próby kontroli błędów w kontekście wielokrotnego powtarzania tego samego eksperymentu – pojedynczy wynik nie ma znaczenia, a liczy się liczba pomyłek obu rodzajów w bardzo długim ciągu powtórzeń badania.

Jednak podejście frekwentystyczne to tylko połowa obecnie stosowanej procedury testowania istotności hipotezy zerowej. Druga połowa to myśl statystyczna Fishera. Można zadać pytanie, czy Fisher podzielał idee Neymana, czy też stworzył własny system. Jak się okazuje, Fisher (1955) odrzucał ideę błędu II-go rodzaju i aż do późnych wydań swojego podręcznika nie rozważał kontrolowania mylnego odrzucenia hipotezy zerowej, choć i wówczas nie wprowadzał tego terminu bezpośrednio, pisząc jedynie o wrażliwości (sensytywności) testu statystycznego (Fisher, 1971).

Z powyższego zestawienia obu podejść wynika, że analizując moc, badacz wchodzi do frekwentystycznej szkoły testowania hipotez, w której obowiązuje frekwentystyczne (częstościowe) interpretowanie prawdopodobieństwa. Również Cohen, czołowa postać w dziedzinie badań nad mocą statystyczną testu, pozostaje pod silnym wpływem frekwentystycznej szkoły testowania hipotez.

Od czego zależy moc statystyczna testu?

Moc testu (SP) jest zasadniczo funkcją trzech czynników: wielkości efektu w populacji (*effect size* – ES), wielkości próby – n , oraz przyjętego poziomu istotności statystycznej – α (najczęściej 0,05). Im większy ES, większe n i wyższy poziom α , tym moc testu jest większa. Moc testu zależy też od rodzaju testu statystycznego (np. kontrasty *a priori* mają zazwyczaj większą moc niż kontrasty *post hoc*), ale ten problem zostanie tu pominięty.

Przykładowe dane, ilustrujące zależności między wskazanymi wyżej zmiennymi, przedstawiono w tabeli 1. Wiersze 1–2 ilustrują różnice w mocy testu wywołane różną wielkością efektu, wiersze 2–4 natomiast – różnice spowodowane różną wielkością próby (dla prób równolicznych).

Tabela 1

Przykładowe wartości mocy testu t-Studenta dla różnicy między średnimi dla prób niezależnych ($\alpha = 0,05$, test dwustronny)*

Wielkość efektu (<i>d Cohena</i>)	$n (n_1 = n_2)$	Moc testu
0,2	15	0,08
0,5	15	0,26
0,5	32	0,50
0,5	64	0,80

Adnotacja. Źródło: Cohen, 1988 (s. 36–37, tabela 2.3.5).

Dwa podejścia do analizy mocy testu

W literaturze można spotkać się z dwoma podejściami do analizy mocy testu, a dokładniej – do celu takiej analizy. Są to podejścia na tyle różne, że warto poświęcić im nieco więcej uwagi.

Zgodnie z pierwszym z nich, analiza mocy statystycznej ma służyć przede wszystkim racjonalnemu planowaniu badań. Podejście takie nazywa się prospektywnym lub podejściem *a priori*. Podejście to może mieć kilka wariantów. Po pierwsze, znając wielkość ES, n i α , możemy obliczyć moc wybranego testu i ocenić, czy jest ona wystarczająca. Po drugie, przyjmując określoną wielkość efektu i wielkość błędu α , możemy obliczyć wielkość próby niezbędną dla uzyskania oczekiwanej (lub wymaganej) mocy testu. Są to dwa podstawowe warianty podejścia prospektywnego. Może się jednak zdarzyć, że wielkość

efektu jest bardzo mała, a przebadanie dostatecznie dużej próby jest bardzo trudne lub praktycznie niemożliwe (przykładowo, badaną populacją są pacjenci cierpiący na bardzo rzadką chorobę). W takim wypadku możemy obliczyć poziom błędu α (inny niż zwyczajowe 0,05), przy którym test będzie miał zadowalającą moc. Możemy wreszcie obliczyć wielkość efektu, jaki można wykryć przy określonej mocy testu oraz wybranych wielkościach n i α . Wariant ten określa się mianem analizy wrażliwości (*sensitivity*) testu. W literaturze można spotkać również inne warianty analizy prospektywnej (por. podrozdział *Obliczanie mocy testu* w niniejszym opracowaniu).

Niekiedy możemy się spotkać z innym podejściem do analizy mocy testu, zwanym analizą retrospektywną lub analizą *post hoc* (por. Gelman, Carlin, 2014; Hoenig, Heisey, 2001; Nakagawa, Foster, 2004). Polega ono na analizie mocy testu na podstawie wyników uzyskanych w badanej próbie (*observed power*). Analiza taka, rekomendowana przez niektóre czasopisma (por. Hoenig, Heisey, 2001), wykorzystywana bywa przez autorów do wyjaśniania *ex post* przyczyn nieistotnych statystycznie wyników w warunkach, gdy oczekiwali oni wyników istotnych (niektórzy autorzy piszą o takiej interpretacji jako o szukaniu „alibi” dla nieistotnych statystycznie wyników; por. Gelman, Carlin, 2014). Przykładowo, badacz może dowodzić, że otrzymany wynik okazał się nieistotny, ponieważ moc testu była niewystarczająca z powodu zbyt małej próby. Gdyby więc próba była większa, wynik mógłby okazać się istotny. Jest to jednak wnioskowanie zasadniczo niepoprawne. Wielkość efektu w próbie jest zmienną losową. Przy tej samej wielkości efektu w populacji jego wielkość w próbie może przybierać różne wartości. Wiemy, że aby obliczyć wielkość błędu α , musimy znać rozkład gęstości statystyki testowej przy założeniu hipotezy zerowej, czyli przy założeniu, że wielkość efektu w populacji wynosi 0. Analogicznie, aby obliczyć wielkość błędu β , musimy znać rozkład gęstości tejże statystyki przy założeniu, że wielkość efektu w populacji przybiera określoną, niezerową wartość. Zastąpienie wielkości efektu w populacji wielkością efektu w próbie podważa więc podstawowe założenie analizy mocy testu (por. Hoenig, Heisey, 2001; Nakagawa, Foster, 2004). Ponadto moc testu oceniana retrospektywnie jest funkcją otrzymanej p -wartości. Analiza mocy testu nie wnosi więc w takim wypadku niczego nowego do interpretacji wyników (Hoenig, Heisey, 2001). Warto o tym pamiętać, posługując się np. wskaźnikami mocy testów dostępnymi w programie SPSS. Są to wskaźniki mocy obserwowanej, oszacowanej na podstawie wielkości efektu w próbie.

Wielkość efektu

Pojęcie efektu, w rozumieniu statystycznym, oznacza jakąś zależność między zmiennymi. Wielkość efektu definiowana jest przez Cohena (1988, s. 9–10) jako: „stopień, w jakim jakieś zjawisko istnieje w populacji lub stopień, w jakim hipoteza zerowa jest fałszywa”. O istnieniu efektu w populacji wnioskujemy wtedy, gdy podejmujemy decyzję o odrzuceniu hipotezy zerowej, tj. gdy uznajemy, że prawdopodobieństwo otrzymania wyniku zaobserwowanego w próbie przy założeniu H_0 jest zbyt niskie. Nieodrzućenie hipotezy zerowej nie oznacza jednak, że wielkość interesującego nas efektu w populacji wynosi dokładnie 0. Jak napisał kiedyś John W. Tukey (1991, s. 100), „(...) świat nas uczy, że efekty A i B są zawsze różne – z dokładnością do pewnego miejsca dziesiętnego – dla dowolnych A i B. Dlatego pytanie o to »czy efekty się różnią« jest niemądre [*foolish*]”. Kontynuując tę myśl, Kirk (1996, s. 747) stwierdza: „Ponieważ więc hipoteza zerowa jest zawsze fałszywa, decyzja o jej odrzuceniu świadczy po prostu o tym, że plan badawczy miał moc wystarczającą do tego, aby wykryć faktyczny stan rzeczy, którym może być lub może nie być duży efekt, a nawet użyteczny efekt”. Zgodnie z takim podejściem, decyzja o nieodrzućeniu o hipotezy zerowej świadczyłaby o tym, że wielkość efektu była zbyt mała, aby można go było wykryć przy danej mocy testu. W wielu przypadkach tak mały efekt można uznać za pomijalny, niekiedy jednak może on mieć ważne znaczenie teoretyczne lub praktyczne. Problem statusu hipotezy zerowej od lat budzi dyskusje wśród statystyków, a także skłania, nawet w ramach podejścia frekwencyjnego, do poszukiwania podejść alternatywnych wobec tradycyjnej metody jej testowania (*null hypothesis significance testing* – NHST; por. Cohen, 1994; Murphy i in., 2009).

Szacowanie wielkości efektu jest ważne z co najmniej dwóch powodów. Po pierwsze, pozwala lepiej zaprezentować wyniki uzyskane w badaniu. Wiele czasopism, a także instytucji finansujących badania zaleca, albo wręcz wymaga, aby prezentując wyniki badań empirycznych, autor podawał nie tylko poziom istotności statystycznej, ale również wielkość zaobserwowanego efektu. Stanowisko takie możemy znaleźć w rekomendacjach formułowanych przez wielu statystyków (Ellis, 2010; Grissom, Kim, 2012; Kirk, 1996), a także – ekspertów American Psychological Association (por. APA, 1994, 2001, 2010; Wilkinson and the Task Force on Statistical Inference, 1999). Jak piszą autorzy piątej edycji podręcznika APA (2001, s. 25), „aby czytelnik mógł w pełni zrozumieć znaczenie wyników, prawie zawsze konieczne jest włączenie do

ich prezentacji jakiegoś wskaźnika wielkości efektu lub siły związku”. Sama istotność statystyczna dostarcza bardzo ograniczonych informacji o analizowanym problemie, zależy bowiem od wielu czynników, takich jak: wielkość efektu, wielkość próby, wybrany poziom błędów α , rodzaj testu (jednostronny lub dwustronny), wariancja wyników czy stopień, w jakim analizowane dane spełniają założenia modelu statystycznego.

Po drugie, wielkość efektu jest konieczna do obliczenia mocy statystycznej testu, a uwzględnienie mocy testu w planowaniu badań zaczyna być obecnie zalecane w standardach metodologicznych dla badań psychologicznych (por. APA, 2010; Wilkinson and the Task Force on Statistical Inference, 1999). Należy jednak pamiętać, że wielkość efektu, o której mówimy w obu wymienionych wyżej przypadkach, nie oznacza dokładnie tego samego. Wielkość efektu zaobserwowana w konkretnym badaniu (w konkretnej próbie) jest zmienną losową. Badając wielokrotnie ten sam efekt, możemy zaobserwować za każdym razem inną jego wielkość. Natomiast w analizie mocy testu potrzebna jest wielkość efektu w populacji. Skąd jednak wziąć tę wartość? Wielkości efektu w populacji praktycznie nigdy dokładnie nie znamy. Gdybyśmy ją znali, nie byłoby przecież potrzeby robienia badań. Faktycznie, w analizie mocy statystycznej posługujemy się zakładaną wielkością efektu. Jak podkreśla Cohen (1992, s. 157), „(...) trzeba pamiętać, że wielkość efektu założona przez badacza jest tą, która w jego przekonaniu istnieje w populacji, a obliczona liczebność próby opiera się na takim założeniu”.

Jak zatem można oszacować wielkość efektu potrzebną do analizy mocy testu? Nie ma na to idealnej metody. Po pierwsze, możemy odwołać się do teorii, jeśli wynika z niej wielkość interesującego nas efektu. Przykładów takich oszacowań dostarcza np. fizyka i astronomia, w badaniach behawioralnych jest to jednak dużo trudniejsze (por. Murphy i in., 2009). Po drugie, możemy oprzeć się wynikach wcześniejszych badań, zwłaszcza – na ich meta-analizie (por. Borenstein, Hedges, Higgins, Rothstein, 2009; Ellis, 2010; Hedges, Pigott, 2001; Lipsey, Wilson, 2001). Dane z meta-analizy nie zawsze są jednak dostępne, zwłaszcza gdy problematyka badań jest nowa. Meta-analiza może być również utrudniona, gdy analizowane raporty z badań bardzo się różnią pod względem metodologicznym, tematycznym, lub też brakuje w nich potrzebnych danych (por. Hedges, Pigott, 2001; Lipsey, Wilson, 2001; Prentice, Miller, 1992). Po trzecie wreszcie, jeśli nie możemy odwołać się do wspomnianych wyżej metod dedukcyjnych lub indukcyjnych, możemy przyjąć arbitralnie określoną wielkość efektu, jeśli z jakichś powodów jest ona dla nas ważna, i dostosować do

niej moc testu. Przykładowo, badając skuteczność diety odchudzającej, badacz może przyjąć, że wartym uwagi jej efektem jest spadek masy ciała o 3 kg.

Szacowanie wielkości efektu

Szacowanie wielkości efektu jest problemem z wielu powodów złożonym. Po pierwsze, w przeciwieństwie do mocy testu, która wyrażana jest zawsze jako wartość prawdopodobieństwa, wielkość efektu nie ma jednej miary, przeciwnie – miar takich jest bardzo wiele. Niekiedy wielkość efektu możemy wyrazić w jednostkach, w jakich mierzymy zmienną zależną. Przykładowo, wielkość różnicy między czasem reakcji dwóch grup może być wyrażona w milisekundach, a różnica między dwoma pomiarami ciśnienia skurczowego – w mmHg. Zastosowanie takich miar jest jednak ograniczone do wybranej dziedziny badań, dlatego też zazwyczaj posługujemy się bardziej uniwersalnymi miarami statystycznymi. Miar takich jest jednak również bardzo wiele (por. Borenstein i in., 2009; Brzeziński, 2019; Cohen, 1988; Ellis, 2010; Grissom, Kim, 2012; Kirk, 1996; Kline, 2013; Lalongo, 2016; Lipsey, Wilson, 2001; Rosenthal, Rosnow, Rubin, 2000). Co więcej – nie są one wyskalowane w jednakowy sposób. Przykładowo, d Cohena definiowane jest jako różnica między średnimi wyrażona w jednostkach odchylenia standardowego, a R^2 , η^2 czy ω^2 – jako proporcja wyjaśnianej wariancji (*proportion of variance* – PV). Niektóre wskaźniki wielkości efektu można, co prawda, przekształcić w inne (np. d Cohena można przekształcić we współczynnik r Pearsona i na odwrót; por. Ellis, 2010), ale nie zawsze taka transformacja jest możliwa. Utrudnia to porównywanie różnych miar wielkości efektu. Aby zminimalizować ten problem, Cohen (1988) zaproponował poklasyfikowanie wielkości efektu na trzy kategorie, tj. efekt mały (*small*), umiarkowany (*medium*) i duży (*large*) oraz przyjęcie umownych kryteriów tej klasyfikacji (nie są one jednakowe dla wszystkich testów; por. tabela 2). Propozycja ta spotyka się z niejednoznaczną oceną. Zdaniem Glassa (za: Ellis, 2010), klasyfikacja Cohena, przypominająca klasyfikację rozmiarów T-shirtów, abstrahuje od rodzaju badanego zjawiska. Zależnie do kontekstu podejmowanej decyzji, taki sam – co do swej wielkości liczbowej – efekt, może być oceniony raz jako mały, a innym razem jako duży. Niezależnie od tych problemów, wielość wskaźników wielkości efektu komplikuje analizę mocy testu. Badacze starają się więc dokonać pewnej unifikacji tych wskaźników. Przykładowo, Cohen (1988, 1992), oparł swą

analizę mocy testów na ośmiu podstawowych wskaźnikach wielkości efektu (por. podrozdział *Tablice Cohena*).

Po drugie, należy odróżniać wielkość efektu, rozumianego jako parametr populacji, od jego estymatorów oszacowanych na podstawie z próby. Przykładowo, wskaźnik d Cohena (1988) definiowany jest jako różnica między dwiema średnimi w populacji podzielona przez odchylenie standardowe w tejże populacji: $d = (\mu_A - \mu_B)/\sigma$. Ponieważ jednak dokładnych wartości tych parametrów nigdy praktycznie nie znamy, zdani jesteśmy na dane uzyskane z próby. Możemy się wówczas posłużyć wzorem: $d_s = (\bar{X}_A - \bar{X}_B)/s$ (por. podrozdział *Test t-Studenta dla dwóch średnich*). Wielkości efektu z próby mogą być potem użyte w meta-analizie do oszacowania wielkości efektu w populacji. Trzeba jednak zaznaczyć, że symbol d używany jest często na oznaczenie zarówno parametru populacji, jak i jego estymatorów, co może prowadzić do nieporozumień² (por. Ellis, 2010). Ponadto istnieją inne estymatory parametru d , np. g Hedgesa (dla grup o nierównej liczebności) lub Δ Glassa (dla grup o nierównych odchyleniach standardowych), różniące się sposobem oszacowania odchylenia standardowego w populacji (por. Ellis, 2010; Kirk, 1996).

Na koniec warto zaznaczyć, że obok punktowej estymacji wielkości efektu możemy posłużyć się również jego estymacją przedziałową, pozwalającą oszacować granice tzw. przedziału ufności (*confidence interval*, CI). Jest on niekiedy nieprawidłowo interpretowany w ten sposób, że z określonym prawdopodobieństwem (np. 95%), interesujący nas parametr mieści się w danym przedziale wartości (por. Ellis, 2010). Prawidłowa, frekwentystyczna interpretacja przedziału ufności jest jednak inna: gdyby przeprowadzano badanie nieskończenie wiele razy, to 95% obliczanych przedziałów zawierałoby prawdziwą wartość parametru w populacji (bo konkretny przedział ufności albo zawiera, albo nie zawiera tego parametru).

Estymacja przedziałowa dostarcza informacji o precyzji oszacowania rzeczywistej wielkości efektu. Jest ona bardzo zalecana przez wielu autorów (por. Ellis, 2010; Grissom, Kim, 2012; Kirk, 1996), jak również przez ekspertów APA (Wilkinson and the APA Task Force on Statistical Inference, 1999). Mimo to,

2 Zgodnie z konwencją przyjętą w statystyce, parametry populacji oznaczamy literami greckimi (np. σ), statystyki z próby – literami rzymskimi (np. s), a estymatory parametrów – literami rzymskimi z daszkiem (np. $\hat{s}$), choć w wielu pracach konwencja ta jest nieprzestrzegana. Ponieważ, wbrew tej konwencji, Cohen używa symbolu d na oznaczenie parametru populacji, Algina, Keselman i Penfield (2005) oraz Hedges (1983) proponują, aby parametr ten oznaczać symbolem δ (delta) a literą d oznaczać jego estymator. Propozycja ta jednak nie upowszechniła się.

jest ona stosowana stosunkowo rzadko. W naukach społecznych pojawia się jedynie w około 2% badań (Ellis, 2010).

Estymacja przedziałowa wielkości efektu jest stosowana w raportach z badań oraz w meta-analizie takich wyników (por. Borenstein i in., 2009; Ellis, 2010). W analizie mocy statystycznej testu stosuje się jednak punktowe oszacowanie wielkości efektu. Aby obliczyć moc testu, trzeba bowiem przyjąć/założyć określoną wielkość efektu w populacji.

Obliczanie mocy testu

Jak wspomniano wcześniej, moc statystyczna testu (SP) jest funkcją trzech zmiennych: wielkości efektu w populacji (ES), wielkości próby (n) oraz przyjętego poziomu istotności statystycznej (α). Znając wartość trzech z tych zmiennych, można obliczyć wartość czwartej³. Zazwyczaj, korzysta się w tym celu z odpowiednich tablic statystycznych lub programów komputerowych. Tablice dla wybranych testów można znaleźć w wielu pracach (por. Ellis, 2010; Howell, 2007; Murphy i in., 2009; Rossi, 1985), ale najobszerniejszy ich zestaw zawiera monografia Cohena (1988). Istnieje również wiele programów komputerowych dedykowanych do analizy mocy testu, a niektóre z nich są ogólnie dostępne w Internecie. Najbardziej popularnym z takich programów jest program G*Power. Jego krótki opis i przykłady analizy danych można znaleźć w niektórych podręcznikach statystyki dla psychologów (Lomax, Hahs-Vaughn, 2012). Poniżej przedstawiono krótką charakterystykę tablic Cohena i programu G*Power.

Tablice Cohena. Monografia Cohena (1988), obok tablic statystycznych, zawiera definicje podstawowych pojęć i wskaźników, wyjaśnienie zachodzących między nimi relacji, oraz wiele przykładowych analiz, ilustrujących posługiwanie się tablicami. Same tablice opisane są jednak w sposób bardzo skąpy (brak w nich objaśnień symboli statystycznych). Aby więc posłużyć się nimi, trzeba zapoznać się dokładnie z tekstem odpowiedniego rozdziału. Niektóre partie monografii wymagają również nieco bardziej zaawansowanej znajomości statystyki.

3 W niektórych tabelach i programach statystycznych zamiast wielkości próby stosowana jest liczebność grupy lub liczba stopni swobody.

Tablice Cohena oparte są na ośmiu podstawowych wskaźnikach wielkości efektu. Autor podaje zarówno definicje poszczególnych efektów (zdefiniowanych jako parametry populacji), jak i statystyk będących ich estymatorami, przy czym oba rodzaje wskaźników oznaczane są zazwyczaj takim samym symbolem. Wykaz stosowanych przez Cohena estymatorów wielkości efektu oraz umowne oceny ich wielkości podane są w tabeli 2.

Tabela 2

Estymatory wielkości efektu stosowane w tablicach Cohena (1988)

LP	Rodzaj testu / efektu	Wskaźnik wielkości efektu	Klasyfikacja wielkości efektu		
			<i>Mały</i>	<i>Średni</i>	<i>Duży</i>
1	Test <i>t</i> -Studenta	<i>d</i>	0,20	0,50	0,80
2	Korelacja wg momentu iloczynowego	<i>r</i>	0,10	0,30	0,50
3	Różnica między współczynnikami korelacji	<i>q</i>	0,10	0,30	0,50
4	Odchylenie proporcji od 0,5	<i>g</i>	0,05	0,15	0,25
5	Różnica między proporcjami	<i>h</i>	0,20	0,50	0,80
6	Test χ^2	<i>w</i>	0,10	0,30	0,50
7	Analiza wariancji i kowariancji	<i>f</i>	0,10	0,25	0,40
8	Wielokrotna analiza regresji i korelacji	<i>f</i> ²	0,02	0,15	0,35

Ponieważ niektóre wskaźniki wielkości efektu, używane w tablicach Cohena, są rzadko stosowane przez psychologów, poniżej podano ich krótką charakterystykę.

Test *t*-Studenta dla dwóch średnich. Wskaźnikiem wielkości efektu dla testu *t* jest *d* Cohena, definiowane jako standaryzowana różnica między średnimi w populacji: $d = (\mu_A - \mu_B) / \sigma$. Tablice statystyczne skonstruowane zostały dla testu *t* dla dwóch niezależnych, równolicznych prób, o takiej samej wariancji, pobranych z populacji o rozkładzie normalnym. W związku z tym, estymatorem σ może być odchylenie standardowe w którejkolwiek z tych prób. Tablice można jednak stosować również w innych przypadkach: (1) dla niezależnych prób o nierównej liczebności, (2) dla niezależnych prób o nierównych wariancjach, (3) dla testu dla *t* dla jednej próby oraz (4) dla testu *t* dla prób zależnych. Przypadki 1–4 wymagają jednak modyfikacji wzorów na estymację *d*. Przy nierównolicznych próbach ($n_A \neq n_B$) wielkość próby powinna być liczona jako średnia harmoniczna liczebności obu prób (n'):

$$n' = \frac{2 n_A n_B}{n_A + n_B}$$

Dane potrzebne do analizy mocy testu t przedstawione zostały w sześciu tablicach: 2.3.1 – 2.3.6, tj. oddzielnych tablicach dla każdego z trzech poziomów błędu α (0,01, 0,05 i 0,10) oraz każdej z dwóch wersji testu (jednostronny lub dwustronny). Po wyborze odpowiedniej tablicy możemy odszukać w niej wielkość mocy statystycznej dla określonej wielkości efektu (d) i wielkości próby (n). Dodatkowo, w tablicach podana jest krytyczna wartość wielkości efektu (d_c). Pozwala to sprawdzić, czy, przy danej wielkości próby i danym poziomie błędu α , określona wielkość efektu w próbie będzie większa od wartości krytycznej, a tym samym – czy będzie istotna statystycznie. Wielkość efektu zaobserwowanego w próbie (d_s) dla testu t dla dwóch niezależnych grup można policzyć za pomocą wzoru: $d_s = (\bar{X}_A - \bar{X}_B)/s$, gdzie $\bar{X}_A$ i $\bar{X}_B$ to średnie dla obu grup, natomiast s to uśrednione (*pooled*) odchylenie standardowe z obu grup:

$$s = \sqrt{\frac{\sum(X_A - \bar{X}_A)^2 + \sum(X_B - \bar{X}_B)^2}{n_A + n_B - 2}}$$

W sposób podobny jak opisany wyżej, skonstruowane są tablice dla innych testów. Monografia zawiera również wiele tablic pomocniczych.

Korelacja. Wskaźnikiem wielkości efektu dla korelacji jest współczynnik r Pearsona. Wielkości mocy testu dla różnych r można znaleźć w tablicach 3.3.1–3.3.6.

Różnica między dwoma współczynnikami korelacji. Wskaźnikiem wielkości efektu dla tej analizy jest współczynnik q definiowany jako różnica między dwoma współczynnikami korelacji po ich transformacji na wskaźnik z Fishera: $q = z_1 - z_2$; tablice mocy: 4.3.1–4.3.6.

Odchylenie proporcji od wartości 0,50. Wskaźnikiem wielkości tego efektu jest współczynnik g , definiowany jako: $g = (0,5 - p)$. Tablice mocy: 5.3.1–5.3.6.

Różnica między dwiema proporcjami. Wskaźnikiem wielkości tego efektu jest wskaźnik h definiowany jako różnica między dwiema proporcjami po ich

transformacji na ϕ : $h = \phi_1 - \phi_2$, gdzie $\phi = 2 \arcsin \sqrt{p}$. Wielkość mocy statystycznej można znaleźć w tablicach: 6.3.1–6.3.6. Dodatkowa tablica 6.2.1 pozwala przeliczyć p na ϕ .

Test χ^2 . Wskaźnikiem wielkości efektu dla tego testu jest współczynnik w , który jest funkcją współczynnika kontyngencji C . Wartość C można z kolei obliczyć na podstawie χ^2 .

$$C = \sqrt{\frac{\chi^2}{\chi^2 + N}} \quad w = \sqrt{\frac{C^2}{1 - C^2}}$$

Wartości mocy testu dla różnych wartości w podane są w 42 tablicach: 7.3.1–7.3.42. Każda z nich przeznaczona jest dla innej liczby stopni swobody (u) oraz innego poziomu błędu α (0,01, 0,05 lub 0,10). Liczba stopni swobody wynosi: $u = (r - 1)(k - 1)$, gdzie r oznacza liczbę wierszy, zaś k liczbę kolumn tabeli wielodzielczej.

Analiza wariancji i kowariancji. Wskaźnikiem wielkości efektu jest w tym wypadku współczynnik f , definiowany jako stosunek odchylenia standardowego między średnimi do odchylenia standardowego wewnątrz grup⁴:

$$f = \frac{\sigma_m}{\sigma}$$

Stanowi on miarę siły efektów głównych i interakcyjnych w analizie wariancji i kowariancji. Ponieważ współczynniki d i f mają taki sam mianownik, to w przypadku, kiedy liczba grup równa się 2, można łatwo przeliczyć d na: f : $f = \frac{1}{2}d$. Wartość można f też obliczyć na podstawie innego wskaźnika wielkości efektu – η^2 :

$$f = \sqrt{\frac{\eta^2}{1 - \eta^2}}$$

W tym miejscu warto zauważyć, że chociaż η^2 definiowane jest często jako proporcja wariancji całkowitej wyjaśnianej przez zmienną niezależną, to faktycznie wskaźnik ten jest stosunkiem sumy kwadratów między grupami

4 Symbol nosi nazwę *floren*.

SS_m do całkowitej sumy kwadratów zmiennej zależnej SS_c (podobnie, R^2 jest stosunkiem sumy kwadratów wyjaśnianej/przewidywanej przez równanie regresji do całkowitej sumy kwadratów zmiennej zależnej):

$$\eta^2 = \frac{SS_m}{SS_c}$$

Współczynniki mocy testu dla analizy wariancji i kowariancji zawarte są w 33 tablicach: 8.3.1–8.3.33, z których każda skonstruowana jest dla jednego z 11 poziomów stopni swobody dla licznika testu F oraz jednego z trzech poziomów błędu α .

Analiza korelacji i regresji wielokrotnej. Wskaźnikiem wielkości efektu w tej analizie jest współczynnik f^2 , będący funkcją współczynnika determinacji R^2 . Dla R^2 jako miary siły związku między zmienną kryterialną Y i określonym zestawem predyktorów B , f^2 równa się:

$$f^2 = \frac{R_{Y \cdot B}^2}{1 - R_{Y \cdot B}^2}$$

Gdy interesuje nas wielkość efektu wywołanego dołączeniem zespołu predyktorów B do innego zespołu predyktorów A (czyli interesuje nas odpowiednik statystyki ΔR^2), f^2 równa się:

$$f^2 = \frac{R_{Y \cdot A, B}^2 - R_{Y \cdot A}^2}{1 - R_{Y \cdot B}^2}$$

W tabelach Cohena jako miara wielkości efektu dla korelacji/regresji wielokrotnej używany jest jednak nie wskaźnik f^2 , ale parametr niecentralności (*noncentrality parameter*) – λ . Wartość λ można obliczyć według wzoru: $\lambda = f^2(u + v + 1)$, gdzie u i v to liczby stopni swobody dla, odpowiednio, wariancji wyjaśnianej przez równanie regresji i wariancji resztowej. Współczynniki mocy testu podane są w dwóch tablicach 9.3.1 i 9.3.2, skonstruowanych dla dwóch poziomów błędu α (0,01 lub 0,05). Każda z tablic podaje wielkość mocy testu dla kilku wybranych stopni swobody licznika i mianownika testu F . Wskaźnik f^2 może być również używany jako miara wielkości efektu w bardziej złożonych modelach analizy regresji oraz w analizie wielozmiennowej.

Program G*Power 3. G*Power to dostępny w Internecie, darmowy program komputerowy opracowany przez Faula, Erdfeldera, Langa i Buchnera (2007; por. Faul, Erdfelder, Lang, Buchner, 2009). Jego najnowsza wersja 3.1.9.4 oraz podręcznik do programu opublikowane zostały 6 lutego 2019 r. i są dostępne pod adresem: www.gpower.hhu.de. Posługiwanie się programem nie jest trudne, chociaż zrozumienie niektórych pojęć wymaga zaawansowanej wiedzy statystycznej. Zawiera on moduły do analizy mocy 28 różnych testów statystycznych i umożliwia pięć typów analizy mocy testu:

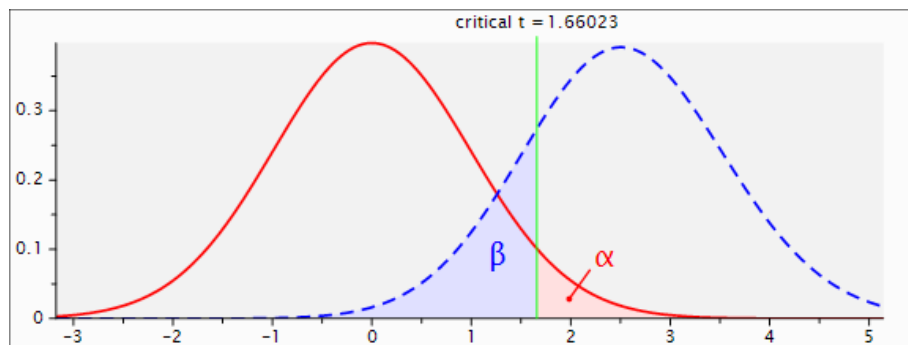
- analiza *a priori* – obliczanie pożądanej wielkości próby (autorzy oznaczają ją symbolem N) jako funkcji mocy testu ($1 - \beta$), poziomu istotności α , oraz wielkości efektu w populacji (ES), który zamierzamy wykryć.
- analiza kompromisowa (*compromise*) – obliczanie α oraz $1 - \beta$ jako funkcji wielkości efektu, N oraz wskaźnika q , będącego ilorazem błędów obu rodzajów: $q = \beta/\alpha$.
- analiza kryterium – obliczanie wielkości α oraz krytycznej wartości testu, jako funkcji $1 - \beta$, wielkości efektu oraz N .
- analiza *post hoc*: obliczanie mocy testu ($1 - \beta$) jako funkcji α , wielkości efektu w populacji oraz N^5 .
- analiza wrażliwości (*sensitivity*): obliczanie wielkości efektu w populacji jako funkcji α , $1 - \beta$ oraz N .

Jak działa program? W pierwszym kroku należy wybrać rodzinę testów, konkretny test z tej rodziny, jeden z wymienionych wyżej typów analizy oraz wprowadzić wymagane dane wejściowe. Na przykład wybieramy analizę *a priori* i chcemy obliczyć wielkość próby konieczną dla uzyskania określonej mocy testu *t*-Studenta dla prób niezależnych. Program wymaga w takim wypadku następujących danych wejściowych: (1) rodzaj testu (jednostronny lub dwustronny), (2) wielkość efektu (wielkość współczynnika d Cohena), (3) wielkość błędu α , (4) moc testu ($1 - \beta$), oraz (5) stosunek liczebności obu grup: N_2/N_1 . Jeśli nie znamy d , możemy skorzystać z podprogramu, który policzy nam jego wartość na podstawie podanych średnich i odchyłeń standardowych z obu grup. Po wprowadzeniu wszystkich danych, program policzy nam: liczebność całej

5 Ponieważ do wykonania tej analizy wymagane jest podanie wielkości efektu w populacji, nie jest to analiza *post hoc* w takim rozumieniu, w jakim została ona przedstawiona w podrzdziale *Dwa podejścia do analizy mocy testu*, ale wariant analizy *a priori*, mającej na celu obliczenie mocy testu w oparciu o przyjętą wielkość efektu, wielkość próby i poziom α .

próby i liczebność każdej z dwóch grup, krytyczną wartość testu t oraz liczbę stopni swobody, a także moc testu. Moc ta może się nieco różnić od mocy podanej w danych wejściowych (choć nie będzie od niej niższa), ponieważ wyliczone liczebności grup są zaokrąglane do wartości całkowitych. Program podaje też wartość parametru niecentralności (*noncentrality parameter*) δ , wskazującego, w jakim stopniu rozkłady testu przy założeniu H_0 i przy założeniu H_1 nie pokrywają się ze sobą.

Po wykonaniu obliczeń program wyświetla protokół z przeprowadzonej analizy oraz wykres prezentujący nałożone na siebie dwie krzywe gęstości testu t : przy założeniu H_0 i przy założeniu H_1 . Protokół i wykres można wydrukować lub skopiować (przykładowy protokół i wykres z analizy mocy testu t -Studenta umieszczone są na rysunku 2). Można też uzyskać dodatkowe wykresy przedstawiające (w oparciu o wprowadzone dane) zależność między dowolnymi dwiema spośród czterech zmiennych, tj. mocą testu, wielkością efektu, błędem α i wielkością próby. Wykres w dolnej części rysunku 2 przedstawia moc testu jako funkcję wielkości efektu.



t tests - Means: Difference between two independent means (two groups)

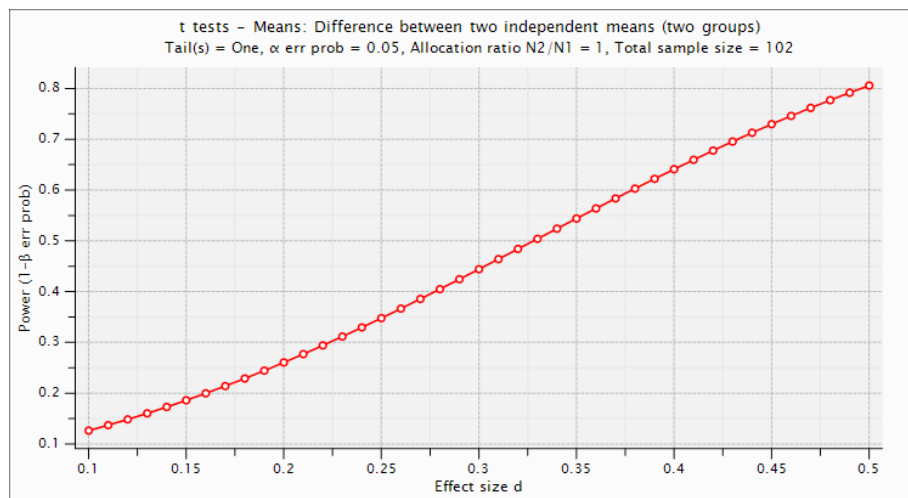
Analysis: A priori: Compute required sample size

Input:

Tail(s)	= One
Effect size d	= 0,5
α err prob	= 0,05
Power (1- β err prob)	= 0,80
Allocation ratio N2/N1	= 1

Output:

Noncentrality parameter δ	= 2,5248762
Critical t	= 1,6602343
Df	= 100
Sample size group 1	= 51
Sample size group 2	= 51
Total sample size	= 102
Actual power	= 0,8058986



Rysunek 2. Przykładowe wykresy i protokół z analizy mocy testu *t*-Studenta, otrzymane przy użyciu programu G*Power 3.

Podsumowanie

Moc statystyczna testu to, mówiąc w pewnym uproszczeniu, prawdopodobieństwo wykrycia efektu, jeśli taki istnieje w populacji. Analiza mocy statystycznej testu ma umożliwić badaczowi takie zaplanowanie badań, aby prawdopodobieństwo wykrycia interesującego go efektu było odpowiednio wysokie. Moc statystyczna testu jest funkcją trzech zmiennych: wielkości efektu w populacji, wielkości próby oraz błędu α . Znając wartość trzech z tych zmiennych, można obliczyć czwartą. Tak rozumiana moc statystyczna testu mieści się we frekwentystycznym podejściu do problemu testowania hipotez.

Najtrudniejszym problemem w analizie mocy statystycznej testu jest oszacowanie wielkości efektu w populacji. Dokładnej wielkości tego parametru nigdy praktycznie nie znamy, dlatego też w analizie mocy testu musimy przyjąć jakąś określoną jego wartość w oparciu o teorię, meta-analizę wyników wcześniejszych badań lub inne przesłanki. Innym problemem jest wielość stosowanych miar wielkości efektu, co utrudnia porównywanie tych miar ze sobą. Aby zminimalizować ten problem, Cohen (1988) zaproponował przyjęcie trzech umownych poziomów wielkości efektu tj. efektu małego (*small*), umiarkowanego (*medium*) i dużego (*large*), oraz umowne kryteria tej klasyfikacji (nie są one jednak jednakowe dla wszystkich testów).

Dla znalezienia wartości mocy statystycznej testu lub innych powiązanych z nią zmiennych posługujemy się zazwyczaj dedykowanymi tablicami statystycznymi lub odpowiednimi programami komputerowymi. Dzięki dostępności takich narzędzi, ocena mocy statystycznej testu (planowanej procedury badawczej) stała się łatwiejsza, a wymagania stawiane przez redakcje czasopism i instytucje finansujące badania sprawią zapewne, że analiza taka będzie w przyszłości stosowana częściej niż ma to miejsce obecnie.

Literatura cytowana

- Algina, J., Keselman H. J., Penfield, R. D. (2005). An alternative to Cohen's standardized mean difference effect size. A robust parameter and confidence interval in the two independent groups case. *Psychological Methods*, 10(3), 317–328. <https://doi.org/10.1037/1082-989X.10.3.317>
- APA. (1994). *Publication Manual of the American Psychological Association*, 4th Edition. Waszyngton: American Psychological Association.

- APA. (2001). *Publication Manual of the American Psychological Association*, 5th Edition. Waszyngton: American Psychological Association.
- APA. (2010). *Publication Manual of the American Psychological Association*, 6th Edition. Waszyngton: American Psychological Association.
- Borenstein, M., Hedges, L. V., Higgins, J. P. T., Rothstein, H. R. (2009). *Introduction to meta-analysis*. Chichester: Wiley.
- Brzeziński, J. M. (2019). *Metodologia badań psychologicznych*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Cohen, J. (1962). The statistical power of abnormal-social psychological research. A review. *Journal of Abnormal and Social Psychology*, 65(3), 145–153. <https://doi.org/10.1037/h0045186>
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Mahwah: Lawrence Erlbaum Associates.
- Cohen, J. (1992). A power primer. *Psychological Bulletin*, 112(1), 155–159. <https://doi.org/10.1037//0033-2909.112.1.155>
- Cohen, J. (1994). The earth is round ($p < .5$). *American Psychologist*, 49(12), 997–1003. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.49.12.997>
- Ellis, P. D. (2010). *The essential guide to effect sizes: Statistical power, meta-analysis, and the interpretation of research results*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A.-G., Buchner, A. (2007). G*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, 39(2), 175–191. <https://doi.org/10.3758/bf03193146>
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A.-G., Buchner, A. (2009). Statistical power analyses using G*Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses. *Behavior Research Methods*, 41(4), 1149–1160. <https://doi.org/10.3758/BRM.41.4.1149>
- Fisher, R. A. (1955). Statistical methods and scientific induction. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, 17(1), 69–78. <https://doi.org/10.2307/2983785>
- Fisher, R. A. (1971). *The design of experiments*. Nowy Jork: Macmillan Publishing Co.
- Gelman, A., Carlin, J. (2014). Beyond power calculations: Assessing type S (sign) and type M (magnitude) errors. *Perspectives on Psychological Science*, 9(6), 641–651. <https://doi.org/10.1177/1745691614551642>
- Grissom, R. J., Kim, J. J. (2012). *Effect sizes for research. Univariate and multivariate applications*. Nowy Jork: Routledge.
- Hays, W. L. (1981). *Statistics*. Nowy Jork: Holt, Rinehart and Winston.
- Hedges, L. V. (1983). A random effects model for effect sizes. *Psychological Bulletin*, 93(2), 388–395. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.93.2.388>
- Hedges, L. V., Pigott, T. D. (2001). The power of statistical tests in meta-analysis. *Psychological Methods*, 6(3), 203–217. <https://doi.org/10.1037//1082-989X.6.3.203>

- Hoenig, J. M., Heisey, D. M. (2001). The abuse of power: The pervasive fallacy of power calculations for data analysis. *The American Statistician*, 55(1), 19–24. <https://doi.org/10.1198/000313001300339897>
- Howell, D. C. (2007). *Statistical methods for psychology*. Belmont: Thompson Wadsworth.
- Kirk, R. E. (1996). Practical significance: A concept whose time has come. *Educational and Psychological Measurement*, 56(5), 746–759. <https://doi.org/10.1177/0013164496056005002>
- Kline, R. B. (2013). *Beyond significance testing: statistics reform in the behavioral sciences*. Waszyngton: APA.
- Lalongo, C. (2016). Understanding the effect size and its measures. *Biochemia Medica*, 26(2), 150–156. <https://doi.org/10.11613/BM.2016.015>
- Lipsey, M. W., Wilson, D. B. (2001). *Practical meta-analysis*. Thousand Oaks: Sage.
- Lomax, R. G., Hahs-Vaughn, D. L. (2012). *Statistical concepts*. Nowy Jork: Routledge.
- Murphy, K. R., Myors, B., Wolach, A. (2009). *Statistical power analysis. A sample and general model for traditional and modern hypothesis testing*. Nowy Jork: Routledge.
- Nakagawa, S., Foster, T. M. (2004). The case against retrospective statistical power analyses with an introduction to power analysis. *Acta Ethologica*, 7(2), 103–108. <https://doi.org/10.1007/s10211-004-0095-z>
- Neyman, J. (1977). Frequentist probability and frequentist statistics. *Synthese*, 36(1), 97–131. <https://doi.org/10.2307/20115217>
- Neyman, J., Pearson, E. (1933). On the problem of the most efficient tests of statistical hypotheses. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical or Physical Character*, 231, 289–337. <https://doi.org/10.2307/91247>
- Prentice, D. A., Miller, D. T. (1992). When small effects are impressive. *Psychological Bulletin*, 112(1), 160–164. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.112.1.160>
- Rosenthal, R., Rosnow, R. L., Rubin, D. B. (2000). *Contrasts and effect sizes in behavioral research: A correlational approach*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Rossi, J. S. (1985). Tables of effect size for Z score tests of differences between proportions and between correlation coefficients. *Educational and Psychological Measurement*, 45(4), 737–743. <https://doi.org/10.1177/0013164485454004>
- Rossi, J. S. (1990). Statistical power of psychological research: What we have gained in 20 years? *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 58(5), 646–656. <https://doi.org/10.1037//0022-006x.58.5.646>
- Tukey, J. W. (1991). The philosophy of multiple comparisons. *Statistical Science*, 6(1), 100–116. <https://doi.org/10.2307/2245714>
- Wilkinson, L. and the Task Force on Statistical Inference. (1999). Statistical methods in psychology journals: Guidelines and expectations. *American Psychologists*, 54(8), 594–610. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.54.8.594>

LILIANA JARMAKOWSKA-KOSTRZANOWSKA,
TOMASZ JARMAKOWSKI-KOSTRZANOWSKI

Instytut Psychologii, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu

Bootstrap: inne spojrzenie na przedział ufności¹

Sposób cytowania: Jarmakowska-Kostrzanowska, L., Jarmakowski-Kostrzanowski, T. (2020). Bootstrap: inne spojrzenie na przedział ufności. W: M. Trojan, M. Gut (red.), *Nowe technologie i metody w psychologii* (s. 471–489). Warszawa: Liberi Libri. <https://doi.org/10.47943/lib.9788363487430.rozdzial22>

¹ Tytuł pracy, w której Efron przedstawia wprowadzenie do statystyki, brzmi: *Bootstrap: Another look at jack-knife* (Efron, 1979).

Przeglądając przybornik z statystycznymi narzędziami psychologa, trudno nie odnieść wrażenia, że wciąż jesteśmy w latach '30 XX w. (Erceg-Hurn, Wilcox, Keselman, 2013). Tymczasem w praktyce naukowej stosuje się zaawansowane technologie: m.in. funkcjonalne obrazowanie metodą rezonansu magnetycznego (fMRI), okulografię czy wirtualną rzeczywistość (VR). Odeszliśmy od czystej eseistyki, introspekcji i spekulacji na temat natury ludzkiej, lecz nie widać śladów, które zostawiłaby rewolucja komputerowa. Nadal stosowane są testy statystyczne w formie sprzed prawie 100 lat – aby je wykorzystać, sięgamy do twierdzeń statystyki asymptotycznej (Van der Vaart, 2012), np. do centralnych twierdzeń granicznych. Metody symulacyjne są powiewem nowości, a przy okazji pomagają ominąć restrykcyjne założenia testów parametrycznych, choć nie są wolne od ograniczeń (Koronacki, Mielniczuk, 2006). Jedną z nich są metody bootstrapowe. W ostatnich wersjach najczęściej używanego programu do analiz statystycznych dla psychologów (Blanca, Alarcón, Bono, 2018) pojawiają się przyciski z napisem bootstrapping.

Działanie bootstrapu zilustrujemy na przykładzie analiz na zmiennej kod moralny troski² – konstruktu teoretycznego stworzonego w ramach koncepcji fundamentów moralnych (Graham i in., 2013). Jej autorzy postulują istnienie minimum pięciu niezależnych systemów³ oceny moralnej, z których każdy opiera się na innym kryterium oceny moralności danego zachowania oraz pełni inną funkcję. Fundament moralny troski jest jednym z takich systemów, w ramach którego za niemoralne uznawane jest wyrządzanie krzywdy innym. Z kolei za zachowanie moralne uznawana jest pomoc oraz wsparcie dla słabych i bezbronnych. Dana osoba w różnym stopniu akceptuje i wykorzystuje każdy z pięciu fundamentów moralnych (Graham i in., 2013; Graham i in., 2011). Poziom akceptacji poszczególnych intuicji moralnych najczęściej mierzy się za pomocą *Kwestionariusza kodów moralnych* – MFQ (Graham i in., 2011; polska adaptacja: Jarmakowski-Kostrzanowski, Jarmakowska-Kostrzanowska, 2016), który wymaga od osoby badanej ustosunkowania się (na skali 1–6) do 30 stwierdzeń dotyczących sposobu dokonywania oceny moralnej.

2 W dalszej części artykułu na określenie opisywanej zmiennej będziemy używać określenia *troska*.

3 Systemy te są określane jako fundamenty, kody lub intuicje moralne.

Początek metod symulacyjnych

Przed XX w. statystyka nie była poważną dziedziną nauki, taką jaką jest dzisiaj. Przed erą komputerową do obliczenia wartości statystyk testowych należało czynić niekiedy dość restrykcyjne założenia, które ograniczały stosowalność metod statystycznych. Za przykład niech posłuży założenie, zgodnie z którym próba pochodzi z populacji o rozkładzie normalnym, w najlepszym razie – symetrycznym. Tymczasem bez wysiłku można znaleźć takie zjawisko psychologiczne, które nie musi charakteryzować się symetrią rozkładu. Na przykład Wojciszke (2018) podaje przykład lewostronnie skośnego rozkładu samooceny na próbie $N = 6100$.

Postęp technologiczny toruje drogę nowym rozwiązaniom statystycznym, których wdrożenie nie jest fizycznie wykonalne z powodu ograniczeń obliczeniowych człowieka. Statystyka bayesowska oraz metody Monte Carlo, choć wynalezione dużo wcześniej, skorzystały na rozwoju technik informatycznych, który dokonał się w drugiej połowie XX wieku. W latach '70 Bradley Efron (Efron, Tibshirani, 1993) zaproponował, aby przy użyciu maszyn liczących symulować populację za pomocą zebranej porcji obserwacji – i tak narodził się bootstrap. Wykorzystanie technologii niczego nie zmienia w teorii matematycznej leżącej u podstaw bootstrappingu, lecz przyspiesza to, co człowiek osiągnąłby za pomocą kartki i długopisu. Gdyby nie moce komputera, nadal poruszałibyśmy się w obrębie rozwiązań dostępnych jedynie dla małych prób.

Z mechanizmem leżącym u podstaw bootstrapu zetknął się każdy, kto choć raz oglądał emisję losowania Lotto (będącego przykładem losowania obserwacji z puli). Trzy razy w tygodniu maszyna losuje 6 spośród 49 kul, a gracz typuje, jakie będą miały numery. W bootstrapie jest podobnie – różnica polega na tym, że tym razem kule z numerami można zwracać do maszyny losującej i ponownie wylosować.

Przykładowo, dla trójelementowego zbioru: $\{1,2,3\}$ łatwo jest wypisać bez pomocy kalkulatora wszystkie układy liczb z powtórzeniami, np. 1,3,3 lub 3,2,3⁴. Możliwych układów dla 3 kul jest 10. Dla 4 kul liczba kombinacji wynosi 35. Czy dla 5 kul wyniosłaby 60? Nie, dla 5 kul liczba możliwych kombinacji przekracza 100. Wzrost możliwych wyników jest bardzo szybki. Proszę pomyśleć, ile jest układów kul z numerami w losowaniu lotto, gdzie nie ma możliwości powtarzania się losowanych kul i z 49 losujemy 6 (a więc jest

4 Możliwe układy to: (1,1,1), (1,1,2), (1,1,3), (1,2,2), (1,2,3), (1,3,3), (2,2,2), (2,2,3), (2,3,3), (3,3,3).

to przykład losowania bez zwracania). Szansa na wygraną nagrody głównej w Lotto jest bardzo mała, około 1 do 14 milionów. Gdyby można było kule z powrotem wrzucać do maszyny losującej, możliwych układów byłoby jeszcze więcej: $3 \cdot 5 \cdot 13 \cdot 49 \cdot 51 \cdot 53^5$. Jest to zdecydowanie za dużo jak na możliwości obliczeniowe człowieka – z tego powodu bootstrapping, który opiera się na powyższym mechanizmie, rozwinął się dopiero wówczas, gdy czas dokonywania obliczeń spadł poniżej pewnego pułapu, nieosiągalnego przez umysł ludzki. Zadaniu wielokrotnego losowania ze zwracaniem mogą podołać tylko maszyny liczące o dużej mocy.

Mechanizm działania bootstrapu

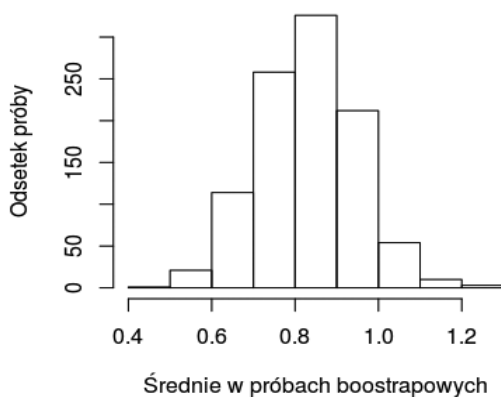
Kluczową ideą Efronowskiego bootstrapu jest potraktowanie zebranej próby jako populacji generalnej (Efron, 1979). Wobec takiego zabiegu myślowego powstaje pytanie: jak pobierać nową próbę (a może próby?) oraz jak wyznaczyć na jej podstawie wybraną statystykę (testową lub opisową)? Odpowiedzi na te pytania dostarczają: losowanie ze zwracaniem przeprowadzane na oryginalnej próbie oraz tzw. zasada wtyczki (*plug-in principle*; Efron, Tibshirani, 1993).

Losowanie ze zwracaniem to generowanie nowych prób (repróbowanie) – zwykle w liczbie powyżej 1 000. Nowa próba zawiera taką samą liczbę obserwacji, jak próba oryginalna (Efron, Tibshirani, 1993). Jeśli wielkość oryginalnej próby zebranej przez badacza wynosi 37, to pojedyncza próba bootstrapowa również zawiera 37 elementów. Przy czym możliwe jest powtarzanie się obserwacji w próbie bootstrapowej. Jest to nieco wbrew intuicji: psycholog unika nieintencjonalnego przebadania dwa razy tej samej osoby. Z kolei w próbie bootstrapowej ta sama obserwacja może powtórzyć się wiele razy.

Tak jak w oryginalnej próbie można obliczyć średnią, tak nikogo nie zdziwi, gdy badacz podstawia do wzoru na średnią (lub inną statystykę) wartości z bootstrapowej próby. Tę czynność nazywa się zasadą wtyczki (*plug-in principle*). Jest to prosta metoda szacowania parametrów z próby i w skrócie polega na podstawianiu do wzoru. To, dlaczego zwykle podstawianie wartości z próby do wzoru na średnią jest przedmiotem uwagi, wykracza poza ten artykuł, ale warto wspomnieć, że bierze się to z intuicyjnego spostrzeżenia, że

5 Wzór na liczbę k -elementowych kombinacji ze zbioru n -elementowego to $\binom{n}{k} = \frac{n!}{(n-k)! \cdot k!}$.

rozkład empiryczny wartości cechy w zebranej próbie odzwierciedla rozkład teoretyczny w populacji (jest to podstawowe prawo statystyki, prawo Glivenki-Cantelliego). A więc, reasumując, zastosowanie bootstrapu sprowadza się do generowania dużej liczby bootstrapowych prób z oryginalnej próby i podstawianiu ich elementów do wzoru na obliczanie wybranej statystyki (opisowej, np. średniej lub testowej, takiej jak w teście t -Studenta). Iteracji⁶ może być nawet 10 000.



Rysunek 1. Rozkład średnich w próbach bootstrapowych opartych na $i = 999$ replikacji.

Produktem końcowym bootstrappingu jest empiryczny rozkład typu bootstrap statystyki będącej przedmiotem zainteresowania. Badacz może przedstawić częstości występowania poszczególnych bootstrapowych statystyk (opisowych lub testowych – najwygodniej w postaci histogramu; zob. rysunek 1).

W skrócie, bootstrapping polega na wykonaniu trzech kroków:

- wygeneruj dodatkowe próby używając próby oryginalnej – nazwij je próbami typu bootstrap; takich prób jest zazwyczaj około 1 000;
- oblicz wybraną statystykę (opisową lub testową) z powyższych bootstrapowych prób;
- przedstaw wartości statystyk typu bootstrap w formie histogramu.

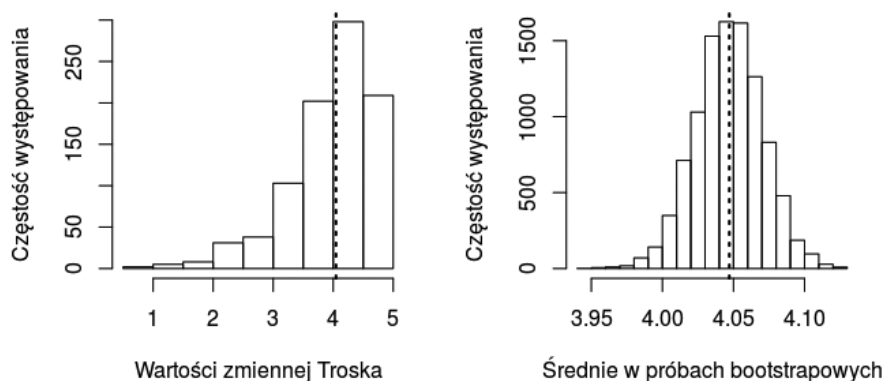
⁶ Iteracja oznacza powtórzenie czynności składającej się z wygenerowania próby bootstrapowej oraz zastosowanie wzoru na statystykę do jej elementów.

W ich efekcie powstanie bootstrapowy rozkład statystyki. Na jego podstawie można dokonywać kolejnych operacji.

Jaki jest cel tworzenia bootstrapowego rozkładu?

Problem 1: po co tworzyć bootstrapowy rozkład zamiast korzystać bezpośrednio z rozkładu z próby?

Rozkład cechy w próbie przedstawia szanse wystąpienia jej różnych wartości. Zaś rozkład statystyki z próby (*sampling distribution of a statistic*) pokazuje szanse wystąpienia nie cechy, lecz wybranej statystyki (np. średniej). Wbrew niektórym opiniom (*Bootstrap*, 2019), bootstrap nie „polega na utworzeniu nowego rozkładu wyników” (par. 1). Bootstrapowy rozkład statystyki nie jest ani tożsamy z rozkładem cechy, ani jej przybliżeniem, ani oszacowaniem. Różnicę między nimi powoduje to, że do każdej z nowo wylosowanych prób stosuje się wzór bootstrapowanej statystyki. W ten sposób dokonuje się agregacji wartości cechy. Zatem rozkład typu bootstrap nie niesie informacji o badanej cesze, ale o empirycznym rozkładzie statystyki. Bywa, że te rozkłady różnią się w dużym stopniu – tak jak to ilustruje rysunek 2.



Rysunek 2. Porównanie rozkładu zmiennej troska i rozkładu średnich w próbach bootstrapowych. Przerywana linia oznacza średnią w próbie oryginalnej. Wykres średnich w próbach bootstrapowych opiera się na $n = 999$ losowaniach ze zwracaniem. Źródło: opracowanie własne.

Rozkład po lewej stronie jest lewostronnie skośny. Średnia zmiennej troska w oryginalnym zbiorze danych (zaznaczona przerywaną linią) jest charakterystyką próby badacza – liczbą reprezentującą pozostałe w próbie obserwacje. Natomiast zaznaczona przerywaną linią wartość na prawym rysunku to ta sama średnia z oryginalnej próby, z tą różnicą, że tutaj jest ona jedną z wielu średnich, które zdarzyły się częściej lub rzadziej w wyniku zastosowania bootstrappingu, znajduje się w środkowej części wykresu. Tak otrzymany rozkład jest estymatorem rozkładu empirycznego statystyki opisowej. Zauważmy, że możliwe jest uzyskanie z $N = 894$ obserwacji liczby $n = 1\,000$ średnich typu bootstrap obliczonych na podstawie $i = 1\,000$ prób bootstrapowych.

Co zyskuje badacz dzięki zastosowaniu bootstrapu?

Problem 2: jeśli obliczona w tradycyjny sposób średnia $\bar{X}$ wynosi 5,01, to czy użycie bootstrappingu poprawiłoby oszacowanie średniego parametru w próbie?

W wyniku zastosowania bootstrappingu badacz otrzymuje rozkład statystyki typu bootstrap. Mógłby więc wykorzystać średnią z bootstrapowego rozkładu. Byłoby to jednak równoznaczne z bezproduktywnym szacowaniem wartości estymatora (porównywalnym z robieniem zdjęcia zdjęciu). Skoro więc nie poprawiamy jakości estymacji punktowej, to jakie korzyści przynosi badaczowi bootstrapowanie wybranej statystyki? W epoce przedkomputerowej badacz musiał czynić założenia co do postaci populacji, z których pobierał próby, aby obliczyć przedziały ufności, wartości statystyk opisowych czy testowych (Diaconis, Efron, 1983). Bootstrap może służyć do czegoś więcej niż jedynie do tworzenia przedziałów ufności dla średniej. Preacher i Hayes (2004, 2008) opracowali bezpłatne makro do analizy mediacji, które zawiera różne odmiany bootstrappingu, dzięki którym można zrezygnować z testu Sobela istotności statystycznej efektu pośredniego.

Bootstrapowy przedział ufności

Zanim poznamy konstrukcję bootstrapowych przedziałów ufności, przeanalizujemy najpierw ich klasyczne odpowiedniki. Dla ustalenia uwagi skupimy się na przedziale ufności dla średniej (przedstawiony tok rozumowania można przenieść na inne statystyki).

Przedział ufności to przedział liczbowy otaczający średnią z próby. Do określenia jego szerokości używa się błędu standardowego oraz kwantyli odpowiedniego rozkładu. O ile parametr w populacji jest ustaloną wielkością, której zwykle nie mamy szans poznać⁷, to średnia arytmetyczna przyjmuje różne wartości w zależności od tego, jaką próbę zebrano. A więc jest zmienną losową i jako taka, posiada rozkład zwany rozkładem próbkowym (lub: rozkładem w próbie, *sampling distribution*) średnich. Dzięki twierdzeniom granicznym wiemy, że rozkład próbkowy średniej wraz z rosnącą wielkością próby zbliża się do rozkładu normalnego, którego kwantyle są już znane. Spodziewamy się zatem, że 95% przedział ufności dla średniej zawiera się w przedziale od kwantyla rozkładu normalnego rzędu 0,025 do kwantyla rozkładu normalnego rzędu 0,975. Formuła jest następująca:

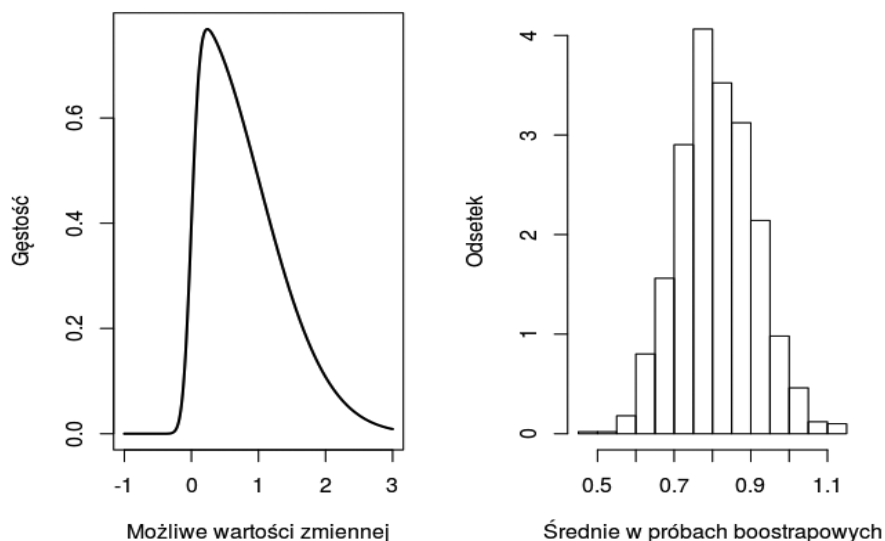
$$\bar{x} - 1,96 \cdot SE, \bar{x} + 1,96 \cdot SE$$

gdzie $\bar{x}$ to średnia arytmetyczna obliczona na podstawie wartości w zgromadzonej próbie, a SE to błąd standardowy średniej $\bar{x}$. Wartości $\pm 1,96$ są (odpowiednio) kwantylem rzędu 0,025 oraz rzędu 0,975 standardowego rozkładu normalnego $N(0,1)$.

Czytelnik zapewne już dostrzegł, że odwołujemy się do teorii związanej z rozkładem normalnym, a dokładniej do centralnego twierdzenia granicznego (CTG) i kwantyli rozkładu normalnego, otwierając tylne drzwi założeniu, że średnia cechy już ma rozkład normalny – zgodnie z CTG. Główny problem z tym twierdzeniem polega na tym, że nie zawsze jesteśmy wystarczająco blisko „tej” nieskończoności – nie ma dokładnej wartości liczebności próby, od której można przyjąć, że rozkład średnich jest rozkładem normalnym.

Dla różnych rodzin rozkładów, parametrów oraz liczebności oryginalnej próby badacza, bootstrapowy rozkład średnich nie musi być rozkładem normalnym. Na przykład rysunek 3 (wykres po prawej stronie) pokazuje sytuację, w której zarówno cecha ma niegaussowski rozkład, jak i bootstrapowy rozkład średnich nie jest rozkładem normalnym.

7 W perspektywie frekwencyjnej przyjmuje się, że parametr populacji jest stały (*fixed*). Jest to tylko jedno z podejść, na przykład w statystyce bayesowskiej parametr populacji jest zmienną losową.



Rysunek 3. Wykres teoretycznego rozkładu cechy (po lewej stronie) oraz wykres bootstrapowego rozkładu średnich (po prawej).

Badacz chciałby uniknąć niepewności, czy została osiągnięta już odpowiednia wielkość próby n , aby móc założyć działanie Centralnego Twierdzenia Granicznego. Przedział ufności typu bootstrap pozwoli na konstrukcję przedziału ufności pozbawionego kwantyli rozkładów granicznych (normalnego czy t -Studenta). Wzory mają podobną postać – zestawmy:

$$\bar{x} - q_{1-\alpha/2}^k \cdot SE, \bar{x} + q_{\alpha/2}^k \cdot SE,$$

gdzie $q_{1-\alpha/2}^k$ i $q_{\alpha/2}^k$ są kwantylami standardowego rozkładu normalnego (a więc teoretycznego) przy zadanym poziomie ufności, a SE to błąd standardowy średniej (*standard error*).

Traktując wzór klasycznego przedziału ufności dla średniej jak kalkę i przepisując go na bootstrapowy przedział ufności dla średniej, można napisać, że:

$$\left[\bar{x} - q_{1-\frac{\alpha}{2}}^b \cdot \hat{\sigma}, \bar{x} + q_{1-\frac{\alpha}{2}}^b \cdot \hat{\sigma} \right],$$

gdzie $q_{1-\alpha/2}^b$ i $q_{\alpha/2}^b$ są kwantylami bootstrapowego rozkładu średniej (lub ogólnie: statystyki będącej przedmiotem obliczeń), zaś $\hat{\sigma}_i$ jest estymatorem odchylenia

standardowego. Teraz wszystko zależy od tego, co wstawimy pod $q_{1-\alpha/2}^b$, $q_{\alpha/2}^b$ oraz $\hat{\sigma}$. Różnych sposobów tworzenia bootstrapowych przedziałów ufności jest co najmniej pięć (DiCiccio, Efron, 1996).

Percentylowy czy BCa: którego z typów przedziału ufności użyć?

W programie SPSS dostępne są dwa bootstrapowe przedziały ufności: percentylowy oraz BCa (*bias corrected and accelerated*, przyspieszony skorygowany o obciążenie). Te dwie metody wyznaczania bootstrapowych przedziałów ufności nie są równoważne pod względem dokładności otrzymanych wyników. Percentylowy przedział ufności jest najprostszym przedziałem ufności typu bootstrap – przy jego konstrukcji korzysta się bezpośrednio z kwantyli rozkładu bootstrapowanej statystyki (Efron, Tibshirani, 1993). Jednocześnie jest to źródło ograniczenia w jego stosowaniu (Rice, 2007), ponieważ takie postępowanie działa jedynie dla rozkładów bez ciężkich ogonów (*heavy-tails*), a więc symetrycznych, o niewielkiej skośności i bez obserwacji odstających (Chernick, LaBudde, 2011; Wehrens, Putter, Buydens, 2000).

Konstrukcja przedziału ufności typu bootstrap otrzymanego metodą BCa do pewnego stopnia uodparnia na zaburzenia w próbie (m.in. skośność; Chernick, LaBudde, 2011). Z tego względu można uważać go za najlepszą domyślną opcję konstruowania bootstrapowych przedziałów ufności (Yuan, Schuster, 2013).

Czy bootstrap pomaga w przypadku małych prób?

Problem 3: Zebrana próba liczy $n = 5$ osób badanych, są to wszystkie osoby w Polsce posiadające mutację X w chromosomie Z , które dotknięte są zaburzeniem Y . Czy dla tak małej próby bootstrapowanie statystyki jest dobrym wyjściem?

Można pomyśleć, że bootstrapping jest rozwiązaniem na problemy małych prób (Hayden, 2019). Jednak nie jest to prawda. Źródło problemów tkwi w losowaniu ze zwracaniem ze zbiorów o niewielkiej liczbie obserwacji, którym grozi przedwczesne wyczerpanie się możliwości wylosowania unikalnych prób bootstrapowych (Chernick, LaBudde, 2011, s. 191).

Wracając do przykładu z liczbą możliwych kombinacji dla trzech kul $\{1,2,3\}$, gdzie okazało się, że można na 10 różnych sposobów wylosować ze zwracaniem 3 kule. Stąd szansa wylosowania każdej bootstrapowej próby wynosi 1:10. Wybierając liczbę bootstrapowych replikacji i dokładnie równą 10, jest mała szansa, że będą to unikatowe bootstrapowe próby. Inaczej mówiąc, istnieje całkiem duże prawdopodobieństwo, że wbrew zamierzeniom dowolna próba bootstrapowa zostanie wylosowana więcej niż raz (np. zbiór $\{2,3,3\}$ może zdarzyć się dwa razy, zaś zbiór $\{1,2,1\}$ trzykrotnie). Gdybyśmy zwiększyli do 1 000 liczbę czynności losowania ze zwracaniem, to wiele możliwych bootstrapowych kombinacji powtórzy się. Tymczasem w obrębie bootstrapowej próby obserwacje mogą powtarzać się, ale nie same próby bootstrapowe.

Co dzieje się dla prób o liczebności wyższej niż 3? Dla wielkości próby $n = 20$ istnieje aż $4 \cdot 10^{41}$ możliwości różnych kombinacji. Ta liczba zabezpiecza nas przeciwko otrzymaniu tej samej próby bootstrapowej. Bootstrapowy rozkład statystyki ma wówczas $4 \cdot 10^{41}$ różnych *atomów* (Hall, 1992). Jest to wielkość znacznie większa od liczby iteracji równej 1 000. Chernick (2007) wskazuje, że wielkość próby $n = 10$ jest tym progiem, poniżej którego nie powinniśmy schodzić, stosując metody bootstrapowe. Małe próby to jedna z sytuacji, kiedy bootstrap zawodzi, choć niejedyna.

Kiedy bootstrapping zawodzi?

Problem 4: czy bootstrap można stosować zawsze i dla każdego statystyk?

Może wydawać się, że bootstrap jest dobry na wszystko (Andrews, 2000). Zdarza się jednak, że bootstrapping zawodzi (Canty, Davison, Hinkley, Ventura, 2006): rozkład statystyki testowej typu bootstrap jest nieprawidłowy (Chernick, 2011). Obliczany na jego podstawie przedział ufności nie ma nic wspólnego z przedziałem, który szacuje.

Jest kilka okoliczności, które wykluczają zastosowanie bootstrappingu. Po pierwsze, są to zbyt małe próby. Po drugie, istnieją statystyki, które nie dają się bootstrapować. Na przykład bootstrapowanie statystyk porządkowych prowadzi do artefaktów (Chernick, 2007). Po trzecie – obecność obserwacji odstających. Nie są to wszystkie okoliczności, kiedy bootstrap daje niewiarygodne rezultaty, jednak dają wyobrażenie na ograniczenie stosowalności bootstrapu (zob. Chernick, LaBudde, 2011; Efron, Tibshirani, 1993; Hall, 1992).

Jakie statystyki można poddawać bootstrapowi?

Statystyki, które można poddać bootstrappingowi, to statystyki, których rozkład nie zależy od parametru w próbie (Fisher, 1941). W polskiej nomenklaturze można spotkać kilka określeń: nazywane są statystykami osiowymi (Kozarski, 2004), zmiennymi pivotalnymi lub po prostu *pivotami*⁸. Przykładem statystyki osiowej znanej psychologom z psychometrii jest statystyka z . Rozkład z jest znany – jest to standardowy rozkład normalny. Średni poziom cechy w populacji, z której pochodzą obserwacje nie ma wpływu na rozkład zmiennej z – nic nie zmieni wartości oczekiwanej równej 0 i wariancji 1. Ta niezależność rozkładu statystyki z od parametrów pozwala konstruować przedziały ufności dla średniej (Mukhopadhyay, 2000). Proszę sobie wyobrazić sytuację, w której wartości cechy miały wpływ na szansę wystąpienia określonej wartości średniej – nie na jej wartość (np. $\bar{X} = 5,12$ lub $\bar{X} = 6,97$), ale na szansę (prawdopodobieństwo) wystąpienia tej wartości. Wówczas nie można byłoby stworzyć jednego przepisu na przedział ufności dla średniej niezależnie od zebranych wyników.

Osiowość statystyki to pożądana właściwość bootstrapowanego obiektu (Canty i in., 2006). W przeciwnym przypadku rozkład otrzymany w wyniku bootstrapowania może nie być miarodajny. Przykładem ilustrującym przypadek, gdy bootstrap zawiedzie, jest próba szacowania statystyk porządkowych np. minimalnej i maksymalnej obserwacji (Migon, Gamerman, Louzada-Neto, 2015).

Obecność obserwacji odstających (*outlierów*)

Bootstrap wykazuje pewien brak odporności na wartości odstające (*outliers*), które mają jednakową szansę pojawienia się w próbach bootstrapowych, co inne obserwacje, które są odstającymi. Przy czym trudno jednoznacznie zdefiniować pojęcie wartości odstającej (Hayden, 2005). Wbrew pozorom ważniejsza niż odległość względem chmury punktów jest ocena wpływu takiej obserwacji na obliczane statystyki. Jeśli wynik ulega znaczącej zmianie po usunięciu takiej obserwacji to jest to sygnał, że możemy mieć do czynienia z wpływową obserwacją i może ona decydować o bootstrapowym rozkładzie

⁸ Angielska nazwa wzięła się z tego, że ma to być taki obiekt, który nie zmienia się, gdy wszystko dookoła jest w ruchu.

statystyki (Canty i in., 2006). Przypomina to ocenianie bardzo dobrego studenta, któremu zdarzyło się raz nie zaliczyć egzaminu.

Postępowanie z obserwacją niepasującą w jakiś sposób do danych zależy od źródła jej pochodzenia. Czy jest to zwyczajna pomyłka we wprowadzaniu danych do skoroszytu programu SPSS lub Excel? Czy *outlierami* nazwiemy 1% najbogatszych osób, usuwając ich z bazy? Nie zaleca się jednak automatycznego usunięcia obserwacji odstających, ponieważ replikacje bootstrapowe mają symulować naturalne tworzenie próby z populacji generalnej. Warto jednak zawsze zastanowić się nad ich pochodzeniem, ważąc zyski i straty. Celem bootstrapowania przedziału ufności nie jest otrzymanie jak najwęższego przedziału, a jak najbliższego prawdzie.

Bootstrap: parametryczny czy nieparametryczny?

Problem 5: w opracowaniach (Preacher, Hayes, 2004, 2008) można spotkać opinię, że metody bootstrapowe zaliczają się do metod nieparametrycznych. Czy bootstrap może być parametryczny?

Zanim przejdziemy do generowania prób bootstrapowych, musimy odpowiedzieć na pytanie: z jakiej populacji losować próby bootstrapowe? O parametryczności bądź nieparametryczności bootstrapu decyduje właśnie to, skąd pobierane są bootstrapowe próby.

Założmy, że osoba prowadząca badanie posiada wiedzę, że rozkład czasu reakcji jest konkretnym, sprecyzowanym rozkładem, np. skośnym normalnym wraz z dokładnymi parametrami charakteryzującymi ten rozkład (wartość oczekiwana, wariancja i wskaźnik skośności). Wówczas korzystając z informacji, mogłaby losować ze zwracaniem, zamiast z próby oryginalnej, z rozkładu teoretycznego.

Jeśli wiadomo, że rozkład występowania wartości cechy koresponduje z pewnym rozkładem teoretycznym, to zamiast przykładać bootstrapping do oryginalnej próby, można generować próby bezpośrednio z rozkładu teoretycznego. Różnica sprowadza się do zbioru-matki, z jakiego powstają kolejne próby bootstrapowe – czy jest to teoretyczny rozkład prawdopodobieństwa, czy (siłą rzeczy) dyskretna próba zebrana przez badacza.

Czy istnieje jakaś różnica między obydwooma rodzajami bootstrapu? Technicznie rzecz biorąc – żadna. To, co można zrobić w tradycyjnym, nie-

parametrycznym bootstrapie, można z powodzeniem wykonać w bootstrapie parametrycznym. Największe pytanie dotyczy pewności, z jaką jesteśmy przekonani, że model parametryczny (najczęściej wyrażony w postaci wzoru na gęstość) dokładnie oddaje zjawisko rządzące danymi.

Liczba prób bootstrapowych

Problem 6: ile prób bootstrapowych powinno się utworzyć? Od czego zależy zalecana ich liczba?

Jeszcze w latach '80, kiedy moce obliczeniowe komputerów były dużo mniejsze, Efron podawał liczbę iteracji $i = 25$ jako wystarczającą do otrzymania wiarygodnych przedziałów ufności (Efron, Tibshirani, 1993). Dzisiaj jest to co najmniej 1 000 (Chernick, 2007), lecz im więcej, tym lepiej (Davison, Hinkley, 2003). Domyślną liczbą iteracji w SPSS-ie jest również 1 000. Czasami używa się też nieparzystej liczby replikacji np. $i = 999$ (Davison, Hinkley, 2003).

Bootstrapowe przedziały ufności dla średniej – przykłady z badań

Do pokazania tego, jak bardzo bootstrapowe przedziały ufności mogą różnić się od klasycznego przedziału ufności, wykorzystamy bazę danych pochodzących z badań nad adaptacją *Kwestionariusza kodów moralnych* MFQ (Jarmakowski-Kostrzanowski, Jarmakowska-Kostrzanowska, 2016). Do obliczeń wykorzystano środowisko R (R Core Team, 2019) oraz pakiet *boot* (Ripley, 2019).

Przykład 1: bootstrapowy przedział ufności dla średniej

Załóżmy, że badacz posiada próbę $n = 30$ elementów (pochodzących z wyżej opisanych danych). Średni poziom zmiennej troska wynosi $M = 4,16$ ($SD = 0,56$). W tabeli 1 porównano przedziały ufności dla średniej utworzone tradycyjną metodą (wykorzystując kwantyle rozkładu normalnego) oraz cztery rodzaje przedziałów ufności typu bootstrap. Można zauważyć różnice między nimi.

Tabela 1

Wartości przedziałów ufności dla średniej zmiennej troska obliczane na podstawie klasycznego wzoru oraz cztery z pięciu bootstrapowych przedziałów ufności

			Przedział ufności	
			Dolny koniec	Górny koniec
Przedział	Klasyczny	Kwantyle rozkładu normalnego	3,95	4,37
	Bootstrapowy	Empiryczny (<i>basic</i>)	3,99	4,35
		Percentylowy ^a	3,97	4,33
		BCa ^a	3,93	4,32
		Z kwantylami rozkładu normalnego	3,98	4,34

^a = dostępne w programie SPSS.

Przykład 2: bootstrapowy przedział ufności dla różnicy między średnimi

Do tej pory rozważano przypadek jednej próby – obliczono przedział ufności dla średniej. Pozostaje pytanie, czy można byłoby poszerzyć zbiór aplikacji bootstrappingu na więcej niż jedną zmienną. Pewną wskazówką jest to, że bootstrap stosuje się w analizie mediacji, aby zastąpić tradycyjny test Sobela przedziałami ufności dla współczynników regresji (Cichocka, Bilewicz, 2010). W tej części zostanie zaprezentowane zastosowanie bootstrappingu przy wyznaczaniu przedziałów ufności dla różnicy pomiędzy średnimi.

W zebranej próbie (Jarmakowski-Kostrzanowski, Jarmakowska-Kostrzanowska, 2016) jest $N = 896$ osób badanych, z czego kobiety stanowią 66% ($n = 589$), a mężczyźni 33% ($n = 293$) ($n = 14$ nie określiło płci biologicznej). Wyniki badań dotyczących różnic płciowych w zakresie empatii (np. Gault, Sabini, 2000) i oceny moralnej (np. Jaffee, Hyde, 2000) pokazują, że kobiety w większym stopniu akceptują i wykorzystują kod troski. W przebadanej próbie różnica między średnimi kobiet i mężczyzn wynosi $d = 0,40$ (nie jest to jednak d Cohena, lecz surowa różnica między średnimi). Klasyczny przedział ufności dla różnicy między średnimi wynosi 0,29 i 0,50. Tabela 2 przedstawia przedziały ufności typu bootstrap otrzymane różnymi metodami dla różnicy między średnimi.

Tabela 2

Wartości 95% przedziałów ufności dla różnicy między średnimi zmiennej troska w grupie kobiet i mężczyzn, obliczanych na podstawie klasycznego wzoru oraz czterech z pięciu wzorów bootstrapowych

			Przedział ufności	
			Dolny koniec	Górny koniec
Przedział	Klasyczny	Kwantyle rozkładu normalnego	0,29	0,50
	Bootstrapowy	Empiryczny (<i>basic</i>)	0,31	0,49
		Percentylowy ^a	0,30	0,48
		BCa ^a	0,30	0,48
		Z kwantylami rozkładu normalnego	0,31	0,49

^a = dostępne w programie SPSS.

Przedziały ufności dla średnich, użyteczne przy testowaniu hipotez o równości między dwiema grupami, są w przypadku dużych prób zbieżne z rezultatami statystyki klasycznej.

Bootstrapować, czy nie bootstrapować

Czasopismo *Scientific American* z maja 1983 r. reklamuje bootstrap słowami: „Zastępuje założenia o nieznanymi danych przez wspaniałe obliczenia” (s. 116). Jednak w narzędziowniku psychologa dopiero od początku lat 2000 bootstrap powoli zajmuje należne mu miejsce (Wright, London, Field, 2011). Atutem metod bootstrapowych jest to, że pozwalają obejść trudne do spełnienia założenia: w psychologii rozkład normalny rzadko bywa spotykany (Micceri, 1989), a używane przez nas techniki opierają się na tym założeniu. Bootstrapping zaszyty w algorytmach statystycznych programów umożliwia obliczenie nie tylko przedziałów ufności, ale również współczynników korelacji oraz regresji. Jest rozwiązaniem również dla tych badaczy, którzy nie chcą rezygnować z frekwencystycznej szkoły statystycznej.

Literatura cytowana

Andrews, D. W. K. (2000). Inconsistency of the bootstrap when a parameter is on the boundary of the parameter space. *Econometrica*, 68(2), 399–405. <https://doi.org/10.2307/2999432>

- Blanca, M. J., Alarcón, R., Bono, R. (2018). Current practices in data analysis procedures in psychology: What has changed? *Frontiers in Psychology*, 9, 2558. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02558>
- Bootstrap. (2019). [Blog post]. Pobrane z: <https://pogotowiestatystyczne.pl/slowniczek/bootstrap/>
- Canty, A. J., Davison, A. C., Hinkley, D. V., Ventura, V. (2006). Bootstrap diagnostics and remedies. *Canadian Journal of Statistics*, 34(1), 5–27. <https://doi.org/10.1002/cjs.5550340103>
- Chernick, M. R. (2007). *Bootstrap methods: A guide for researchers and practitioners*. Nowy Jork: Wiley-Interscience. <https://doi.org/10.1002/9780470192573>
- Chernick, M. R., LaBudde, R. A. (2011). *An introduction to bootstrap methods with applications to R*. Nowy Jork: John Wiley & Sons.
- Cichocka, A., Bilewicz, M. (2010). Co się kryje w nieistotnych efektach statystycznych? Możliwości zastosowania analizy supresji w psychologii społecznej. *Psychologia Społeczna*, 5(2–3), 191–198.
- Davison, A. C., Hinkley, D. V. (2003). *Bootstrap methods and their application*. Nowy Jork: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511802843>
- Diaconis, P., Efron, B. (1983). Computer-intensive methods in statistics. *Scientific American*, 248, 116–130. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican0583-116>
- DiCiccio, T. J., Efron, B. (1996). Bootstrap confidence intervals. *Statistical Science*, 11(3), 189–228. <https://doi.org/10.1214/ss/1032280214>
- Efron, B. (1979). Bootstrap methods: Another look at the jack-knife. *The Annals of Statistics*, 7(1), 1–26. <https://doi.org/10.1214/aos/1176344552>
- Efron, B., Tibshirani, R. (1993). *An introduction to the bootstrap*. Nowy Jork: Chapman & Hall.
- Erceg-Hurn, D. M., Wilcox, R. R., Keselman, H. J. (2013). Robust statistical estimation. W: T. Little (red.), *The Oxford handbook of quantitative methods*, t. 1 (s. 388–406). Nowy Jork: Oxford University Press.
- Fisher, R. A. (1941). The asymptotic approach to Behrens's integral, with further tables for the *d* test significance. *Annals of Eugenics*, 11(1), 141–172. <https://doi.org/10.1111/j.1469-1809.1941.tb02281.x>
- Gault, B. A., Sabini, J. (2000). The roles of empathy, anger, and gender in predicting attitudes toward punitive, reparative, and preventative public policies. *Cognition and Emotion*, 14(4), 495–520. <https://doi.org/10.1080/026999300402772>
- Graham, J., Haidt, J., Koleva, S., Motyl, M., Iyer, R., Wojcik, S. P., Ditto, P. H. (2013). Moral foundations theory. *Advances in Experimental Social Psychology*, 47, 55–130. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-407236-7.00002-4>

- Graham, J., Nosek, B. A., Haidt, J., Iyer, R., Koleva, S., Ditto, P. H. (2011). Mapping the moral domain. *Journal of Personality and Social Psychology*, 101(2), 366–385. <https://doi.org/10.1037/a0021847>
- Hall, P. (1992). *The bootstrap and edgeworth expansion*. Nowy Jork: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4612-4384-7>
- Hayden, R. W. (2005). A dataset that is 44% outliers. *Journal of Statistics Education*, 13(1), 1–12. <https://doi.org/10.1080/10691898.2005.11910642>
- Hayden, R. W. (2019). Questionable claims for simple versions of the bootstrap. *Journal of Statistics Education*, 27(3), 208–215. <https://doi.org/10.1080/10691898.2019.1669507>
- Jaffee, S., Hyde, J. S. (2000). Gender differences in moral orientation: A meta-analysis. *Psychological Bulletin*, 126(5), 703–726. <https://doi.org/10.1037//0033-2909.126.5.703>
- Jarmakowski-Kostrzanowski, T., Jarmakowska-Kostrzanowska, L. (2016). Polska adaptacja Kwestionariusza kodów moralnych (MFQ-PL). *Psychologia Społeczna*, 4(39), 489–508. <https://doi.org/10.7366/1896180020163908>
- Koronacki, J., Mielniczuk, J. (2006). *Statystyka: dla studentów kierunków technicznych i przyrodniczych*. Warszawa: Wydawnictwa Naukowo-Techniczne.
- Kozarski, R. (2004). Metody bootstrapowe w analizie szeregów czasowych. *Roczniki Kolegium Analiz Ekonomicznych*, 13, 199–213.
- Micceri, T. (1989). The unicorn, the normal curve, and other improbable creatures. *Psychological Bulletin*, 105(1), 156–166. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.105.1.156>
- Migon, H. S., Gamerman, D., Louzada-Neto, F. (2015). *Statistical inference: An integrated approach*. Nowy Jork: Chapman and Hall/CRC Press.
- Mukhopadhyay, N. (2000). *Probability and statistical inference*. Nowy Jork: CRC Press.
- Preacher, K. J., Hayes, A. F. (2004). SPSS and SAS procedures for estimating indirect effects in simple mediation models. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 36(4), 717–731. <https://doi.org/10.3758/BF03206553>
- Preacher, K. J., Hayes, A. F. (2008). Asymptotic and resampling strategies for assessing and comparing indirect effects in multiple mediator models. *Behavior Research Methods*, 40(3), 879–891. <https://doi.org/10.3758/BRM.40.3.879>
- R Core Team (2019). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. Wiedeń. Pobrane z: <http://www.R-project.org/>
- Rice, J. A. (2007). *Mathematical statistics and data analysis*. Belmont: Thomson/Brooks/Cole.
- Ripley, B. (2019). *Boot: Bootstrap functions*. R package version 1.3–24. Pobrane z: <https://CRAN.R-project.org/package=boot>
- Van der Vaart, A. W. (2012). *Asymptotic statistics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Wehrens, R., Putter, H., Buydens, L. M. (2000). The bootstrap: A tutorial. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 54(1), 35–52. [https://doi.org/10.1016/S0169-7439\(00\)00102-7](https://doi.org/10.1016/S0169-7439(00)00102-7)

- Wojciszke, B. (2018). *Psychologia społeczna*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe Scholar.
- Wright, D. B., London, K., Field, A. P. (2011). Using bootstrap estimation and the plug-in principle for clinical psychology data. *Journal of Experimental Psychopathology*, 2(2), 252–270. <https://doi.org/10.5127/jep.013611>
- Yuan, K.-C., Schuster, C., (2013). Overview of statistical estimation methods. W: T. D. Little (red.), *The Oxford handbook of quantitative methods in psychology*, t. 1 (361–387). Nowy Jork: Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199934874.001.0001>

Indeks rzeczowy

A

- Akcelerometr 25, 124, 125, 127, 132, 161, 163, 166, 169, 170, 172
- Akcelerometria 33, 133
- Aktygraf 128
- Aktygrafia (ACTG) 121, 123–125, 127, 129, 132, 133
- Aktywne światło podczerwieni, AIR 186
- Aktywność elektryczna serca (EKG) 168, 302
- Aktywność fizyczna 120, 121, 142, 307
- Akumulator ołowiowo-kwasowy 189
- Algorytm klastrujący
 - AAHC (*Atomize and Agglomerate Hierarchical Clustering*) 267
 - *k*-średnich 267
 - TAAHC (*Topographic Atomize and Agglomerate Hierarchical Clustering*) 267
 - zmodyfikowany *k*-średnich 267
- Alternatywne metody badania snu 123
- Ambulatory Circadian Monitoring* (ACM) 129, 133
- Analiza
 - powierzchni odpowiedzi (*response surface analysis*, RSA) 411, 412, 415–420, 424–427
 - sieci społecznych, SNA 192
 - wielopoziomowa 427
 - zespołów siedlisk 182
- Analiza ilościowa EEG (*quantitative EEG*, qEEG)
 - analiza falkowa 236
 - analiza widmowa 236
 - autyzm 240, 292
 - choroba Alzheimera 246, 248, 251
 - choroba Parkinsona 246, 247, 248
 - częstotliwość dominująca 244, 246, 247
 - demencja czołowo-skroniowa 246, 247
 - depresja 121, 243, 249, 250, 268, 282, 284, 287, 292
 - dysleksja 239, 240, 241, 251
 - farmakologiczne EEG (*pharmaco-EEG*) 248, 249, 250
 - kąt fazowy 237, 238
 - koherencja 236, 237, 240, 242, 243, 246, 248, 249, 251, 312
 - otępienie z ciałami Lewy’ego 246
 - parametr przyczynowości w sensie Grangera (*Granger causality*) 248
 - planowanie terapii 238, 248
 - stan mentalny 236, 270
 - współczynnik spektralny 238, 239
 - zaburzenia lękowe 244
 - zaburzenia neurorozwojowe 236, 238, 250, 269
 - zaburzenia obsesyjno-kompulsywne 244, 292

- zespół nadpobudliwości psychoruchowej (ADHD) 238, 239, 250, 284, 309, 312
- źródło sygnału EEG 236, 249, 250, 263
- Aquila chrysaetos* 193
- Arirania amazońska 194
- Asynchroniczność 333, 340
- Autodiagnozowanie 440, 441
- Autopotwierdzanie 440, 441
- Autowaloryzacja 440, 441
- B**
- Badania terenowe w warunkach nocnych 226
- Badanie laboratoryjne 58, 172, 229, 440
- Badanie snu 117, 119, 122–131
- Badanie w warunkach domowych 132, 133
- Banksia menziesii* 192
- Baterie
 - alkaliczne 188, 189
 - litowe 188
 - niklowo-wodorkowe 188
- Bazy normatywne 239, 284, 309
- Bed ACTG 127, 128, 133
- Bezdech senny 122, 128, 133
- Bezsensowność 121, 131, 306, 307
- Bezzałogowy statek powietrzny 202, 203, 207, 208
- Big Data 38, 39
- Biofeedback
 - biochemiczny 300
 - fizjologiczny 300
 - fizjologiczny: modalności 300, 301, 311, 312, 314
 - HRV 299, 301–314
 - multimodalny 311, 312
 - neurofeedback 300, 301, 309, 312
- Błąd
 - I rodzaju (błąd α) 450–455, 457, 462–466, 468
 - II rodzaju (błąd β) 450–453, 455, 465
- Borsuk europejski 191
- Ból
 - leczenie 141, 282, 287, 289, 290, 307
 - przewlekły 281–283, 286–291, 293
 - psychogeny 282, 283
- BVLOS 203
- C**
- Całkowita moc pola (GFP) 266, 267, 273
- Canis lupus* 192
- Capture-Mark-Recapture*, CMR, metoda wielokrotnych złowień 181, 187
- Cardiopulmonary Coupling* (CPC) 127, 133
- Cervus elaphus* 192
- Chiroptera* 192
- Crowdsourcing 38, 39
- Cuon alpinus* 191
- Cyberkartografia 43
- Cyjon 191
- Cykl okołodobowy 119
- Czas
 - pracy urządzenia na bateriach 188, 189
 - spoczynku 187
 - wyzwalania 186, 187
- Czasowość
 - percepcja 330, 331, 333, 334, 336, 338–341
 - produkcja 332–334, 341
- Czujnik ruchu 57, 128, 145, 146, 150–152, 168, 188
- Czułość 103, 188, 190, 220, 238, 243, 248
- Czynność oddechowa 123
- D**
- Decoded neurofeedback* 291
- Demograficzna
 - dynamika 192

- struktura 192
- szacunki 191
- Diada (pomiar badanych w diadach) 424, 437, 438, 439, 445
- Dioda
 - biała 186, 187, 188
 - LED 102, 105–107, 109, 111, 168, 186–188
 - podczerwona 186–188
- Długość snu 123
- Dopasowanie osoba-środowisko (*person-environment fit*) 426
- DRM paradygmat/procedura 377, 380, 384–386
- Dron 35, 205, 207, 210–212
- Drozdowate 192
- Drugorzędowa kora somatosensoryczna 293
- Dyskalkulia 87, 90, 91, 329, 336, 339, 340–342
- Dysleksja 81–84, 239–241, 251, 342
- Dysrytmia wzgórzowo-korowa 287
- E**
- Edukacja
 - matematyczna 87, 150, 329, 339, 342
- EEG
 - mobilne 23, 38
- EEG-Neurofeedback
 - protokoły 287, 288, 289, 291
 - zalety 285
 - zasada działania 285, 286
- Efekt
 - dezinformacji 382
 - fałszywej pamięci 384
 - krawędzi 287
 - modalności 385
 - SNARC 338
 - testowania 380
- Ekologiczna trafność 24, 25, 27, 32, 35, 386
- Elektroencefalografia (EEG) 17, 18, 23, 32, 38, 47, 57, 69, 118, 121, 122, 124, 125, 131, 132, 235–244, 246–250, 262–264, 266, 267, 269, 270, 272, 273, 281, 282, 284–293, 301, 305, 309, 311, 312, 397
- Elektrokardiografia (EKG) 122, 127, 131, 133, 168, 301, 302, 313
- Elektromiografia (EMG) 122, 124, 131, 166, 301
- Elektrookulografia (EOG) 54, 122, 124, 131
- Emisyjność 220
- Erinaceus roumanicus* 192
- Erithacus rubecula* 192
- Estetyka środowiskowa 35
- Eye tracking/Badania eye trackingowe
 - w grach i sporcie 61, 64, 65, 66, 69
 - w symulatorach 64, 66, 67
 - w warunkach laboratoryjnych 58, 61, 62
 - w warunkach naturalnych 61–66
 - w wirtualnej rzeczywistości 66–69
 - z udziałem ludzi 59, 60, 62, 69
 - z udziałem zwierząt 60
- F**
- Fale mózgowe 32, 236, 237, 239, 242, 247, 284, 285, 290, 291, 311
- Faza
 - czuwania 126
 - NREM 118, 120, 126
 - REM 118, 120, 122, 126, 129
 - snu 121–123, 125, 126, 129, 167
- Felis silvestris* 192
- Fibromialgia 282, 288, 308
- Fiksacje wzrokowe 36, 55, 56, 59, 60, 62, 63, 66

Filmy 25, 28, 29, 58, 180, 187–189, 193, 206, 218, 230, 285
 Flesz 106, 188
 fMRI-Neurofeedback 291
 Fotografia
 – fotografia lotnicza 35
 Fotopułapka
 – budowa 184–190
 – czas działania 188
 – funkcje 189, 190
 – mechanizm 184–190
 – modele 180, 181, 184, 186–189, 194
 – parametry 190
 – ustawienia 189, 190
Fringilla coelebs 192
functional connectivity neurofeedback 291
 Funkcje wykonawcze 61, 81, 84, 85, 86, 143, 148, 250, 271, 310

G

G*Power 460, 465, 467
 Gatunki
 – nocne 190
 – prowadzące skryty tryb życia 180, 181, 192
 – sympatyczne 189, 191
 – zagrożone wyginięciem 181, 190, 191, 207
 GCS 204, 205, 214
 Geograficzne Systemy Informacyjne (GIS) 33, 39
 GPS 33, 34, 37, 44, 161, 171
 Gra miejska 29, 30
 Gry
 – akcji 81, 82, 90, 91, 93
 – edukacyjne 80, 84, 87–90, 150
 – komputerowe 65, 80, 148, 150, 285, 311, 341

H

HCL (*human centric lighting*)
 – koncepcja 102, 104, 105, 107, 108, 110, 111
 – osoby starsze 107–109
 – zastosowanie obszary 107
 Heurystyka dystynktywności 380
 Higiena snu 119, 120, 131, 367, 368
 hipnogram 123
 Hipoteza
 – alternatywna 450, 453
 – zerowa 450, 453, 455, 456
 HOB0 rejestratory 35
 HRV biofeedback: aplikacje użytkowe
 – exergaming (treningowe gry komputerowe) 313
 – gry i aplikacje na smartfony 313
 – rzeczywistość wirtualna (VR) 313
 – zabawki 313
 HRV biofeedback: czujniki
 – elektrokardiografia (EKG) 301, 302, 313
 – pletyzmografia (PPG) 301, 302, 313
 – smartfon 313
 HRV biofeedback: zastosowanie
 – ból 307, 308, 311, 313
 – choroby układu oddechowego 308, 312
 – choroby układu sercowo-naczyniowego 305, 307, 314
 – depresja 305–308, 310, 312, 314
 – funkcjonowanie poznawcze 306–309
 – kreatywność 310
 – lęk 305–307, 310–312
 – psychosomatyka 308
 – PTSD 306
 – regulacja emocji 306–311
 – sport i rehabilitacja 306, 310–312, 314
 – stres 305–308, 310–312
 – taniec i muzyka 310
 – u dzieci 306, 308, 310

- u osób starszych 310
- uzależnienia 306, 307, 314
- zaburzeniach odżywiania 307
- zaburzenia snu 306, 308, 310
- zaburzenia uwagi 306, 309, 310
- HRV, zmienność rytmu serca
 - częstotliwość rezonansowa oddechu 302, 303, 314
 - fizjologia HRV 302, 303
 - neuroobrazowanie HRV 305, 308, 311
 - niemiarowość oddechowa 303
 - rezonans sercowo-naczyniowo-oddechowy 303
 - stan koherencji 303
 - wskaźniki HRV 304, 305, 308–310

I

Identyfikacja

- gatunkowa 187, 189, 192, 227
- indywidualna 189
- osobników 189

Ilościowa analiza rekurencyjna (RQA) 292

Immersja 25, 27, 68

Inne techniki terapii poznawczo-behawioralnej

- akceptacja 348, 350, 356, 358
- analiza funkcjonalna 356
- biofeedback 144, 299–315, 359
- farmakoterapia 138, 249, 284, 351, 355, 358, 359, 361, 362
- medytacje (SBI) 249, 271, 282, 289, 312, 353
- relaksacja 351–359
- rozwoju duchowego 353, 362
- systematyczna desensytyzacja 359
- techniki rozwiązywania problemów 351, 367, 368
- zarządzanie stresem 358, 360

Inteligencja płynna (Gf) 270, 271

Interakcja wzrokowa 25, 26, 60, 68

International Association for the Study of Pain (IASP) 283

Internet 27, 38, 41, 43, 352, 355, 356, 358, 363, 364, 366, 368

Istotność statystyczna testu 362, 450, 454–457, 460

J

Jakość snu 107, 117, 119–121, 127–131, 133, 134, 161, 166, 262, 289, 307, 308, 310

Jądro półleżące 290

Jeleń szlachetny 192

Jeź wschodni 192

K

Kamera

- leśna 180, 184, 186, 188, 190–192, 194
- obudowa 184, 189
- programowanie 189, 190
- szczelność 189
- termowizyjna 218–220, 223–226, 229
- ustawienia 189, 190

Kanczyl

- orientalny 193
- srebrnogrzbisty 193

Klasyfikacje zaburzeń psychicznych

- DSM-III 348
- DSM-III-R 348
- DSM-V 348
- ICD-10 283, 348

Koncepcja siebie (zob. samowiedza)

Koordinacja ruchowa 61, 107, 138, 140, 147, 336

Kopciuszek 192

Kos 192

Kotowate 180, 191

Kuna

- domowa 192
- rybarka 193
- wodna 193

L

Lampart

- amurski 191
- jawajski 191

Latencja snu 123

Leopardus pardalis 192

Linia

- rozbieżności (*line of incongruence*) 418–424
- zgodności (*line of congruence*) 418–423

Lis rudy 183, 192

Lokalizacja 67, 110, 122, 149, 161, 169, 170, 193, 207, 208, 244, 249, 250, 264, 286, 289, 291, 292, 301, 302, 315, 334

Lot autonomiczny 202, 205

Lynx lynx 192**Ł**

Łuskowcowate 190

M

Macierz bólu 290, 293

Magnetometr 163

Manidae 190

Mapowanie terenu 208

Mapy psychologiczne 40

Marker bólu 286

Martes foina 192*Martes pennanti* 193

Matematyczne

- umiejętności 88–92, 330, 339–341
- zdolności 341

Materiał numeryczny 91, 335–339

Mechanizm szybkiego odtwarzania 187

Meles meles 191*Meliphagidae* 192

Mentalna oś

- czasu 335
- liczbowa 150, 151, 335

Metoda

- bezpośredniego wykrywania kłamstwa 396, 399
- pośredniego wykrywania kłamstwa 398, 405
- *Random Encounter* 182
- sędziów kompetentnych 436
- Strategicznego Użycia Dowodów (*Strategic Use of Evidence*, SUE) 397, 406
- wielokrotnych złowień (*Capture-Mark-Recapture*, CMR) 181, 187
- zwiększania obciążenia poznawczego (*cognitive load approach*) 397, 403

Metody badania snu 122, 127

Metody kwestionariuszowe 22, 130, 131

Mikrostan

- A 263–265, 270
- B 263–265, 269–271
- C 263–265, 268, 269–271
- D 263–265, 268–270
- E 265
- F 264, 265
- G 265
- klasyczne topografie (A, B, C, D) 263, 265
- potencjałów wywołanych 265, 266, 273
- spoczynkowej aktywności 263–265, 267–271, 273

Miodojady 192

Moc statystyczna testu

- podejście prospektywne (*a priori*) 454, 455

– podejście retrospektywne (*post hoc*) 455

Model hybrydowy 385

Modele poznawcze

– metapoznawczy model (*metacognitive model*, MCM) 348, 349, 352, 359

– model dysregulacji emocji (*emotion dysregulation model*, EDM) 348

– model oparty na akceptacji (*acceptance-based model*, A-BM) 348, 350

– model oparty na nietolerancji niepewności (*intolerance of uncertainty model*, IUM) 348, 349

– model unikania obaw (*avoidance model of worry*, AMW) 348

Monitorowanie

– gatunków 180

– liczebności 180, 181

– zwierząt 159, 189, 190

– źródła informacji 378, 381

Mus sp. 192

Mustela putorius 192

Muzyka

– percepcja 332, 333, 335

– wykonanie 332, 333

Muzykoterapia 146, 330, 340

Mysz 120, 192, 225, 226

N

Nawigacja 27, 33, 35, 68

Nawyki 119, 122, 130–133

Niedźwiedź

– andyjski 191

– brunatny 188, 193

Nietoperze 192, 210, 211

Nightcap 126, 133

Non-contact sheet-type sensors (SS) 127, 128, 133

Numeryczno-przestrzenna

– relacja 88, 336

– zależność 87, 88, 150, 335

O

Obserwacje 22, 23, 31–35, 39, 42, 101,

138, 148, 150, 164, 180, 189, 190, 193,

194, 207–214, 226, 229, 230, 246, 262,

264, 289, 292, 293, 300, 367, 397, 417,

418, 473, 474, 477, 480–483

Ocelot wielki 192

Ocena

– składu gatunkowego 181, 191

– składu ilościowego 181

– składu jakościowego 181

Odległość euklidesowa 439

Ogólna różnica między mapami (*Global Map Dissimilarity*, GMD) 267

Okulograf/eye tracker

– mobilny (nagłówny) 56, 62, 65, 66

– zdalny 56, 57

Okulografia 32, 35, 36, 53, 54, 58, 61, 64, 66, 69, 472

Orzeł przedni 193

Osobowość 92, 262, 268, 271, 273, 382, 412, 416, 424, 425, 433, 435, 436

Ostronóg nektarowy 192

Ostrość 186, 187, 189

Oszacowanie

– liczebności 180, 181

– przeżywalności 181

– przyrostu populacji 181

– zagęszczenia 180–182, 191

– zasiedlenia 180, 182, 191

P

Pamięć

– autobiograficzna 386

– długotrwała 331, 384, 385

- epizodyczna 309, 384
- fałszywa 382, 384, 385
- robocza 80, 81, 84, 85, 89, 148, 262, 310, 379, 382, 384–386
- semantyczna 376, 384
- Pamiętam/wiem procedura 377
- Pan troglodytes* 208
- Pan troglodytes verus* 192
- Pangoliny 190
- Panthera pardus melas* 191
- Panthera pardus orientalis* 191
- Panthera tigris* 193
- Paraplegia 289
- Parus major* 192
- Pasma częstotliwości (fale) EEG
 - Alfa 38, 236, 237, 239, 240, 242–244, 246, 248, 249, 251, 287–290, 311
 - Beta 38, 236, 237, 239, 240, 243, 244, 246–248, 287–290
 - Delta 118, 237, 238, 240, 243, 246, 248, 287
 - Gamma 248, 287
 - rytm Mu 242, 251
 - Theta 38, 118, 237–240, 243, 246–249, 287–289, 311
- Pedometr 161
- Percepcja
 - czasu 329–331, 336, 338–341
 - rytmu 330, 331, 342
 - społeczna 426
- Phoenicurus ochruros* 192
- Pierwszorzędowa kora somatosensoryczna 293
- PIR, pasywne czujniki, czujki podczerwieni 167, 184–186
- Pirometr 227
- Pittsburgh Sleep Quality Index* (PSQI) 119, 130
- Płatowce 203
- Poczucie liczby 87
- Podczerwieni
 - niewidoczny oświetlacz 187
 - pasywne czujniki, czujki 184–187
- Podczerwień 54, 167, 184–187, 218, 221, 230
- Podejście frekwencyjne 453, 468
- Podwójne kodowanie 379, 383
- Polaryzacja 265, 266, 267
- Poligraf 397
- Polisomnografia 122, 125, 126, 129, 131, 133
- Pomiar fizjologiczny 124, 222
- Populacja 39, 134, 151, 180–182, 190–193, 212, 269, 271, 282, 341, 367, 368, 377, 450, 451, 454–457, 459–461, 465, 468, 473–475, 477, 478, 482, 483
- Populacji
 - oszacowanie wielkości 191
 - przyrost 181
 - zagęszczenie 180–182, 191, 192
- Potencjał
 - P3a 271
 - P3b 271
 - wywołany 265, 266
- Prędkość
 - migawki 194
 - wyzwalania 186
- Program statystyczny R 417
- Promieniowanie elektromagnetyczne 218
- Próba
 - bootstrapowa 474–477, 480–484
 - wielkość próby 452, 454, 457, 460–462, 465, 466, 468, 478, 479, 481
- Przedział ufności
 - percentylowy 480, 485, 486
 - przyspieszony skorygowany o obciążenie 480
 - typu bootstrap 479, 480, 484, 485
- Przejrzystość obrazu 189

Przestrzeni

- dzielenie 191
- zagęszczenie 191

Przestrzeń

- dwuwymiarowa 39, 412
- miejska 28, 32, 35, 36
- wirtualna 27, 68
- zintegrowana 34

Przeznaczszkowa stymulacja magnetyczna (TMS) 249, 250, 289, 337

Przeznaczszkowa stymulacja prądem stałym (tDCS) 285, 289

Przypominanie 376, 380, 384, 386, 452

Psychokartografia 40

Psychologia sportu 117, 122, 131

Psychologia środowiskowa 21–24, 27, 31, 32, 35, 39, 41–43, 213, 224

Psychologiczne Czynniki Oddziałujące na Stan Somatyczny (DCPR-R SSI) 283

Pteronura brasiliensis 194

Pulsoksymetria 122, 312

Pytania pośrednie

- typy 399, 400, 403, 406

Pytanie bezpośrednie 398, 401, 403–405

Q

Q-sort

- metodologia Q 434, 436, 438, 440
- narzędzie QOS 431, 434, 437, 438, 440–442, 445, 448
- programy do sortowania 438

R

Rattus sp. 192

Reakcja skórno-galwaniczna (GSR) 169, 222

Regeneracja 118–120

Regresja

- krokowa 417

- moderowana 427

- wielomianowa 416, 417

Rehabilitacja poznawcza 143

Relacyjność-współzależność Ja 440, 441

Repróbkowanie 474

Research Domain Criteria (RDoC) 283

Restoratywność miejsca 28, 36

ROI 218, 220, 222

Rozdzielczość 57, 189, 204, 208, 209, 226, 266, 285, 290, 292

Rozkład gęstości testu 455

Rozpoznawanie 242, 335, 348, 376, 379, 380, 383, 386

Rudzik 192

Ryś euroazjatycki 192

Rytm sensomotoryczny 288

Rytmy okołodobowe 100–102, 106, 107, 120, 129, 284

Rzeczywistość

- rozszerzona (AR) 25, 28–30, 148, 149, 351, 352, 355, 359
- symulowana 24, 25, 32
- wirtualna (VR) 25–30, 32, 67–69, 141, 143, 146, 171, 313, 472

S

Sakkady 36, 55, 56

Samowiedza

- akuratność (obiektywność) samowiedzy 432
- model adekwatności samowiedzy (trafność samowiedzy) 426, 440
- model samowiedzy osobowościowej 432
- obiektywność samowiedzy 431–435, 437–442
- spójność samoopisów wyrażonych wprost i nie wprost (*explicite-implicite consistency*) 432

- trafność samowiedzy 426
- wiedza osoby o tym, jak spostrzegają ją inni (*meta-accuracy*) 432
- zgodność między samoopisem i szacowaniem (*self-other agreement*) 431, 432
- zgodność samoopisu z zachowaniem (*behavioral prediction*) 432
- Sen 100, 103, 105, 107, 108, 117–134, 160, 161, 166, 167, 172, 221, 262, 284, 289, 307, 308, 310, 367, 368, 377
- Sensory 25, 39, 126, 127, 151, 159, 160–173, 186, 208, 292, 313
- Sensory (= czujniki)
 - ciśnienia 208
 - elektrochemiczne 169
 - inercyjne 163, 171
 - podczerwieni 167, 184–186
 - pozycji 162, 166, 169, 170
 - ruchu 57, 128, 145, 146, 150–152, 168, 169, 171, 173, 188
 - saturacji 125
 - sieci sensorów (=sieci urządzeń monitorujących) 164, 165, 171
 - tętna 168
- Sieć
 - czołowo-ciemieniowa 246, 264
 - neuronalna 237, 242, 246, 262, 263, 269, 270, 273
 - słuchowa 264
 - stanu spoczynkowego (DMN) 264, 284
 - uwagowa 264
 - wykonawcza 379
 - wzrokowa 264
- Sikora bogatka 192
- Skala senności dziennej – *Epworth Sleepiness Scale* (ESS) 130
- Skórna perfuzja krwi 221, 223
- Skuteczność/trafność
 - oceny szczerości 395, 396, 398, 399, 403, 405
 - wykrywania kłamstwa 395–400, 405
- SleepImage* 127
- Smartfon 27, 30, 32, 33, 37, 102, 106, 119, 125, 169, 205, 313
- Spacerowalność 32, 33, 38
- Sport 117, 122, 131, 162, 173
- Sportowcy
 - stadium snu 123
 - *static charge sensitive bed* (SCSB) 127, 128, 133
 - *The Dreem Headband* 124, 125, 132
 - WatchPAT 125, 126, 132
 - zaburzenia snu 119, 121, 130, 166
 - zespół przetrenowania (OTS) 119
 - zmienna TAP 129, 133
- Stan
 - czuwania 129, 160, 270
 - spoczynkowy 244, 273, 284
 - werbalizacji 270
 - wizualizacji 270
 - wykonywania zadania 270, 273
- Start 202, 204, 206, 213
- Strefa
 - detekcji 186, 187
 - wykrywania 186, 187
- Struktura płci 191, 192
- Sygnatura termiczna 221, 223
- Synchronizacja sensomotoryczna 332, 335, 340
- Szczury 119, 172, 192, 225
- Sztuczne światło, oświetlenie
 - krótkofalowe/„niebieskie” 101, 105–107, 110
 - LED, lampy 102, 105–107, 109, 111
- Szympanś

- zachodni 192
- zwyczajny 191, 208

Ś

Ślad cyfrowy 38

Ślad pamięciowy

- głęboki/treści (*gist*) 377, 382, 385
- powierzchniowy/formy (*verbatim*) 377

Śmigłowce 202

Środowisko

- naturalne 23, 24, 29–31, 36, 38, 41, 42, 61, 180, 212, 220, 335
- rozszerzone 25, 29, 30, 148
- społeczne 41
- uczenia 30, 34
- wirtualne 25, 42, 67
- wirtualne 26, 29, 32, 68, 69, 141

Światło

- białe 184, 186, 188, 189, 194
- natężenie 35, 102, 105, 108, 110, 188, 190, 194
- podczerwone 54, 186, 194

Światło ksenonowe 184, 188, 189

Światłoczułe komórki zwojowe 100, 101

T

Tablice Cohena 459–461

Tarsipedidae 192

Tchórz zwyczajny 192

Techniki behawioralne

- aktywizacja behawioralna 354
- eksperymenty 349
- ekspozycje *in vivo* 367
- ekspozycje wyobrażeniowe 352, 353, 357, 367
- samomonitorowanie 349

Techniki poznawcze

- psychoedukacja 349, 350, 367, 368

- restrukturyzacja poznawcza 349, 351–357, 359, 360, 367, 368

Techniki symulacyjne 25, 472, 473

Telenursing (= zdalna opieka nad pacjentami) 165, 167

Temperatura ciała 100, 129, 133, 171, 186, 224, 225, 227

Teoria

- aktywacji-monitoringu 378
- detekcji sygnałów 381
- rozmytego śladu pamięciowego 377, 378
- syntaksy przestrzennej 34, 35
- wielkości 330, 336

Terapia

- krótkoterminowa terapia psychodynamiczna 362
- niedyrektywna terapia wspierająca 359, 364, 367
- poznawczo-behawioralna 347–350, 361–363, 367, 368
- ruchowa 137, 138, 146
- terapia oparta na akceptacji (ABBT) 350, 356
- terapia oparta na akceptacji i zaangażowaniu (ACT) 358
- terapia psychodynamiczna 354, 358, 359, 362
- Wymuszonego Ruchu 140, 141

Termiczna rejestracja pulsacyjnego przepływu krwi 220

Termografia 18, 217–222, 224–227, 229, 230

Termogram 218, 219, 222, 227–230

Termoregulacja 227

Test pamięci

- 2FC 381
- przypominania 380, 384
- rozpoznawania 383

– tak/nie 380, 381
 – wymuszonego wyboru 381
 Test *t*-Studenta 454, 459, 461, 465–467, 475
 Test utajonych skojarzeń (*Implicit Association Test*, IAT) 271
 Topografia 263, 265–271, 273, 274
Tragulus kanchil 193
Tragulus versicolor 193
Tremarctos ornatus 191
 Trening
 – muzyczny 342
 – poznawczo-ruchowy 144, 151, 153
 – poznawczy 80, 82, 83, 92, 143, 271
 – pozorny (*sham*) 290
 – ruchowy 140, 148, 153
Turdus merula 192
Turdus sp. 192
 Tygrys 192

U
 UAS 204
 UAV 202–204, 206, 207, 209–214
 UAVO 203
 Uogólnione zaburzenie lękowe (*general anxiety disorder*, GAD) 347, 348, 350, 363
Ursus arctos arctos 188, 193
 Uwaga 27, 28, 31, 32, 34, 36, 58–63, 65, 66, 67, 69, 80–82, 84–87, 89–93, 106, 120, 133, 144, 147, 149, 163, 166, 171–173, 181, 186, 189, 191, 205, 207, 209, 223, 225, 230, 237–240, 246, 262, 266, 267, 271, 273, 274, 284, 290, 306, 309, 310, 313, 314, 338, 341, 349, 353–355, 358, 360, 361, 368, 376, 378, 384, 386, 396–398, 401–404, 406, 412, 413, 420–422, 432, 438, 439, 442, 454, 458, 474, 477

V

VLOS 203
Vulpes vulpes *Wearable sensors* (= urządzenia ubieralne) 18, 160, 161, 163, 165, 166, 169, 170

W

Wielkość efektu 451, 454–466, 468
 Wielowirnikowce 202–204, 209, 211
 Wilk szary 192
 Wirtualna komunikacja 42
 Własności mikrostanów
 – częstotliwość występowania (*frequency*) 266, 268, 270, 271
 – długość trwania (*duration*) 263, 265, 266, 268–270, 272
 – ogólny udział (*coverage*) 263, 264, 270
 – siła sygnału 266
 Wskaźnik częstości oddechu 168
 Wskaźnik częstotliwości fotografii 181
 Wskaźniki kłamstwa
 – diagnostyczne 398, 401, 402, 406
 – niewerbalne 398, 400
 – obiektywne/rzeczywiste 398, 400, 401, 406
 – stereotypowe 398, 402
 – subiektywne 398, 400
 – werbalne 398, 400
 Wskaźniki termiczne 220
 Wskaźniki wielkości efektu
 – *d* Cohena 404, 454, 458, 459, 461, 465, 485
 – *f* 461, 463
 – *f*² 461, 464
 – *g* 461, 462
 – *h* 461, 462
 – *r* Pearsona 462
 – *z* Fishera 462

- ϕ 463
- χ^2 463
- Współczynnik theta/SMR 288
- Wydra olbrzymia 194
- Wysokość 105, 206–212, 224, 263, 332, 334, 335, 338
- Wyzwalanie
 - czas 186, 187
 - migawki 194
 - prędkość 186
- Z**
- Zaburzenia
 - demencja 108, 146, 166, 167, 246, 247, 269, 382
 - neurologiczne 269, 336
 - neurorozwojowe 236, 238, 250, 269
 - psychiatryczne 244, 269
 - schizofrenia 59, 269
- Zależność numeryczno-czasowa 330
- Zanieczyszczenie światłem 100, 101
- Zasada wtyczki 474
- Zdjęcia
 - liczba 181, 187
 - nocne 189
 - przejrzystość 189
 - rozdzielczość 189
 - rozmycie 194
- Zmysł numeryczny 87, 91, 335, 336
- Zniekształcenie pamięci
 - asocjacyjne 375–378, 381–383
 - naturalne 376
- Związek
 - krzywoliniowy 412, 425
 - prostoliniowy 413, 425
- Ż**
- Żbik europejski 192
- Żyroskop 163, 166, 169

Indeks osobowy

A

- Aagten-Murphy, D. 59, 78
Aamodt, M. G. 396, 407
Abarbanel, A. 257, 298
Abell, M. 277
Abeln, V. 121, 134
Aberson, C. L. 427
Abrahamson, C. 306, 318
Abrams, M. 256
Abserson 417
Abtahi, F. 313, 315
Abtahi, S. 313, 315
Abu Bakar, M. F. A. A. 101, 111
Acevedo-Whitehouse, K. 213, 215
Acharjyo, L. N. 190, 197
Adams, D. M. 94
Adams, J. 94, 150, 154
Addington, J. 306, 320
Adler, C. H. 252
Aeschbach, D. 105, 112
Aguiar, P. 220, 231
Ahdab, R. 295
Ahmed, L. 321
Ahn, H. 295
Ahs, F. 304, 325
Ainsworth, S. E. 150, 155
Aisen, M. 176
Akhtar, S. 382, 387
Akimoto, T. 259
Alais, D. 59, 78
Alarcón, R. 472, 487
Alawneh, S. 161, 177
Albareda-Castellot, B. 58, 70
Albares, J. 136
Albrecht, U. 112
Albrechtsen, J. S. 404, 407
Alcaine, O. M. 348, 369
Alcock, J. 255
Aldabayan, Y. S. 142, 154
Aldhahir, A. M. 154
Aldosary, F. J. 353, 370
Algina, J. 459, 468
Alibali, W. M. 150, 155
All, A. 88, 94
Allali, G. 278
Allan, D. B. 289, 294, 298
Allen, A. 282, 295
Allen, C. R. 216
Allen, M. 57, 78
Allen, S. G. 220, 230
Almeida, S. 65, 70
Alnaes, D. 67, 70
Alqahtani, J. S. 154
Alrajeh, A. M. 154
Als, H. 242, 253
Altarriba, J. 383, 390
Altenmüller, E. 345
Alvarez, L. 253

- Ambros, E. 141, 154
Amedeo, D. 24, 45
Ammari, H. M. 173
Amso, D. 59, 72
Amspoker, A. B. 372
Anagnostou, E. 343
Anbar, R. D. 320
Anderer, P. 246, 249, 257, 258
Andersen, B. B. 257
Anderson, S. J. 376, 388
Anderson, T. 374
Andersson, R. 54, 55, 70, 73, 75
Andersson, T. 258
André, C. 140, 158
Andresen, D. 176
Andrews, D. W. K. 481, 486
Andrews, G. 352, 356, 370–372
Andrews, S. 161, 176
Anestis, E. 143, 156
Añez, Y. 253
Angeles, S. 197
Anghinah, R. 243, 254, 255
Anile, S. 191, 194
Ansari, D. 331, 345
Ansorge, U. 64, 72
Antal, A. 295
Antonietti, J.-P. 424, 429
Antonova, I. 261, 265, 274
Antrop, M. 36, 46
Antunes, H. K. M. 136
Antunes, J. 65, 70
Antzaka, A. 81, 94
Aoki, H. 75
Aoyama, T. 156
Apicella, F. 251
Apollonio, M. 192, 196
Appelhoff, S. 114
Apthorp, D. 59, 78
Arabameri, E. 118, 136
Aramaki, M. 196
Aramant, R. B. 114
Arandjelovic, M. 197
Ardi, R. 202, 216
Arena, D. 24, 47
Arena, R. 147, 157
Arguelles, L. 316
Arjmandi, N. 107, 111
Arleo, A. 68, 78
Armatys, P. 192, 195
Armougum, A. 27, 45
Armstrong, N. 282, 295
Armstrong, T. 59, 70
Arnall, P. J. 125, 134
Arndt, J. 380, 387
Arnrich, B. 165, 173
Arns, M. 239, 240, 248, 249, 251, 257, 294
Arntz, A. 351, 362, 369
Arsac, L. M. 306, 317
Ashby, F. G. 439, 442
Ashcroft, R. E. 87, 94
Askenazi, S. 90, 94
Askew, R. L. 295
Aspinall, P. 38, 45
Astin, J. 312, 324
Atienza, M. 126, 135
Atkins, A. S. 384, 387
Atkinson, M. 300, 306, 316, 320
Attar, N. 58, 70
Attia, D. 111
Auburn, T. 220, 231
Aufenberg, C. 297
Augendre, M. 46
Augusto, J. C. 178
Augustynowicz, P. 71, 74
Aulagnier, S. 198
Aung, T. 114

- Aunio, P. 97
Aureli, T. 231
Austin, T. 309, 324
Averill, P. M. 372
Avgerinos, A. 80, 97
Axt, J. R. 275
Ayala, G. 198
Azad, T. 378, 389
Azevedo, L. B. 150, 154
Azman, M. I. 101, 111
- B**
- Bächer, P. 240, 254
Back, M. D. 412, 428, 432, 433, 442
Bacon, P. L. 441, 443
Baddeley, A. D. 379, 384, 387
Badland, H. 44, 49
Baenninger, A. 269, 277
Baer, R. 371
Baer, T. 354, 371
Bae, S. M. 255
Bafunno, D. 231
Bahaa-el-din, L. 196
Bailenson, J. N. 24, 47
Bailey, N. W. 265, 268, 271, 274
Baillie, J. E. M. 182, 197
Baker, Z. G. 424, 427
Bakr, A. F. 28, 45
Bal, E. 59, 70
Balci, A. 142, 157
Balgera, A. 71
Ball, L. J. 54, 76
Ball, T. 181, 195
Ball-Rokeach, S. 40, 48
Ballard, D. 62, 67, 72
Ballard, G. 181, 197
Ballard, M. E. 134
Ballesteros, S. 93, 97
Balocchi, R. 174
Balota, D. A. 381, 382, 393
Bałaj, B. 36, 45, 53, 55, 58, 66, 70, 71, 74, 77
Banaji, M. R. 275
Bánhalmi, A. 313, 315
Bänninger, A. 274
Banos, R. M. 370
Bantlin, D. 196
Baptista, A. F. 296
Bar, A. 126, 134
Bär, K.-J. 313, 323
Baran, B. E. 416, 429
Baran, P. K. 28, 50
Baratho, R. 254
Barbey, A. K. 262, 274
Barcelon, E. A. 247, 251
Barch, D. M. 278
Bardram, J. 165, 173
Barisic, I. 75
Barker, L. 48
Barlier-Salsi, A. 111
Barlinn, K. 321
Barlow, D. H. 369
Barman, A. 143, 154
Barranti, M. 416–419, 424, 426, 427
Barrett, R. H. 180, 181, 193, 196
Barry, R. J. 238, 240, 252, 253
Barthélemy, Q. 296
Bartlett, F. C. 376, 387
Bartley, S. C. 277
Barton, K. R. 34, 43, 45, 50
Baruh, L. 424, 427
Basalamah, F. 216
Basińska, A. 283, 293
Baskaran, M. 114
Bassett, D. S. 262, 278
Basso, M. A. 58
Bater, C. W. 182, 194

- Bates, M. E. 303, 307, 308, 315, 317, 319, 325
Bauer, H. 292, 293
Bauman, M. D. 76
Baumgartner, A. 75
Baumgartner, T. 277
Bavelier, D. 80, 81, 94–96
Bayarri, C. 83, 97
Bayen, U. J. 381, 392
Bak, W. 412, 427
Beach, T. G. 252
Beall, A. C. 26, 48
Bechtel, R. 23, 45
Becker, E. S. 58, 73
Becker, M. 216
Becker, R. 278
Becker, S. 274, 277
Beckham, A. J. 307, 315
Beck, J. G. 357, 364, 366, 372
Bediou, B. 93, 94
Bedocs, L. 102, 115
Behar, E. 102, 111, 348, 350, 369
Behar-Cohen, F. 102, 111
Behrend, J. 66, 72
Behrens, T. E. J. 278
Behrmann, M. 253
Beier, J. S. 382, 388
Bell, D. M. 382, 388
Bell, L. H. 154
Ben-Artzi, E. 382, 387
Bendler, S. A. 385, 391
Benwell, C. S. 277
Benz, N. 247, 251
Berardi, A. 206, 214
Bereby-Meyer, Y. 398, 410
Berg, L. R. 120, 134
Berger, B. 308, 316
Berger, S. 297
Berkowitz, L. 410
Bernal, J. 256
Bernard, H. 196, 199
Berndtsson, A. 313, 315
Berntson, G. G. 304, 316
Berry, M. E. 306, 307, 316, 318
Berson, D. M. 100, 111, 113
Bertin, C. 306, 317
Bertoni, S. 82, 95
Berzi, D. 186, 198
Besta, T. 32, 47
Beste, C. 249, 252
Beukenhorst, A. L. 46
Bhatt, T. 147, 157
Bhide, R. 143, 154
Bientzle, M. 93, 95, 150, 155
Bierman, A. 106, 110–112
Bifolchetti, S. 252
Bigger, J. T., Jr. 316
Bilewicz, M. 485, 487
Bilicki, V. 315
Billeci, L. 174, 240, 242, 251
Biro, D. 214, 215
Bischof, W. F. 401, 409
Bishop, I. D. 24, 45
Bismuth, J. 284, 294
Biver, C. 237, 259
Black, P. J. 398, 408
Blanca, M. J. 472, 487
Bland, M. L. 214
Blank, H. 397, 410
Blasco, J. 160, 161, 168, 169, 173
Blaskowitz, J. J. 26, 48
Blattner, P. 112
Blin, N. P. 258
Block, J. 434, 438, 443
Blum, J. 313, 316
Bluschke, A. 249, 250, 252
Błachnio, A. 70

- Boakye, M. K. 190, 194
Bob, P. 251
Bodner, G. E. 378, 389
Bodurka, J. 292, 298
Boellstorff, T. 43, 45
Bogaard, G. 396, 398, 407
Bogaarts, J. G. 252
Bögels, S. M. 312, 317, 325
Bolbecker, A. R. 277
Bolhuis, N. A. 326
Bonanni, L. 246, 247, 252
Bonato, P. 161, 162, 167, 170, 174 –176, 178
Bonavolonta, F. 173, 175
Bond, C. F. 396, 399–401, 407, 408
Bonfà, C. 321
Bongard, S. 345
Böning, A. 316
Bonnefond, M. 294
Bonnin, N. 202, 208, 214
Bono, R. 472, 487
Boogert, N. J. 262, 274
Boomsma, D. I. 237, 257
Borbás, J. 315
Borenstein, M. 457, 458, 460, 469
Borkovec, T. D. 348, 369
Borson, S. 312, 317
Bortolon, C. 59, 71
Bosone, L. 71
Bosselman, P. 24, 45
Bossini, S. 338, 343
Bota, G. 202, 215
Botella, C. 370
Bott, N. T. 57, 71
Boucly, C. 68, 78
Boulos, M. N. K. 39, 45
Bousfield, W. A. 376, 387
Bousleiman, H. 251
Boutin, S. 195
Boutros, N. N. 251
Bower, G. H. 387
Bowkett, A. E. 182, 194
Boyce, P. 100, 110, 111
Boyd, R. L. 308, 324
Boyle, E. A. 92, 94
Braden, A. L. 295
Bradley, R. T. 300, 306, 316, 320
Bradwejn, J. 353, 370
Braeker, E. 275
Bragalanti, N. 188, 199
Brainard, G. C. 100, 101, 111, 113
Brainerd, C. J. 377, 382, 386, 387, 392
Brandeis, D. 263, 265, 274–276, 278
Brandl, J. 321
Brandner, C. 265, 277
Brandt, R. 309, 318
Brandt, S. A. 58, 71
Brattico, E. 335, 342
Brault, V. 46
Braun, A.-K. 26, 48
Braver, T. S. 262, 278
Breitholtz, E. 355, 362, 371
Breivik, H. 282, 294
Brenneisen, C. 297
Brenner, C. 85, 97
Bresler, M. 126, 134
Breslin, J. G. 45
Bresnahan, S. M. 238, 252
Bressler, S. L. 240, 259
Breteler, R. 240, 251
Brewer, G. A. 58, 78
Brillon, P. 370
Bringer, J. D. 318
Britton, M. 424, 427
Britz, J. 263, 264, 266, 270, 274, 278
Brock, L. L. 154

- Brooks, N. 356, 373
Brotons, L. 202, 215
Brotte, L. 313, 323
Brown, C. 213, 215
Brown, D. 295
Brown, P. 256
Brown, T. 309, 324
Brożek, B. 335, 342
Bruder, G. E. 259
Brudny, J. 317
Brunet, D. 267, 274, 276, 286, 292, 296
Brunner, M. 120, 134
Brunori, E. 174
Bryant, R. A. 382, 391
Bryant, S. 320
Brycz, H. 433, 443
Bryson, S. E. 256
Brzezicka, A. 81, 92, 96
Brzeziński, J. M. 458, 469
Buchan, C. 196
Buchhalter, J. 238, 257
Buchner, A. 417, 428, 465, 469
Bucic, A. 382, 388
Buckman, J. F. 308, 315
Buckner, R. L. 278
Budson, A. E. 382, 387
Budzinsky, H. 298
Budzinsky, T. 298
Budzynski, K. H. 257
Budzynski, T. 244, 257
Bueti, D. 336, 342
Buffalo, E. 71
Bulling, A. 60, 75
Bull, R. 398, 410
Bunce, J. 166, 176
Bunn, J. A. 160, 174
Burges-Watson, D. 150, 154
Burini, A. 343
Burmeister, C. 75
Burn, D. 166, 176
Burnette, C. P. 258
Burtner, R. 45
Burton, A. C. 180, 195
Butler, G. 351, 361, 362, 369
Butler, K. M. 381, 387
Butterworth, B. 336, 338, 342, 343, 345
Butterworth, B. L. 338, 343
Buxbaum, L. J. 141, 154
Buydens, L. M. 480, 488
Buysse, D. J. 130, 134
Byrd-Craven, J. 336, 343
Byrne, B. 111
- C
- Cabal, J. 36, 47
Cagiltay, N. E. 91, 94
Caia, J. 119, 134
Čajka, V. 158
Cajochen, C. 100, 101, 110, 112
Calabrese, P. 253
Caldwell, H. W. 307, 316
Caldwell, Y. T. 314, 316
Callahan, T. L. 114
Calleo, J. S. 372
Cameron, B. 93, 94
Cameron, C. E. 150, 154
Campatelli, G. 251
Campitelli, G. 65, 71
Campolettano, E. T. 213, 214
Campos, M. 136
Candrian, G. 239, 257
Cantero, J. L. 126, 135
Cantor, D. S. 242, 252
Canty, A. J. 481–483, 487
Canu, A. 192, 196
Cao, M. 270, 279

- Cao, X. 373
Capatides, C. 161, 174
Capdevielle, D. 59, 71
Cappeh, C. 278
Cappelletti, A. 176
Cappelletti, M. 338, 339, 343
Caravias, G. 247, 253
Carbone, C. 181, 182, 193, 195, 198, 199
Cardone, D. 220, 230, 231
Cardoso-Leite, P. 96
Carlin, J. 455, 469
Carlson, E. N. 416, 417, 424, 427, 432, 444
Carlson, J. A. 33, 46
Carlson, S. 343
Carlstedt, R. A. 311, 316
Carmena, J. M. 172, 178
Carmignani, E. 196
Carmin, C. 348, 371
Carmody, T. J. 136
Carney, D. R. 400, 409
Carpenter, W. S. 231
Carreiras, M. 94
Carrillo-Percastegui, S. E. 181, 199
Carroll, T. J. 275
Carswell, W. 178
Carter, G. T. 313, 326
Carvalho, N. 58, 71
Casagrande, E. 95
Caso, F. 246, 247, 252
Cassey, P. 195
Castellar, E. N. 88, 94
Castelloe, P. 243, 253
Caulfield, B. 317
Causse, M. 66, 67, 72, 76
Cavallari, A. 173, 175
Cavallo, F. 166, 177
Cavallo, M. M. 319
Caviness, J. N. 246, 252
Celmer, B. 176
Cemalcilar, Z. 424, 425, 427
Centeno, M. V. 297
Cerávolo, M. P. 157
Cereatti, A. 164, 178
Cerutti, S. 323
Cesarini, J. P. 111
Cetnarski, R. 297
Chabot, D. 211, 214
Chabot, R. J. 239, 252
Chalaye, P. 308, 316
Challa, S. 174
Challender, D. W. S. 190, 195–197, 199
Champod, A. S. 344
Chan, A. S. 240, 252
Chan, L. 161, 176, 312, 317
Chan, L. K. Y. 68, 75
Chang, A. M. 105, 112
Chang, H.-H. 175
Chang, K. T. 157
Chang, M. 141, 157
Chang, W. L. 307, 317
Chapman, P. 63, 74
Chapple, I. T. 316
Charlton, K. 400, 407
Chartrand, D. 306, 326
Chatron, J. 196
Chatterjee, A. 143, 154
Chaturvedi, M. 246, 248, 252, 253
Chau, B. 141, 154
Cheal, C. 62, 72
Chellappa, S. L. 100, 112
Chen, A. G. 147, 154
Chen, C. 393
Chen, C.-C. 30, 47
Chen, C. H. 156
Chen, E. 424, 428
Cheng, E. 35, 46, 202, 214

- Cheng, K.-H. 30, 46
Chen, H. 320, 424, 428
Chen, I. H. 143, 156
Chen, J. 246, 254
Chen, J. J. 343
Chen, J. L. 343
Chen, K. 174
Chen, Q. 346
Chen, T. M. 160, 173
Chen, Y. 143, 156, 240, 259
Chen, Y. J. 317
Cheok, A. D. 68, 75
Chernick, M. R. 480, 481, 484, 487
Cheryan, S. 43, 46
Chesser, M. 211, 216
Cheung, M. C. 240, 252
Chiang, T. H. C. 148, 149, 154
Chien, C.-L. 307, 326
Chifunte, C. 216
Chinn, S. 87, 94
Chipchase, L. S. 138, 154
Chitty, K. M. 59, 75
Chiu, Y. 286, 294
Cho, H. K. 146, 154
Cho, Y. 222, 230
Choi, I. 372
Choi, J. 157
Choi, J. H. 143, 144, 155
Choi, K. 59, 73
Chon, J. 204, 215
Chooi, W.-T. 80, 94
Chopard, G. 71
Chou, M. C. 156
Chou, Y.-W. 30, 47
Chouvarda, I. 121, 135
Christie, K. 213–215
Christie, S. 195
Chudecka, M. 220, 230
Chumchua, V. 307, 325
Chung, S. W. 274
Chung, Y. 175
Chun, M. M. 275
Church, R. M. 331, 343
Ciampi de Andrade, D. 295
Cichocka, A. 485, 487
Ciflikli, C. 161, 167, 177
Cioni, B. 256
Cipora, K. 87, 94
Cipresso, P. 58, 71
Claflin, E. S. 140, 141, 154
Clamor, A. 308, 317
Clancy, S. A. 386, 387
Clark, D. A. 371
Clarke, A. R. 238–240, 252, 253
Clarke, R. H. 220, 232
Clemens, F. 397, 407
Clopton, P. 71
Clore, G. L. 383, 392
Coane, J. H. 384, 387
Coben, R. 240, 253
Codde, S. A. 220, 227, 230
Cohen, B. H. 54, 72
Cohen, D. 87, 97
Cohen, J. 451–454, 456–461, 464, 468, 469
Cohen, L. 87, 97
Cohen, R. 282, 294
Collett, B. 282, 294
Collins, A. M. 376, 388
Colmar, S. 95
Coltheart, M. 332, 335, 344
Comi, G. 252
Conder, A. A. 311, 317
Conder, R. L. 311, 317
Conforti, K. 195
Conforto, A. B. 140, 158

- Congedo, M. 296
Connelly, E. 199
Connolly, T. M. 92, 94
Constable, R. T. 275
Conway, B. A. 289, 294, 298
Conway, M. A. 392
Conway, T. L. 46
Cook, C. J. 318
Cook, D. G. 174
Cook, H. D. 147, 156
Cook, I. A. 243, 249, 253, 254, 256
Cook, L. 46
Cooke, T. J. 42, 46
Cooper, H. 400, 407
Cooper, M. L. 444
Cooper, N. G. 114
Coops, N. C. 194
Corbet, T. 256
Corlier, J. 249, 253
Coronel, C. 247, 253
Corr, P. J. 262, 274
Corson, Y. 382, 388
Cortese, A. 297
Cosci, F. 283, 294
Coslett, H. B. 141, 154
Costello, E. 364, 365, 369
Cote, S. 416, 417, 427
Cottet, M. 36, 46
Coulson, T. 195
Cournia, N. 68, 71
Courtois, G. 242, 254
Couse, J. 172, 174
Coutin-Churchman, P. 243, 253
Cowan, N. 384, 388
Coyle, S. 162, 174
Coyle, S. M. 319
Coyne, R. 38, 45
Craik, F. I. M. 392
Craik, K. H. 24, 45
Craske, M. G. 364–367, 369, 373
Creel, S. 216
Creelman, C. 381, 390
Cress, U. 92, 93, 95, 96, 150, 155, 157
Crifaci, G. 169, 174
Cristea, I. A. 370
Cristino, F. 66, 71
Crits-Christoph, P. 351, 361, 362, 369
Croce, P. 279
Croce, U. 164, 178
Crocker, D. E. 220, 230
Cromarty, R. 258
Cronbach, L. J. 439, 443
Cross, C. B. 222, 230
Cross, S. E. 441, 443
Crouzet, S. M. 59, 72
Crowley, D. N. 45
Crundall, D. 63, 74
Cui, C. 177
Cuijpers, P. 358, 361–363, 370
Cuke, M. 182, 197
Cupkova, D. 107, 112
Cursi, M. 252
Custer, H. 396, 407
Custo, A. 263–266, 274, 278
Cuthbert, B. 294
Cutler, T. L. 184, 195
Cwalina, W. 35, 48
Cysewski, P. 317
Czachowski, S. 281, 299
Czarnota, P. 192, 195
Czeisler, C. A. 100, 105, 112, 113
Czyżak, I. 282, 295

Ć
Ćwirko, J. 185, 195
Ćwirko, R. 185, 195

D

- Dacewicz, A. 342, 345
Dackermann, T. 150, 155
Daffner, K. R. 387
Dahlstrom, K. 96
Dalenberg, C. 306, 317
Dalimin, M. N. 101, 111
Dalla Bella, S. 333, 335, 343, 345
Dalton, D. L. 190, 194
Daly, J. J. 138, 155
Danielson, J. 167, 177
Dao, T. K. 306, 325
Darnall, B. 282, 294
Da Silva, F. F. 157
Da Silva Prado, J. M. 120, 135
Daskalova, N. 75
Dáttilo, M. 136
Daugherty, A. 316
Davey, G. 369
Davey, G. C. L. 349, 359, 370
Davila, P. 277
Davis, A. H. T. 317
Davis, K. D. 293, 295
Davison, A. C. 481, 484, 487
Dawson, D. R. 343
Dawson, G. 240, 243, 253, 256
De Angeli, A. 176
de Bruin, E. I. 312, 317, 325
De Filippo De Grazia, M. 86, 96
De Freitas, W. Z. 157
de Geus, E. J. 237, 257
de Groot, J. I. M. 22, 50
De Kort, Y. A. 24, 46
De Luca, D. W. 181, 198
de Maar, E. 323
De Leonardis, D. M. 381, 389
de Marez, L. 88, 94
de Mello, M. T. 120, 135, 136
de Queirós, F. C. 296
De Souza, R. A. 157
de Vente, W. 312, 325
de Vries, M. 286, 294
de Yzaguirre, I. 135
Dear, B. F. 352, 370, 374
DeBarros, A. 309, 324
Deepika, S. S. 60, 72
Deese, J. 376, 388
Dehaene, S. 87, 88, 97, 335, 336, 338, 343
Dehais, F. 66, 67, 72, 76
DeJesus, M. 371
Dejnaka, A. 150, 155
Del Pinal, J. 177
Delbridge, M. 231
Della Croce, U. 164, 178
Dellatore, D. 202, 216
DeLongis, A. 424, 428
Delpierre, Y. 296
Demarais, A. M. 54, 72
Demario, J. L. C. 254
Demerdzieva, A. 240, 257
Demos, J. N. 239, 253
Deneke, E. 307, 317
Deng, B. 259
Denver, J. W. 70
DePaulo, B. M. 396, 399, 400, 402, 404, 407, 410
Derchak, P. A. 172, 174
Dereziński, K. 281
DeRidder, D. 294
Derman, W. E. 306, 309, 311, 322
Derrick, J. L. 424, 425, 427
Deschodt-Arsac, V. 306, 317
DeSouza, J. F. 146, 155
De'Sperati, C. 95
Despres-Einspenner, M.-L. 192, 195, 197
Detweiler, C. 216

- Devillard, S. 191, 194
Devitt, A. L. 381, 388
Devlin, A. S. 27, 46
Dewhurst, R. 58, 73
Dewhurst, S. A. 376, 388
Dhami, P. 146, 155
Dhindsa, K. 274, 277
Di Dio, C. 75
Di Lazzaro, V. 256
Diaconis, P. 477, 487
Diamantaras, K. 121, 135
Diamond, D. 162, 174
Diard, J. 94
Diaz Hernandez, L. 269, 277
DiCiccio, T. J. 480, 487
Diefenbach, G. J. 372
Dierks, T. 274, 278
Dijk, D. J. 100, 112
Diliberto-Macaluso, K. 383, 390
DiMarco, I. D. 350, 369
Dinata, Y. 182, 196
Ding, L. 298
Ding, M. 240, 259
Dinse, H. R. 146, 155
Dinstein, I. 242, 253
Dirks, M. A. 424, 428
Ditmer, M. A. 215
Ditto, P. H. 487, 488
Dixon, W. G. 37, 46
Djebbara, Z. 38, 46
do Nascimento, M. A. 296
Dobrogowski, J. 282, 283, 295, 298
Dobrowolski, P. 90, 95
Dobrzykowska, A. 261
Dobrzyńska, M. 401, 406, 410
Dodge, M. 43, 46
Dodson, C. S. 380, 388
Dohle, C. 75
Domínguez-Sánchez, C. 213, 215
Donegan, M. 75
Donges, J. F. 292, 298
Dongier, M. 242, 254
Donner, R. V. 292, 298
Doppelmayr, M. 238, 255
Dorfler, A. 297
Dornburg, C. C. 381, 387
dos Santos, L. F. 75
Double, K. 95
Downey, R. 122, 136
Doya, K. 279
Doyle, L. 256
Dozza, M. 64, 78
Drapeau, P. 192, 195
Dreszer, J. 261, 331, 345
Drmic, I. E. 256
Dubas-Miciuk, M. M. 411
Dubois, O. 88, 97
Duch, W. 281
Duchowski, A. 69, 73
Duchowski, A. T. 54, 56, 58, 68, 71, 72
Duda, T. 47
Duffield, R. 135
Duffy, F. H. 242, 253
Duffy, J. F. 105, 112
Duffy, V. G. 223, 232
Dufner, M. 428
Dugas, M. J. 348, 349, 352, 361, 362, 369, 370
Dugger, B. N. 252
Duncan, M. J. 44, 49
Duncan, S. 44, 49
Dunlap, K. R. 378, 389
Dunn, F. A. 100, 111
Dunshea, F. R. 220, 232
Dupont, L. 36, 46
Dursun, E. 288, 295

Dursun, N. 288, 295
Dvir, I. 134
Dwyer, F. 93, 94
Dziembowska, I. 311, 314, 317

E

Earhart, G. M. 146, 155
Ebert, C. 308, 324
Ebisch, S. 231
Ebisch, S. J. 279
Eckberg, D. L. 316
Eckersdorf, K. 220, 232
Eddie, D. 307, 314, 317
Edward, K. 398, 410
Edwards, C. 180, 196
Edwards, J. R. 426, 428
Efron, B. 471, 473, 474, 477, 480, 481, 484, 487
Egloff, B. 424, 429
Egner, T. 285, 294
Ehrensperger, M. M. 251
Eichelberger, D. 247, 253
Einarsson, B. 258
Eira Nunes, C. 424, 429
Ekelund, U. 174
El Sayad, Z. T. 28, 45
Elam, M. 258
Elbaum, S. 216
El-Hay, T. 46
Ellard, C. 34, 43, 45, 50
Ellaway, A. 33, 48
Ellis, D. A. 161, 176
Ellis, P. D. 451, 452, 456, 457, 458–460, 469
Emaminejad, S. 174
Emerson, M. 96
Emilsdottir, A. L. 258
Enck, P. 326
Endestad, T. 70

Endo, T. 136
Engedal, K. 257
Engle, R. W. 97
Engmann, B. 249, 254
Erceg-Hurn, D. M. 472, 487
Erdfelder, E. 417, 428, 465, 469
Erickson, H. 176
Erickson, M. A. 277
Erisman, S. M. 356, 372
Erlacher, C. 121, 135
Erlacher, D. 121, 135
Ermutlu, N. 288, 295
Escamilla, E. E. 381, 390
Esefeld, J. 213, 215
Eslaminejad, A. 308, 325
Espeseth, T. 70
Essig, K. 65, 74
Estivill-Domènech, C. 119, 135
Estivill, E. 135, 136
Etman, A. 49
Ettinger, U. 73, 76
Evanoff, C. 398, 408
Evans, J. 298
Evans, J. R. 257
Everling, S. 76
Ewers, R. M. 199
Exner, J.-P. 37, 49

F

Faber, P. L. 268, 276–278
Facoetti, A. 95
Faid, M. S. 101, 112
Fairclough, S. H. 75
Fajkowska, M. 441, 443
Falautano, M. 252
Falk, E. B. 262, 278
Falkowski, A. 386, 388
Fallon, N. 286, 287, 294

- Falvey, C. M. 108, 115
Falzon, G. 197
Fanelli, G. 252
Fan, S.-Y. 307, 320, 326
Fan, Y. 38, 47
Faraz, M. 107, 111
Farine, D. R. 197
Farmer, L. 306, 325
Farzan, F. 263, 267, 275, 277
Faul, F. 417, 428, 465, 469
Faulkner, K. 381, 390
Fava, G. A. 283, 294
Favennec, P. 296
Favretto, G. 321
Fawcett, J. M. 378, 389
Fayol, M. 88, 97
Fazeli, A. 316
Federici, S. 56, 58, 75
Federico, A. 78
Federighi, P. 78
Fehlmann, G. 214, 215
Fei, J. 221, 231
Feistner, T. C. 371
Feit, J. 314, 318
Fekri, S. 259
Fellner, D. W. 76
Feng, H. 163, 177
Feng, L. 199
Fennell, M. 351, 369
Fenton, C. 33, 48
Ferguson, I. 106, 114
Fernell, E. 96
Ferraioli, G. 156
Ferrari, P. F. 59, 77
Ferreira, F. 340, 344
Ferreira, L. A. 150, 155, 254
Fias, W. 331, 345
Fich, L. B. 38, 46
Fidrich, M. 315
Fiebach, C. J. 262, 275
Fiedler, B. 35, 201
Field, A. P. 359, 370, 486, 489
Field, J. 182, 198
Figueiro, M. G. 106–110, 112, 114
Fillingim, R. B. 262, 275
Finc, K. 87, 95, 150, 155
Fink, G. R. 75
Finkelstein, J. 310, 313, 319
Finn, E. S. 262, 275
Fiori, L. 216
Fischbach, A. 134
Fischer, M. H. 74, 150, 158, 338, 343
Fischer, U. 92, 93, 95, 96, 150, 155, 156, 157
Fisher, J. T. 195
Fisher, R. A. 453, 469, 482, 487
Fisher, R. P. 397, 410
Fisher-Gewirtzman, D. 28, 49
Fisk, J. 382, 392
Fitzgerald, D. 317
Fitzgerald, P. B. 274
Flacke, J. 33, 50
Flausino, N. H. 120, 135
Fleitas, R. 253
Fleming, D. 28, 50
Fleming, P. J. S. 181, 197
Floras, J. S. 321
Fogarty, J. J. 308, 324
Foland, A. 40, 47
Foley, F. W. 319
Foley, M. A. 378, 379, 388
Foreman, J. 380, 390
Forouzbakhsh, F. 337, 344
Forssberg, H. 80, 96
Foster, T. M. 455, 470
Foti, F. 156
Fotiadis, D. I. 169, 175

Fotios, S. 62, 72
Fotuhi, M. 326
Foulsham, T. 62, 72
Fountaine, C. J. 160, 174
Fox, B. D. 158
Fox, J. 24–26, 47
Fraga, F. J. 254
Franceschini, S. 82, 90, 95
Franciotti, R. 252
Francis, C. M. 211, 214
Francis, H. M. 309, 317
Francis, J. L. 307, 319
Franco, N. H. 220, 225, 226, 231
Francuz, P. 66, 71, 74
Franěk, M. 36, 47
Franken, A. 424, 425, 428
Frankenberg, E. 345
Frank, L. D. 46
Frank, M. C. 46, 59, 72
Franke, U. 354, 371
Franklin, N. 195
Fraser, M. 289, 294, 298
Frączkowski, K. 173, 174
Frederick, C. 113
Fredrikson, M. 304, 325
Fredriksson, G. M. 216
Freedberg, D. 75
Freedman, G. 274
Freedy, E. 306, 326
Freeman, E. D. 338, 343
Freeman, S. M. 76
Freeston, M. H. 349, 370
Freeth, M. 36, 49
Fregni, F. 295
Freitas, C. 331, 343
Fresco, D. M. 348, 371
Freund, R. 307, 321
Frey, R. 246, 257

Freyssinier, J. P. 114
Fried, D. E. 97
Friedman, N. P. 96
Friedrich, E. K. 345
Friedrich, J. 249, 252
Fronde, M. 102, 113
Fruchter, O. 158
Fu, Y. 202, 203, 211, 215
Fuchs, C. 348, 371
Fuchs, O. 297
Fudali-Czyż, A. 55, 71, 77
Fuentes, S. 220, 232
Fuhr, P. 251–253
Fuhrman, M. 47
Fuhrmann, C. 177
Fujioka, E. 136
Fujioka, T. 136, 340, 343
Fukunaga, M. 306, 318
Fukushima, M. 262, 275
Fuller, K. L. 123, 135
Fuller, P. M. 118, 135
Fulton, P. R. 350, 370
Furr, R. M. 424, 427
Fürtbauer, I. 214, 215

G

Gagnon, F. 349, 370
Gagnon, F. N. 370
Galderesi, S. 276
Galilea, B. 135
Gallacher, D. 282, 294
Gallagher, M. P. 378, 392
Gallese, V. 75, 220, 231
Galley, P. 154
Gallo, D. A. 377, 378, 380, 381, 382, 386, 388, 392
Gallop, R. 369
Gamerman, D. 482, 488

- Ganc, M. 256
Ganis, G. 397, 408
Ganong, W. F. 100, 113
Ganz, T. R. 215
Ganzetti, M. 292, 295
Gao, W. 169, 174
Gao, Z. 148, 158
Garbey, M. 221, 231
Garcia-Campayo, J. 370
García, H. 257
Garcia, M. 297
Garg, K. 311, 321
Garn, H. 247, 248, 253
Garrett, D. D. 262, 275
Garry, M. 392
Gartner, G. 49
Gärtner, M. 75
Garvey, M. 294
Gasparotto, R. 321
Gasparrini, A. 46
Gasser, T. 237, 240, 242, 253, 254
Gastaut, H. 242, 254
Gaston-Bellegarde, A. 27, 45
Gatz, M. 366, 367, 373
Gaudet, A. 370
Gault, B. A. 485, 487
Gaździński, S. P. 74
Gąsik, M. 74
Ge, J. 199
Geary, D. C. 336, 343
Gehl Jan 23, 31, 47
Gelder, M. 351, 369
Gellner, R. A. 214
Gelman, A. 455, 469
Gendron, D. 213, 215
Gendźwiłł, A. 47
Gentili, C. 370
Gentry, W. A. 416, 429
Geraci, L. 381, 390
Geraerts, E. 386, 389
Gerber, B. D. 199
Gerber, W. D. 314, 319
Germer, C. K. 350, 370
Gerner, E. 111
Gerós, A. 220, 231
Gertz, K. J. 282, 288, 295
Gervais, N. J. 370
Geukes, K. 428
Gevins, A. 276
Gevirtz, R. 306, 308, 309, 317, 323–325
Gevirtz, R. N. 306, 327
Ghaoui, C. 76
Giacalone, J. 198
Giacomin, M. 432, 443
Gianas, A. 295
Giannakopoulos, T. 57, 76
Giannopoulos, I. 69, 73
Gianotti, L. R. 268, 277, 278
Gianotti, L. R. R. 275–277
Giardino, N. D. 312, 317
Gibbon, J. 331, 343
Gibbons, M. B. C. 369
Gibb, R. 66, 72
Giel, K. E. 326
Gielen, J. 254
Gifford, R. 22, 23, 47, 50
Giggins, O. M. 300, 302, 305, 313, 317
Giguere, J.-F. 335, 343
Gilbert, C. 314, 315, 326
Gilbert, S. 213, 215
Gilbertson, T. 256
Gilchrist, I. D. 66, 71, 76
Gillberg, C. 258
Gilleade, K. 75
Gilli, G. 75
Gillum, A. 379, 388

- Gil, Y. 306, 326
Gingl, Z. 315
Ginsberg, J. P. 304, 306, 316, 318, 323
Ginsberg, J. R. 195
Giordano, B. L. 338, 345
Giordano, J. 312, 324
Giovanelli, D. 176
Giroux, P. 338, 343
Giroud, N. 265, 275
Glancy, M. 76
Glasgow Le 38
Glasgow, T. E. 47
Glass 458
Glassco, J. D. 364, 372
Gleichauf, K. J. 316
Glickman, G. 111
Glover, T. A. 382, 393
Gobet, F. 65, 71
Godfrey, A. 163, 164, 166, 173, 174
Goelitz, J. 306, 320
Goff, L. M. 380, 392
Goffaux, P. 308, 316
Gohel, S. 308, 315
Gold, C. 146, 157
Goldberg, J. O. 256
Goldingay, R. L. 181, 195
Goldin-Meadow, S. 150, 155
Golikova, J. 278
Golimstock, A. 257
Gollamudi, S. S. 167, 175
Golledge, R. G. 24, 45
Gollub, R. L. 297
Goodchild, M. F. 39, 48
Goodenough, A. E. 219, 227, 231
Goodhew, J. 220, 231
Goodhew, S. 220, 231
Gooding, D. C. 58, 72
Gooley, J. J. 100, 101, 113, 114, 118, 135
Goossens, J. 247, 254
Goraczewski, Ł. 87, 95, 150, 151, 155, 158
Gorbaniuk, O. 70
Gordon, E. 59, 74
Gore, C. J. 123, 135
Gorenstein, E. E. 371
Gori, S. 95
Göritz, A. S. 313, 316
Gorman, J. M. 371
Goroncy, A. 110, 113
Gorzelańczyk, E. 314, 318
Gosselin, N. 345
Gothard, K. M. 222, 231
Gothelf, D. 308, 324
Gotlib, I. H. 383, 389
Götz, T. 112
Gough, H. G. 435, 437, 441, 443
Gould, P. 40, 47
Gould, R. A. 359, 362, 363, 370
Gómez-Jarabo, G. 237, 256
Graczyk, M. 327
Grad, A. 312, 322
Grady, C. L. 275
Gragnani, C. 307, 319
Graham, D. M. 101, 113
Graham, J. 472, 487, 488
Graham, L. M. 382, 389
Graham, M. 43, 51
Graham, T. C. N. 60, 68, 77
Graipel, M. E. 181, 197
Gramann, K. 38, 46
Granger, C. W. J. 248, 254
Granhag, P. A. 396, 397, 399, 400, 407–410
Grannemann, B. D. 136
Gray, R. 66, 72
Gray, T. N. E. 193, 195
Graziadio, S. 258
Green, A. 118, 135

Green, C. R. 399, 407
Green, C. S. 80, 81, 94, 95
Greenberg, M. A. 306, 327
Greene, T. B. 307, 315
Greenson, J. 240, 256
Greer, T. L. 136
Greeson, J. 111
Gregg, A. P. 441, 443
Greifeneder, R. 400, 409
Greisinger, A. J. 372
Griffin, S. A. 87, 95
Grimm, G. 321
Griskova-Bulanova, I. 274, 277
Grissmer, D. 154
Grissom, R. J. 456, 458, 459, 469
Groeneveld, K. M. 309, 318, 326
Groenveld 312
Groff, C. 188, 199
Grond, U. 96
Grosjean, F. 383, 389
Gross, M. J. 311, 318
Gross-Tsur, V. 341, 345
Grossman, P. 316
Grouiller, F. 278
Gruber, W. 255
Grucza, S. 71
Grünberger, J. 246, 257
Grundlehner, B. 169, 178
Grüner, M. 64, 72
Grushko, A. I. 64, 72
Gruszka, A. 278
Gruzelier, J. 285, 294
Gruzelier, J. H. 310, 322
Gruzelier, J. H. H. 309, 310, 318
Gryz, J. 192, 195
Grzelczak, M. 317
Gschwandtner, U. 251, 252, 253
Gu, Y. 246, 254

Gucev, Z. 240, 257
Gudmundsson, T. E. 258
Guerrero, V. 256
Guggisberg, A. G. 256
Guiles, R. A. F. 308, 324
Guillot, A. 134
Gulatowska, J. 159, 209, 228
Gulick, S. 180, 198
Gulyás, B. 345
Gundlach, J. 297
Gunter, R. W. 378, 389
Gurnee, R. 244, 245, 254
Gurnee, R. L. 245
Gustafsson, P. 96
Gut, M. 18, 21, 53, 79, 87, 88, 95, 99, 117,
137, 146, 150–152, 155, 158, 159, 179,
201, 217, 235, 261, 281, 299, 329, 335,
341, 344, 347, 375, 395, 411, 431, 449, 471
Gutierrez-Osuna, R. 312, 321

H

Habgood, M. P. J. 150, 155
Haddad, S. 424, 427
Hädel, S. 114
Hadjistavropoulos, H. D. 364, 370
Hadrawa, T. 321
Hahs-Vaughn, D. L. 460, 470
Haidir, I. A. 182, 196
Haidt, J. 487, 488
Haighton, C. 150, 154
Hailey, T. 92, 94
Hajnowski, M. 299
Hakimian, S. 295
Halberda, J. 96
Hall, J. C. 100
Hall, M. L. 134
Hall, P. 481, 488
Hall, R. 318

- Haller, S. 297
Hallman, D. M. 308, 318
Hallock, H. 93, 96
Halson, S. L. 119, 123, 134, 135
Hambrick, D. Z. 97
Hamidi, Z. S. 101, 112
Hamilton, J. L. 357, 366, 369
Hammond, D. C. 312, 315, 318
Hamner, R. 106, 112
Han, E. Y. 143, 155
Hanczakowski, M. 380, 389
Hanifin, J. 111
Hankey, S. 38, 47
Hänninen, L. 59, 60, 77
Hanrahan, F. 359, 362, 363, 370
Hansen, D. W. 75
Hansen, J. P. 75
Hansmann, W. 76
Hanson, J. 34, 47
Hanson, L. 213, 215
Hanson, M. D. 381, 393
Hanusz, K. 90, 95
Hara, N. 62, 72
Harden, E. 70
Harding, M. G. 383, 392
Hardmeier, M. 251, 278
Harkness, A. R. 262, 275
Harmony, T. 256
Harrison, J. T. 97, 193, 195
Harrison, T. L. 97
Harris, T. 161, 174
Hart, A. G. 231
Hart, S. D. 402, 408
Hartmann, T. 285, 294
Hartwig, M. 396, 397, 399, 401, 407, 408
Harvey, P. J. 321
Hasan, M. A. 298
Hashimoto, R. I. 298
Hashtroudi, S. 378, 389
Hassan, M. A. 289, 290, 294
Hassan, R. 28, 48
Hasuo, H. 306, 318
Hata, J. 154
Hatfield, M. 213, 215
Hattar, S. 100, 113
Hatz, F. 251–253
Hawelka, S. 57, 73
Hawkins, R. 150, 155
Hayano, J. 308, 323
Hayashi, M. J. 336–338, 343
Hayden, R. W. 480, 482, 488
Hayes, A. F. 477, 483, 488
Hayhoe, M. 62, 67, 72, 74
Hayhoe, M. M. 62, 73
Hayne, H. 392
Hays, J. 75
Hays, W. L. 451, 469
Heales, L. J. 135
Heathers, J. A. 310, 326
Heath, J. A. 193, 195
Hebbar, P. A. 66, 73
Hecke, A. V. V. 70
Hedges, L. V. 457, 459, 469
Heeger, D. J. 253
Hegerl, U. 249, 254, 258
Heggestad, E. D. 416, 429
Heidelberg, R. C. 257, 318
Heilbrun, A. B. 435, 437, 441, 443
Heimberg, R. 369
Heimberg, R. G. 348, 371, 373
Heinen, T. 74
Heinrich, S. 190, 195
Heinssen, R. 294
Heisey, D. M. 450, 455, 470
Heitmann, H. 296, 298
Hekler, E. B. 350, 369

- Hell, D. 275
Hendrickx, H. 321
Henggeler, B. 269, 276
Henik, A. 90, 94
Henkel, L. A. 381, 389
Hennig, U.-D. 324
Henriques, G. 306, 318
Hensch, T. 249, 254
Hentz, J. G. 252
Henzi, B. 96
Hepper, E. G. 441, 443
Hermens, D. F. 59, 75
Hermens, H. 169, 178
Hernandez, A. B. 134
Herrmann, H. M. 276
Herscovici, S. 126, 134
Heruth, K. T. 170, 176
Herz, J. C. 161, 175
Heske, E. J. 198
Hete, B. F. 172, 178
Hetrick, W. P. 277
Heuer, H. 346
Heusinkveld, B. G. 220, 231
He, X. 346
Heynderickx, I. 102, 113
Hickie, I. B. 59, 75
Hicks, K. L. 97
Hiesiger, E. M. 287, 296
Higgins, E. T. 412, 426, 428
Higgins, J. 216
Higgins, J. P. T. 457, 469
Higino, W. P. 157
Hildreth, T. S. 176
Hilger, K. 262, 275
Hilker, T. 194
Hillier Bill 34, 47
Hill, R. L. 74
Himmelstoss, N. A. 57, 69, 73
Himmerich, H. 249, 254
Hines, J. E. 180, 196
Hinkley, D. V. 481, 484, 487
Hipp, A. 326
Hirano, Y. 119, 135
Hirata, S. 215
Hirose, A. 279
Hiscock, N. 321
Hitch, G. J. 379, 387
Hitz, M. 214, 215
Hoang, D. M. 197
Hoang, T. 108, 115
Hoard, M. K. 336, 343
Hobson, J. A. 126, 135
Hochwälder, J. 439, 443
Hodel, A. 385, 391
Hoenig, J. M. 450, 455, 470
Hoepstine, K. 382, 387
Hogan, M. J. 308, 318
Høgh, P. 257
Hogrefe, C. E. 76
Hohn, V. D. 298
Hohol, M. 335, 342
Holleran, C. L. 140, 156
Hollinshead, M. 278
Holmes, A. 124, 136
Holmqvist, K. 54, 55, 58, 70, 73, 75
Holsanova, J. 58, 73
Hölscher, C. 27, 48
Holschneider, D. P. 243, 254
Homer, B. D. 85, 97
Hong, K. 222, 231
Hong, S. 162, 177, 222, 231
Hong, Y. 157
Honjo, K. 343
Hoon, E. F. 302, 318
Hopko, D. R. 372
Hornby, T. G. 140, 156

- Horne, M. 28, 50
Horschig, J. M. 290, 294
Horst, S. J. 306, 318
Hoshikawa, M. 119, 135
Hoskovcova, M. 169, 177
Hossner, E. J. 64, 65, 74
Houghton, M. 202, 216
Hourani, L. 320
Houser, D. S. 220, 230
How, A. C. 114
Howe, E. J. 192, 195
Howe, J. D. 295
Howe, M. L. 382, 383, 386, 387, 389, 391
Howell, D. C. 460, 470
Howell, K. 220, 232
Howerter, A. 96
Hrybyk, M. 242, 252
Hsu, W. C. 143, 156
Hua, W. 34, 44, 51
Huang H. 49
Huang, J. 75, 275, 346
Huang, M. F. 320
Huang, T.-C. 30, 47
Hubbard, E. M. 336, 343
Huber, S. 150, 156
Hubl, D. 274
Hudspeth, W. 240, 253
Huff, M. J. 378, 389
Hugentobler, J. A. 138, 139, 155
Hughes, J. R. 238, 254
Hughes, K. 378, 388
Huikuri, H. V. 323
Huizink, A. C. 312, 325
Human, L. J. 424, 425, 428
Humberg, S. 412, 415, 417, 426–429
Humbert, S. 154
Humphreys, K. 253
Hunt, R. R. 378, 385, 389, 391, 392
Hunter, A. M. 243, 254
Hunter, B. K. 57, 78
Hunter, D. 180, 196
Hurak, Z. 169, 177
Hurd, K. 399, 408
Hurley, D. A. 124, 136
Hurst, D. F. 154, 308, 318
Hurst, J. R. 154
Hutteman, R. 428
Hutton, S. B. 54, 73
Hutzler, F. 57, 73
Hwa, S. P. 89, 95
Hwang, G. J. 148, 154
Hwang, H. J. 141, 156
Hyde, J. S. 485, 488
Hyde, K. 344
Hyde, K. L. 332, 345
Hyrskykari, A. 75
Hywood, L. 199
- I**
Iacono, W. G. 397, 408
Iannetti, G. D. 293, 295, 296
Ianof, J. N. 246, 254
Ianosi, E. 223, 231
Ichikawa, N. 298
Iervolino, R. 173, 175
Ijsselsteijn, W. A. 24, 46
Ikeda, K. 279
Iliffe, S. 174
Illigens, B. M.-W. 307, 321, 322
Im, C. H. 237, 255
Inoue, S. 136, 209, 210, 215
Insel, T. 283, 294
Intille, S. S. 164, 175
Inz, J. 348, 369
Ioannides, H. A. 231
Ioannou, S. 220, 224, 231

- Ip, H. 165, 175
Irisawa, S. 276
Irons, J. L. 81, 95
Isaac, L. 58, 59, 73
Ishihara, M. 338, 344
Islam, A. T. 76
Isokoski, P. 60, 61, 65, 73
Isotani, T. 276
Israel, L. 378, 380, 389
Ito, C. H. 296
Iwami, H. 136
Iwańczak, B. 38, 39, 47
Iyer, R. 487, 488
Izdebski, A. 47
Izdebski, P. P. 317
- J**
Jackson, R. M. 180, 196
Jacques, T. 96
Jaeger, U. 371
Jaffee, S. 485, 488
Jakucińska 228
Janečka, J. E. 198
Janewicz, M. 74
Jang, S. 175
Jang, S.-K. 59, 73
Janiszewski, B. 138, 155
Jann, K. 276
Jansen, R. 190, 194
Janusz, A. 176
Jarmakowska-Kostrzanowska, L. 417, 449, 471, 472, 484, 485, 488
Jarmakowski-Kostrzanowski, T. 471, 472, 484, 485, 488
Jarodzka, H. 73
Jarutyte, L. 277
Jaśkiewicz, M. 32, 47
Jausovec, K. 237, 255
Jausovec, N. 237, 255
Javadi, H. 337, 344
Javey, A. 174
Jeanmonod, D. 287, 295, 297, 298
Jeffers, P. 176
Jelic, V. 257, 258
Jelicic, M. 382, 386, 389, 391
Jenkins, G. M. 237, 255
Jennen-Steinmetz, C. 242, 253
Jensen, M. P. 282, 288, 289, 295
Jensen, O. 294
Jester, D. J. 310, 319
Jetha, M. K. 256
Jeżewski, A. 31, 47
Ji, G. 313, 315
Ji, X. 107, 115
Jiang, J. 373
Jobert, M. 249, 255
Johann, V. E. 85, 96
Johannesson, G. H. 258
Johansson, R. 58, 73
John, E. R. 238, 254, 275, 284, 295
John, J. P. 255
Johnsen, K. 258
Johnson, M. 96
Johnson, M. J. 378, 379, 389
Johnson, M. K. 381, 389
Johnson, S. P. 59, 72
Johnston, K. 148, 156
Johnston, L. 352, 356, 361, 363, 370, 372, 374
Joie-La Marle, C. 27, 45
Joinson, A. 161, 176
Jones, F. W. 359, 370
Jones, P. 33, 50
Jones, S. L. 364, 367, 368, 370
Jongsma, M. L. 294
Joormann, J. 383, 389
Joos, M. 60, 73

Jordan, C. H. 432, 443
Jordan, J. S. 384, 387
Jordan, M. J. 193, 196
Jou, J. 380, 381, 390
Jourde, H. 134
Jovanov, E. 162, 175
Juczyński, Z. 441, 443
Jud, C. 112
Juliff, L. 123, 135
Jull, G. 154
Jung, H. Y. 243, 256
Jung, K.-H. 402, 408
Jurewicz, K. 297
Juslen, H. 104, 113
Juuti, T. 136

K

Kachele, H. 371
Kahn, B. E. 73
Kahn, J. 140, 156
Kaiser, D. A. 236, 255
Kajati, E. 112
Kakudo, M. 58, 78
Kakumanu, R. J. 249, 255
Kalan, A. K. 191, 196
Kalisch, T. 146, 155
Kamarck T. W. 134
Kamei, A. 136
Kamei, S. 259
Kamiloglu, R. G. 424, 427
Kamphuis, C. B. M. 49
Kanai, R. 343
Kanbara, K. 306, 318
Kanda, P. A. M. 243, 244, 255
Kang, H. J. 340, 344
Kang, J. 35, 48
Kano, F. 59, 73
Kantner, J. 380, 390

Karahanoglu, I. 278
Karamürsel, S. 288, 295
Karandinou, A. 38, 47
Karanth, K. U. 180, 181, 190, 196, 197, 199
Karapetyan, A. 275
Karavidas, M. K. 319
Karch, J. 85, 96
Kåreholt, I. 258
Karnsijns 172
Karpul, D. 306, 322
Karunarathn, A. 107, 114
Kasai, K. 292, 298
Katertsidis, N. S. 169, 175
Katsamanis, M. 308, 323
Katsis, C. D. 169, 175
Kattenstroth, J. C. 146, 155
Kaube, H. 297
Kaufmann, B. 214, 215
Kaufmann, H. 166, 176
Kaufmann, L. 336, 344
Kaufmann, P. G. 316
Kaul, S. 120, 135
Kaur, C. 249, 255
Kaur, S. 268, 277
Kaushik, M. 120, 135
Kaushik, N. 275
Kaviani, H. 340, 344
Kawanishi, K. 184, 199
Kawato, M. 292, 297, 298
Kayama, H. 143, 145, 156
Kaye, H. 242, 252, 295
Kayiran, S. 288, 289, 295
Kayser, J. 259
Kays, R. W. 180, 196
Kaźmierczak, M. 441, 443
Keane, R. J. 307, 323
Keele, S. W. 346
Keenan, M. 356, 373

- Keffer, S. 306, 318
Keinath-Specht, A. 314, 319
Keith, T. Z. 340, 346
Kekatos, M. 161, 175
Keller, P.E. 338, 344
Kelly, M. J. 180, 198
Kelly, V. G. 119, 134
Kemp, A. H. 310, 326
Kemp, R. I. 382, 391
Kenien, N. 310, 319
Kenny, D. A. 427, 429
Kerby, J. 202, 214
Kerr, J. 46
Kerry, S. M. 174
Keselman, H. J. 459, 468, 472, 487
Kesselring, J. 345
Kezer, M. 424, 427
Khan, T. 148, 156
Khanna, A. 263, 267, 275, 277
Khedr, E. M. 295
Khorramar, M. 150, 157
Khot, S. P. 140, 141, 154
Khushaba, R. N. 57, 73
Khwaja, H. 190, 191, 196
Kida, H. 158
Kiefer, P. 69, 73
Kihlstrom, J. F. 376, 391
Kilduff, L. P. 318
Killen, A. 258
Kim, B. R. 143, 155
Kim, C. 307, 317
Kim, C.-Y. 59, 73
Kim, D. W. 255
Kim, H. J. 141, 157, 199
Kim, J. J. 456, 458, 459, 469
Kim, J. K. 306, 319
Kim, J. S. 246, 247, 255
Kim, K. 167, 175
Kim, K. M. 141, 157
Kim, S. 43, 46, 255, 309, 319
Kim, S. J. 59, 73
Kim, S. M. 143, 155
King, A. J. 214, 215
King, P. 373
Kingstone, A. 61, 62, 72, 401, 409
Kinnaird, C. R. 140, 156
Kinnaird, M. 181, 197
Kinniry, M. 202, 211, 215
Kinnunen, M.-L. 136
Kinoshita, T. 276
Kins, E. 424, 429
Kira, J. I. 251
Kirchner, H. 59, 72
Kirjavainen, T. 128, 135
Kirk, R. E. 451, 456, 458, 459, 470
Kitchin, R. 43, 46
Kizakevich, P. 320
Kılıç, L. 142, 157
Klaver, J. 402, 404, 408
Kleber, M. 371
Kleijnen, J. 282, 295
Klein, C. 73, 76
Klein, R. 412, 428
Klein, T. R. 106, 111
Kleinert, J. 121, 134
Kleijnung, T. 294
Kleinlogel, H. 275
Klemm, W. 220, 224, 231
Klimesch, W. 238, 244, 255
Klinberg, T. 80, 83, 96
Kline, R. B. 458, 470
Klingberg, T. 96
Klinger, L. G. 243, 253
Kloepper, L. N. 202, 211, 215
Klostermann, A. 64, 65, 74
Kluender, R. A. 237, 257

- Knight, R. G. 374
Knoch, D. 277
Ko, J.-M. 307, 320
Kobialka, S. 112
Köbis, N. C. 398, 410
Kochert, M. N. 193, 195
Kochi, K. 275, 276
Kocot-Kępska, M. 282, 295
Kodagoda, S. 73
Kodama, H. 306, 307, 319, 321
Koek, R. J. 243, 255
Koenig, J. 308, 317
Koenig, T. 258, 263, 265, 266, 268, 269, 274–278, 292, 296
Koh, L. P. 202, 211, 216
Kohl, H. W. 147, 156
Kohler, A. 274
Köhler, S. 313, 323
Kolankowska, I. 146, 155
Koleva, S. 487, 488
Konarski, R. 434, 443
Könen, T. 345
Kong, J. 297
Konichezky, A. 308, 324
Konstantopoulos, P. 63, 74
Kooijman, J. 24, 46
Kopal, T. 314, 319
Kopelowicz, A. 255
Koronacki, J. 472, 488
Korulczyk, T. 439, 443
Kosmala, M. 199
Kostrubiec-Wojtachnio, B. 70
Koszycki, D. 353, 362, 370
Koten, J. W. 344
Kötter, R. 237, 258
Kotzé, A. 190, 194
Koukkou, M. 269, 275, 276
Koutstaal, W. 381, 385, 390
Kowalczuk, K. P. 66, 74
Kowalczyk, N. 81, 92, 96
Kozarski, R. 482, 488
Koziorek, J. 112
Kozłowski, G. P. 248, 259
Kraft, E. 345
Krall, S. C. 75
Kramberger, M. 258
Kramer, M. R. 158
Krasnomowiec, F. 217
Krasuski, A. 176
Krauchi, K. 112
Kraus, N. 345
Kraus-Schuman, C. 372
Krause, C. M. 59, 60, 77
Krauss, S. L. 180, 192, 196
Krauze-Gryz, D. 192, 195
Kredel, R. 64, 65, 74
Kreische, R. 371
Krejtz, I. 436, 443
Krejtz, K. 436, 443
Kremser, C. 344
Kreutz, G. 345
Krienen, F. M. 278
Krijn, M. 27, 49
Krishnan, C. 140, 141, 154
Krisp, J. M. 49
Kronberg, E. 287, 295
Kronkvist, O. 397, 408
Kronland-Martinet, R. 196
Kropotov, J. 239, 257
Kropotov, J. D. 236, 238, 239, 256
Kroppmann, C. J. 259
Kropp, P. 314, 319
Krueger, L. 182, 197
Krüger, J. 75
Kübler, A. 307, 321
Kublik, E. 297

- Kucera, T. E. 180, 181, 196
Kucharski, J. 220, 232
Küchelmann, T. 65, 74
Kuchenbecker, K. J. 141, 154
Kucian, K. 87, 92, 96, 336, 344
Kucyi, A. 293, 295
Kudo, N. 307, 319
Küfner, A. C. P. 428
Kühl, H. S. 192, 195, 197, 216
Kuhn, C. 284, 297
Kujala, M. V. 77
Kumar, N. S. 180, 196
Kumari, V. 251
Kunik, M. E. 372
Kunz, D. 114
Kupper, A. E. 295
Kupwade Patil, H. 160, 173
Kuraoka, K. 222, 231
Kurdi, B. 271, 275
Kuroda, T. 156
Kurths, J. 292, 298
Kuske, M. 326
Kuś, V. 57
Kutty, B. M. 255
Kuzko, K. 47
Kwan, B. 338, 345
Kwon, J. S. 243, 256
Kyröläinen, H. 136
- L**
LaBudde, R. A. 480, 481, 487
Laceulle, O. M. 424, 428
Ladle, A. 195
Ladouceur, R. 349, 353, 361, 362, 370
Laeng, B. 58, 70, 74
Lafrenaye, S. 308, 316
Lagopoulos, J. 59, 75
Lagos, L. 310, 319
Lahmann, C. 284, 297
Lai, C. L. 156
Laine, C. M. 222, 231
Lajoie, T. 307, 325
Lakmal, O. H. 107, 114
Laksham, K. 204, 215
Lalanne, R. 306, 317
Lallier, M. 94
Lalo, E. 240, 256
Lalongo, C. 458, 470
Lamb, D. 70
Lambert, M. I. 309, 322
Lamon, J. 306, 326
Lampinen, J. M. 380, 391
Lampit, A. 93, 96
Land, M. F. 61, 62, 74
Lande, R. G. 307, 319
Landström, S. 399, 408
Lane, R. D. 309, 325
Laney, C. 216
Lang, A.-G. 417, 428, 465, 469
Lange, A. 71
Lange, B. 176
Langguth, B. 294
Lanz, C. 54, 77
Lapointe, J.-F. 69, 78
Lappi, O. 61, 64, 74
Larkin, K. T. 275, 305, 310, 326
Larsson, L. 55, 70
Lashkari, D. 278
Laskey, J. 75
Laskowska, E. 314, 318
Lastella, M. 119, 135
Laton, J. 254
Lau, A. R. 76
Lau, H. Y. K. 68, 75
Lau, K.-T. 162, 174
Laubreyter, K. 321

- Lauenroth, A. 143, 156
Laurent, E. 71
Laurie Rauch, H. G. 309, 322
Laurillard, D. 336, 343
Lavie, P. 134
LaVoie, D. J. 381, 390
Le, H. T. K. 47
Leadley, R. M. 282, 295
Leding, J. 382, 390
Lee, D. K. 146, 156
Lee, H. 204, 215
Lee, H. J. 141, 156
Lee, H.-S. 59, 73
Lee, J. 147, 172, 175, 306, 310, 313, 319, 326
Lee, J. E. 357, 373
Lee, J.-H. 402, 408
Lee, J. T. 317
Lee, K. S. 136
Lee, L. 134
Lee, M. 279
Lee, N. Y. 146, 156
Lee, S. 157
Lee, S. H. 255
Lee, S. I. 170, 175
Lee, Y. C. 282, 295
Lee, Z. 402, 408
Leech, K. A. 140, 156
Leelahajanaj, T. 307, 325
Lefaucheur, J. P. 284, 289, 294, 295
Leger, E. 370
Legrain, V. 293, 295
Lehmann, D. 263, 265, 267–269, 274–277
Lehmann, D. L. 278
Lehrer, P. 307, 308, 314, 317, 319, 323
Lehrer, P. M. 303, 308, 312, 320, 325
Lehtonen, E. 64, 74
Lei, J. 107, 115
Leibing, E. 371
Leichsenring, F. 354, 362, 371
Lemke, U. 265, 275
Lemson, A. 154
Lendraitienė, E. 138, 156
Lenoir, M. 64, 78
Lenzenweger, M. F. 386, 387
Lenzholzer, S. 220, 231
Leonardi, C. 176
Leoniak, K. 35, 48
Leonov, S. V. 64, 72
Lerch, J. 343
Leskovsek, M. 312, 322
Lesnewich, L. M. 308, 315
Leuchtenberger, C. 194, 196
Leuchter, A. F. 243, 249, 253, 254, 256
Levine, J. 221, 222, 232
Levine, T. R. 399, 401, 406–408
Lewandowska Monika 235, 240, 241, 256, 281, 331, 345
Leweke, F. 371
Lewicka Maria 21, 28, 36, 38, 42, 45, 47, 48
Lewis, G. F. 297, 306, 320
Lewis, P. A. 334, 344
Lewis-Peacock, J. 297
Lewkowicz, R. 66, 71, 74
Lewy, A. 243, 253
Li, C. 373
Li, C. H. 146, 156
Li, C. R. 317
Li, H. 27, 48
Li, W. 373
Li, X. 307, 320
Liang, M. 293, 295
Liao, H. W. 100, 113
Liao, Y. Y. 143, 156
Libertus, M. E. 91, 96
Librot, H. 378, 388
Lieber, A. L. 243, 256

- Lilienfeld, S. O. 262, 275
Lim, K. B. 141, 156
Lin, I.-M. 307, 320, 326
Lin, T.-H. 307, 326
Lin, Y. J. 143, 156
Lincoln, T. M. 308, 317
Lindecrantz, K. 313, 315
Linden, M. 354, 361, 362, 371
Lindenberger, U. 275
Lindsay, D. S. 378, 380, 389, 390
Lindsay, J. J. 400, 407
Link, T. 150, 151, 156
Linkenkaer-Hansen, K. 277
Linkie, M. 182, 196
Lintott, C. 199
Lip, G. Y. 323
Lipnevich, A. A. 134
Lipsey, M. W. 457, 458, 470
Lisi, G. 297
Little, T. 487
Little, T. D. 489
Liu, A. 96
Liu, C. K. 156
Liu, D. 279
Liu, H. 169, 178
Liu, O. L. 114
Liu, Q. 292, 295
Liu, T. 163, 177
Liu, W. 393
Liu, X. 170, 175, 297, 336, 344, 424, 428
Liversedge, S. P. 76
Llinás, R. R. 287, 295
Lo, B. P. L. 165, 175
Loch, J. 192, 195
Lockley, S. W. 100, 101, 112, 113
Loftus, E. 393
Loftus, E. F. 376, 388
Lohman, S. 102, 113
Lomax, R. G. 460, 470
Lombardi, F. 323
London, K. 486, 489
Long, J. D. 172, 178
Long, R. 424, 428
Long, R. A. 196
Longley, P. A. 39, 48
Loomis, J. M. 26, 48
Lord, S. 166, 176
Lorenz, I. 285, 294
Lorian, C. N. 374
Löschner, J. 26, 48
Loughland, C. M. 59, 74
Louviere, J. 73
Louzada-Neto, F. 482, 488
Lowry, S. F. 319
Lozito, J. P. 381, 392
López, E. 135
Lu, H. 424, 426, 428
Lu, K. 313, 315
Lu, S.-E. 319
Lu, Y. 246, 254
Lubar, J. F. 284, 298
Lubinski, D. 262, 276
Lubiński, A. 21, 36, 45
Lubkowska, A. 220, 230
Lucangeli, D. 88, 97
Ludke, K. M. 340, 344
Lüftenegger, M. 416, 428
Luttenberger, D. 385, 391
Lutz, O. H.-M. 68, 69, 75
Lymberis, A. 160, 167, 175
Lyskov, E. 308, 318
Lytle, R. 348, 369
Ł
Łaszewska, K. 99, 103, 107, 108, 110, 113, 120, 331

M

- Macdonald, S. 47
MacDonald, S. W. S. 275
MacKay, P. 196
Mackey, S. C. 293, 296
Macmillan, N. 381, 390
MacNamara, A. P. 85, 97
Macor, M. 319
MacTavish, L. 231
Madden, J. R. 262, 274
Madeleine, P. 69, 78
Madrid, J. A. 136
Maercker, J. 213, 215
Maffei, L. 198
Magnani, G. 252
Magnin, C. 256
Magnusson, W. 194, 196
Maguire, D. J. 39, 48
Maharatna, K. 251
Mahar, M. T. 302, 323
Mahoney, P. J. 215
Maihöfner, C. 297
Maimon, O. 267, 277
Majaranta, P. 60, 75
Majkowski, J. 246, 256
Malik, M. 316, 323
Malinčíková, J. 158
Malone, B. E. 407
Malone, C. 383, 389
Mamaghani, N. K. 150, 157
Mandolesi, L. 147, 156
Manna, C. G. 259
Mannini, A. 164, 175
Mano, H. 293, 296
Manor, O. 341, 345
Mansourian, M. 291, 296
Mantini, D. 292, 295
Manzato, E. 343
Mańkowska, K. 87, 88, 95, 150, 155
Marans, R. W. 23, 45
Marateb, H. R. 291, 296
Marchand, S. 308, 316
Marchetti, A. 75
Maremmani, C. 166, 177
Mares, R. 181, 199
Marghetis, T. 336, 346
Marmolejo, G. 383, 390
Marosi, E. 237, 256
Marshall, A. R. 181, 182, 194, 198
Marsh, L. K. 198
Marsolek, C. J. 381, 393
Marszał-Wiśniewska, M. 441, 443
Martin, B. 60, 73
Martin, D. D. 316
Martin, D. W. 120, 134
Martin, H. 316
Martin, R. E. 318, 326
Martin, S. 178
Martín-Loeches, M. 237, 256
Martinez, J. 33, 50
Martínez-Lebrusant, L. 237, 256
Martinez-Nicolas, A. 136
Martinsons, C. 111
Martowska, K. 435, 436, 441, 442, 444
Martucci, K. T. 293, 296
Marwan, N. 292, 298
Marzbani, H. 291, 296
Masip, J. 404, 409
Massaro, D. 59, 75
Mateas, M. 223, 231
Matei, S. 40, 48
Mather, A. 171, 175
Mathewson, K. J. 242, 256
Mathews, S. A. 383, 393
Mathôt, S. 66, 71
Matlock, T. 336, 346

- Matthes, K. L. 265, 275
Matthews, B. 171, 175
Matthews, G. 278
Matthews, K. A. 134
Mattioli, L. 192, 196
Matulewski, J. 66, 71, 87, 95, 150, 151, 155, 158
Matysek, M. 192, 195
Maurer, B. 64, 75
Maurer, K. 258
Mauri, M. 71
Mavoa, S. 44, 49
Mavros, P. 38, 45
May, E. S. 298
May, S. E. 287, 296
Mayaud, L. 290, 296
Mayer, R. E. 94
Mayora, O. 165, 173
Mayrovitz, H. N. 306, 320
Mazurak, N. 326
Mazzoni, G. 376, 380, 389, 390
McAusland, L. 306, 320
McBeth, J. 46
McBride, D. M. 384, 387
McCabe, D. P. 380, 381, 387, 390
McCall, R. 26, 30, 48
McCallum, J. 181, 197
McCarthy, M. 192, 197
McCarthy, R. 238, 252, 253
McCauley, I. 171, 175
McCraty, R. 300, 303, 306, 309, 316, 319, 320
McCrorie, P. R. 33, 48
McCullagh, P. 176
McDaniel, M. A. 381, 387, 392
McDermid, G. 194
McDermott, K. 376, 377, 392
McDermott, K. B. 376–378, 380, 381, 388, 390, 392, 393
McDermott, K. D. 378, 390
McDonald, S. 309, 317
McGrew, K. S. 340, 346
McIntosh, A. R. 275
McIntyre, K. 371
McKelley, R. A. 310, 319
McKelvie, S. 380, 392
McLean, J. P. 81, 95
McMeeken, J. M. 154
McMillan, B. 58, 78
McNally, R. J. 386, 387
McNamara, S. 128, 135
McNutt, J. W. 180, 198
McSorley, K. 178
Meade, M. L. 381, 390
Mealha, Ó. 65, 70
Meck, W. H. 331, 343
Meek, P. 198
Meek, P. D. 181, 186, 187, 189, 194, 197
Meentemeyer, R. K. 28, 50
Meeuwsen, K. D. 318
Mehrotra, S. 255
Meier, N. 306, 320
Meier, N. F. 306, 320
Meijer, E. 398, 410
Meijer, E. H. 396, 397, 407, 408
Meina, M. 173, 176
Meissner, C. A. 404, 407
Mele, M. L. 56, 58, 75
Melin, L. 308, 318
Meltzer-Brody, S. 307, 315
Meltzoff, A. N. 43, 46
Melynyte, S. 277
Mencarini, E. 173, 176
Mendel, E. 373
Mendes-Ferreira, G. A. R. 150, 155
Mendez, L. 253
Mendonça, R. S. 215

- Meng, Q. 35, 48
Menghetti, S. 278
Mennenga, A. M. 318
Mennin, D. 369
Mennin, D. S. 348, 371, 373
Merckelbach, H. 382, 386, 389, 391, 396, 407
Mercuri, P. 279
Merians, A. 176
Merkin, H. 287, 296
Merla, A. 220–222, 230–232
Merlo, M. C. G. 275
Morrow, M. 120, 136
Meschtscherjakov, A. 75
Messerotti Benvenuti, S. 321
Meston, C. M. 308, 324
Meule, A. 307, 321
Meyer, A. 252, 253
Meyer, J. 258
Meyer, J. A. 316
Meyer, M. 265, 275
Meyer, S. 94
Meziane, H. B. 265, 277
Miall, R. C. 334, 344
Micceri, T. 486, 488
Michalska, K. J. 387
Michalski, L. 220, 232
Michel, C. M. 263, 265–267, 274–278, 286, 292, 296
Michelson, W. 23, 45
Miciuk, Ł. R. 411, 426, 431–433, 438, 440, 441, 444
Mielewczyk, A. 335, 344
Mielniczuk, J. 472, 488
Miesel, K. A. 170, 176
Migliorelli, R. 257
Migon, H. S. 482, 488
Mikosch, P. 306, 321
Milatz, A. 416, 428
Milea, D. 114
Milenkovic, A. 162, 175
Miller, A. 141, 154
Miller, D. A. 180, 198
Miller, D. T. 457, 470
Milner, C. 317
Milner, R. 235, 256, 281
Milz, P. 270, 276
Mingaila, S. 138, 156
Mingrone, W. 265, 274
Minicucci, F. 252
Minkina, W. 218, 232
Minshew, N. 253
Miquelle, D. G. 199
Mirbaha, H. 340, 344
Mitchell, W. F. 220, 226, 232
Mitra, P. P. 287, 295
Miyake, A. 84, 96, 388
Mobbs, D. 262, 274
Möcks, J. 242, 253
Mocnej, J. 112
Moeller, K. 92, 93, 95, 96, 150, 155–157
Mohamed, M. 101, 111
Mohapatra, R. K. 190, 197
Mohlman, J. 350, 364, 367, 369, 371
Møller, A. R. 294
Monds, L. A. 382, 391
Mônico-Neto, M. 118, 136
Monnin, J. 71
Montani, V. 86, 87, 96
Montgomery, C. 32, 48
Montgomery, D. 300, 302, 303, 312, 313, 326
Montgomery, R. A. 215
Montoya, P. 296
Montuori, S. 156
Moradi, R. 90, 96

- Morales, M. A. 174
Morand-Ferron, J. 262, 274
Moran, R. 57, 73
Moreira, D. 195
Moreno, S. 146, 155
Morgan, D. 180, 198
Morgan, M. L. 243, 256
Morin, M. L. 307, 319
Morishima, Y. 276
Morita, A. 259
Morkisch, N. 75
Morris, D. 162, 174
Morris, M. L. 441, 443
Morrison, A. P. 348, 373
Morrison, F. J. 154
Morris, R. 166, 176
Morris, W. L. 399, 400, 407
Mortazavi, G. 107, 111
Mortazavi, S. 107, 111
Mørup, M. 257
Moser, T. 150, 157
Mosher, C. P. 222, 231
Moss, D. 314, 324
Mostofsky, D. I. 307, 323
Mostowfi, S. 150, 157
Mottaz, A. 249, 256
Motyl, M. 487
Mourão, G. 194, 196
Mouratidis, K. 28, 48
Mouraux, A. 293, 295, 296
Moyna, N. 162, 174
Mravicic, I. 76
Mruczek, R. 62, 73
Mück-Weymann, M. 324
Muench, F. 306, 309, 322, 323, 327
Muhiban, M. 198
Muhlenbruck, L. 400, 407
Muhtarom, A. 198
Mukaino, T. 251
Mukhopadhyay, N. 482, 488
Müller, A. 239, 257
Müller, O. 30, 50
Müller, P. 396, 409
Mulvenna, M. 176, 178
Munafò, M. 305, 321
Münch, M. 112, 114
Mundy, P. C. 258
Munier, E. 385, 391
Muñoz-Ruata, J. 237, 256
Murai, T. 76
Muratori, F. 251
Murias, M. 240, 256
Muris, P. 352, 373, 386, 391
Murphy, K. 81, 96
Murphy, K. R. 451, 452, 456, 457, 460, 470
Murphy, N. 258
Murrah, W. B. 154
Murray, M. M. 267, 276
Murray, W. S. 74
Murthy, J. 221, 231
Murthy, R. 221, 232
Murugesan, G. 60, 72
Musaeus, C. S. 246, 247, 257, 277
Muser, M. H. 54, 77
Musiał, D. 70
Mustafa, O. 213, 215
Muthukrishnan, S. P. 268, 277
Myllymäki, T. 120, 136
Myors, B. 451, 470
Myška, K. 36, 47

N
Na, X. 297
Näätänen, R. 335, 342
Nagai, Y. 300, 312, 321
Nagels, G. 254

- Nagl, L. 171, 176
Nagle, A. 92, 96
Nagpal, M. L. 316
Naik, M. 257
Nair, A. K. 255
Nair, M. V. 190, 197
Nairne, J. S. 384, 385, 391
Nakagawa, S. 455, 470
Nakaguchi, N. 158
Nakamura, K. 222, 231
Nakao, K. 158
Nakonezny, P. A. 136
Namukonde, N. 216
Napadow, V. 297
Naranjo, J. R. 297
Narita, Y. 306, 321
Narzisi, A. 251
Nash, H. C. 199
Nash, K. 277
Nasserolleslami, B. 298
Natapov, A. 28, 49
Navalta, J. W. 160, 174
Nawaz, N. 118, 136
Nayler, M. 154
Neale, M. C. 237, 257
Nee, C. 25, 48
Neethirajan, S. 164, 172, 176
Neilson, E. 195
Nestler, S. 412, 427, 428, 429
Neuschatz, J. S. 380, 391
Neves, L. E. 147, 157
Newman, M. G. 348, 369
Neyman, J. 453, 470
Ng, A. K. T. 68, 75
Nguyen, A. 193, 197
Nguyen, D. T. 197
Nguyen, T. A. M. 197
Nichols, J. D. 180, 181, 190, 196, 197, 199
Nickel, F. T. 297
Nickel, M. M. 296, 298
Niederberger, U. 314, 319
Niedermeyer, E. 236, 257
Niedźwieńska, A. 376, 391
Nielsen, S. E. 194
Nigdeli, B. 424, 427
Nijman, V. 190, 197
Nikamalfard, H. 167, 176
Niksarlıoğlu, E. Y. 142, 157
Nimmo-Smith, I. 102, 115
Ninomiya, S. 259
Nishida, K. 269, 276
Nishiguchi, S. 156
Nitzsche, K. 324
Noakes, T. D. 322
Noh, B. 175
Noiret, N. 71
Nolan, R. P. 308, 321
Nold, C. 40, 49
Noller, P. 399, 408
North, D. 237, 259
Nosal, C. S. 334, 344
Nosek, B. A. 488
Noss, A. J. 198
Novototsky-Vlasov, V. 278
Novy, D. M. 372
Nowozin, C. 114
Nozaradan, S. 345
Nuerk, H.-C. 92, 93, 95, 96, 150, 155–157
Nugent, L. 171, 175, 336, 343
Nugroho, A. 182, 196
Núñez, A. A. 108, 114
Nurmikko, T. 286, 294
Nutt, D. 118, 135
Nuwer, M. R. 238, 257

Nyein, H. Y. Y. 174
Nygren, G. 258
Nystedt, L. 439, 443
Nyström, M. 54, 55, 70, 73, 75

O

Oberman, L. M. 242, 257
Oberwelland, E. 57, 75
O'Brien, T. G. 181, 182, 197
O'Connell, A. F. 190, 196, 197, 199
O'Connell, S. 345
Oelhafen, P. 112
Ogata, K. 251
Ogawa, J. 158
Ogińska-Bulik, N. 441, 443
Ohsuga, M. 313, 325
Oikawa, L. O. 308, 319, 323
Okamoto, K. 156
Okamoto, Y. 298
Okubo, Y. 158
Olatunji, B. O. 59, 70
Olbrich, S. 239, 248, 249, 251, 257, 258
O'Leary, T. 364, 365, 369
Oleksy, T. 30, 49
Olesen, P. 96
Oleś, P. 433, 441, 444
Oliveira, J. 158
Oliveira, L. 181, 197, 220, 231
Oliveira-Santos, L. G. R. 181, 197
Oliver, M. 44, 49
Olson, L. 221, 232
Olsson, E. M. G. 308, 318
Olsson, I. A. S. 220, 231
Olszewska, J. 375–377, 379, 381, 383, 385,
386, 388, 391, 393
Omeland, Ø. 69, 78
Onate, J. 317
Onofrj, M. 252

Ononye, C. B. 331, 345
Oosterveld, F. G. J. 323
Ophoff, J. 148, 156
Or, C. K. L. 223, 232
Orbach, D. 216
Orehkova, E. V. 258
Ormel, J. 424, 428
Orriols, E. 27, 45
Orsillo, S. M. 348, 350, 356, 371, 372
Orsini, M. 140, 158
Ortiz, A. 297
Ortiz, A., Jr. 381, 390
Ortiz-Tudela, E. 129, 136
Ostertag, K. L. 172, 174
Öst, L. G. 351, 355, 362, 371
Ostro, L. E. T. 198
Otal, Y. 83, 97
Otgaar, H. 386, 391
Otto, M. W. 359, 370
Outhred, T. 310, 326
Overy, K. 340, 344
Owens, J. 134
Ozaki, H. 263, 276
Ozawa, S. 279
Ozcelik, E. 91, 94
Ozcelik, N. S. 91, 94

P

Packer, C. 199
Padilla, N. 202, 215
Pagnucco, K. S. 181, 197
Pahl, S. 220, 231
Paivio, A. 379, 391
Pal, I. 263, 276
Palma, J.-A. 166, 176
Palmer, C. 345
Palmer, J. 184, 199
Palomba, D. 305, 321

- Paluch, K. 297
Palumbo, M. C. 76
Pan, S. 246, 254
Pan, Z. 68, 75
Panagiotides, H. 243, 253
Panda, S. 190, 197
Pandina, R. 319
Pandina, R. J. 303, 325
Panth, R. 255
Papageorgiou, C. 373
Papagiannopoulou, E. A. 59, 75
Papcun, P. 112
Papoutsaki, A. 57, 75
Papp, L. A. 371
Parente, A. 311, 321
Parente, R. 311, 321
Park, D. 175
Park, G. 255
Park, H. 161, 176
Park, J. Y. 141, 157
Park, K. 35, 49, 157
Park, L. 138, 376, 391
Park, S. 157, 204, 215
Parker, A. 65, 71
Parkinson, L. A. 310, 322
Parnandi, A. 312, 321
Parnetti, L. 252
Parr, L. A. 59, 77
Parry, M. E. 426, 428
Parush, A. 69, 78
Pascu, T. 48
Pascual-Leone, A. 263, 267, 275
Pascual-Marqui, R. D. 266, 267, 275, 276, 277
Pasgreta, K. 314, 318
Pashilkar, A. A. 66, 73
Passilongo, D. 192, 196
Passmore, P. J. 76
Pastucha, D. 158
Pastva, A. M. 369
Paszkowski, C. A. 181, 197
Patel, S. 161, 162, 165, 167, 170, 171, 176
Paterson, H. M. 382, 391
Patron, E. 305, 307, 321
Pattabiraman, K. 113
Pattison, S. C. 416, 429
Paukner, A. 59, 77
Pauli, B. P. 193, 195
Paul, M. 311, 321
Paulus, E. 246, 257
Paulus, W. 295
Pavlidis, I. 221, 222, 231, 232
Pawar, S. 85, 97
Pawlaczyk, N. 235
Payne, D. G. 380, 391
Paysnick, A. 378, 388
Payton, J. L. 107, 114
Pearson, E. 453, 470
Peck, A. 174
Pedersen, E. J. 59, 77
Pedraza, O. 282, 296
Pehlivan, E. 142, 157
Peiffer, J. J. 123, 135
Pellerone, M. 339, 344
Peluso, J. P. 382, 393
Pelz, J. B. 62, 73
Peña-Miguel, N. 150, 157
Penders, J. 169, 178
Penfield, R. D. 459, 468
Peng, C. K. 323
Penglis, K. M. 309, 317
Penzlin, A. I. 307, 321, 322
Peraza, L. R. 258
Percer, J. M. 388
Pereira, C. 215
Perera, S. A. 114

- Peretz, I. 332, 333, 335, 342–345
Perfetti, B. 252
Perrin, N. A. 439, 442
Perrucci, M. G. 279
Persson, U. 317
Perz, M. 102, 113
Peshkova, E. 214, 215
Peter, H.-U. 213, 215
Peters, H. H. 216
Peters, M. J. V. 382, 391
Peters, S. 240, 251
Petkie, D. 222, 230
Petridis, S. 57, 76
Petrini 38, 46
Petrowski, K. 324
Petruševičienė, D. 138, 156
Petružálek, J. 36, 47
Petry, H. M. 114
Peuscher, J. 323
Peysakhovich, V. 66, 67, 72, 76
Pfeifer, M. 199
Phelan, I. 154
Philippaerts, R. M. 64, 78
Philips-Silver, J. 335, 345
Phillips, C. A. 198
Phillips, R. 298
Phillips, R. D. 180, 196
Philpot, A. 76
Piazza, M. 336, 343
Piche, O. 345
Pidikiti, R. 140, 158
Piel, A. 202, 214
Pielota 83
Pielot, M. 97
Pieniżek, M. 47
Pierik, F. 49
Pietersen, D. W. 190, 194
Pigott, T. D. 457, 469
Pikul, O. 96
Pillar, G. 126, 134
Pilz, J. J. 321
Piña, C. I. 202, 203, 211, 216
Pincus, A. L. 348, 369
Pine, D. S. 294
Pinel 97, 336, 343
Pinel, P. 97, 343
Pinheiro, E. S. S. 286, 287, 296
Pintea, L. 202, 214
Pinti, P. 220, 230
Pioggia, G. 174
Piolino, P. 27, 45
Pipinis, E. 265, 270, 277
Pirmoradi, M. 380, 392
Pister, K. S. J. 172, 178
Pistolesi, M. 168, 177
Pitman, R. K. 386, 387
Pitman, R. L. 181, 199
Pittet, A. 181, 186, 189, 197
Piu, P. 78
Piwek, L. 161, 176
Piwetz, S. 216
Plaghki, L. 293, 295
Plangger, F. 96
Plass, J. L. 85, 97
Plitnick, B. 108, 110, 112
Pllana, A. 292, 293
Ploner, M. 296, 298
Pluta, A. 256
Płużyczka, M. 71
Poldrack, R. A. 262, 277
Pollack, M. H. 359, 370
Pöllhuber, D. 238, 255
Polo, O. 128, 135
Polverino, A. 156
Pomplun, M. 58, 70
Pons, F. 58, 70

Poole, A. 54, 76
Poon, C. C. Y. 162, 178
Popiel, A. 348, 371
Pop-Jordanova, N. 240, 257, 306, 322
Pöppel, E. 345
Porges, S. W. 70
Port 192
Port, M. 199
Porter, S. 398, 405, 408, 409
Portman, M. E. 28, 49
Posikera, I. N. 258
Posthuma, D. 237, 257
Potter 57, 76
Pougatchev, V. 302, 323
Pournaseh, M. 340, 344
Powell, D. A. 306, 318
Powell, G. 181, 199
Power, K. G. 355, 361, 362, 371
Pozzi, D. 243, 257
Pracka, D. 113
Pracki, T. 110, 113
Pragłowska, E. 348, 371
Prasad, M. 65, 74
Prat, C. S. 237, 257
Preacher, K. J. 477, 483, 488
Preckel, F. 134
Preiszlér, M. 126, 134
Prentice, D. A. 457, 470
Priatna, D. 216
Price, J. 244, 257
Prichép, L. 275, 295
Prichép, L. S. 287, 296
Prins, H. 323
Prinsloo, G. E. 306, 309, 311, 322
Prins, R. G. 33, 44, 49
Prinz, W. 338, 344
Privitera, C. M. 56, 61, 76
Protheroe, C. 216

Prudor, A. 213, 216
Prugh, L. R. 212, 215
Przepiórka, A. 71
Punia, C. 249, 255
Purcell, K. L. 193, 196
Purdom, C. L. 308, 318
Purgathofer, W. 76
Puri, C. 221, 223, 232
Pusenjak, N. 312, 322
Putter, H. 480, 488
Pużyński, S. 283, 296
Pyszczyk, T. 173, 174

Q

Qiu, J. L. 48
Quatman-Yates, C. 138, 155
Queiroz, S. S. 120, 135
Quinn, K. 294
Quintana, D. S. 310, 326
Quintus, M. 424, 426, 429
Qvale, L. G. 146, 157

R

Raab, K. 353, 370
Racette, A. 332, 345
Radová, L. 158
Raffard, S. 59, 71
Raffa, S. 350, 372
Raghavan, P. 319
Ragusa, G. 176
Rahman, D. A. 191, 198
Rahmat, U. M. 198
Räihä, K.-J. 75
Raj, K. 274
Rajan, S. 170, 175
Ramachandran, V. S. 242, 257
Ramasarma, N. 170, 175
Ramos, R. T. 254

- Ranasinghe, D. C. 211, 216
Rand, D. 398, 410
Ransmayr, G. 247, 253
Raoufy, M. R. 308, 325
Raoult, V. 214, 215
Räsänen, P. 87, 88, 97
Rasmus, A. 317
Ratajczak, E. 235, 281, 299
Rath, A. 114
Rath, J. F. 114, 319
Ratnayake, K. 107, 114
Raubal, M. 69, 73
Rauch, H. G. L. 306, 309, 311, 322
Raulerson, B. A. 384, 387
Raveh, M. 382, 387
Ray, J. C. 196
Raymond, J. 310, 322
Rayner, K. 58, 76
Reales, J. M. 93, 97
Rea, M. 114
Rea, M. S. 103, 106, 108, 110–112
Redding, E. 309, 318
Reder, L. M. 380, 387
Redick, T. S. 80, 97
Rees, R. A. 316
Refsauge, K. 154
Reich, P. 265, 275
Reikerås, E. 150, 157
Reilly, J. P. 274, 277
Reinecke, M. A. 371
Reiner, R. 92, 307, 312, 322
Reingold, E. M. 65, 76, 77
Reinhard, M.-A. 396, 400, 404, 409
Reiter, P. 58, 76
Rello, L. 83, 97
Remington, R. W. 81, 95
Rémond, A. 276
Ren, W. 290, 297
Reneau, M. 308, 322
Rentz, D. 71
Rentz, D. M. 387
Repetto, C. 71
Repp, B. H. 332, 333, 340, 345
Requejo, P. 176
Resch, B. 37, 39, 45, 49
Restrepo, H. 198
Rethorst, C. D. 121, 136
Reuter-Lorenz, P. A. 384, 385, 387, 391
Revkin, S. K. 87, 88, 97
Reyes, A. 191, 198
Reyes-Amaya, N. 198
Reyna, V. F. 377, 382, 386, 387, 392
Rezatofghi, S. H. 211, 216
Rhind, D. W. 39, 48
Rhoades, H. M. 372
Rianti, P. 198
Ribary, U. 287, 295
Ribas, C. 194, 196
Ribeiro, D. A. 136
Rice, J. A. 480, 488
Rich, L. N. 180, 198
Richardson, D. C. 400, 401, 406, 409
Rickels, K. 369
Ridder, H. M. 146, 157
Ridsdale, H. A. 154
Rieger, K. 269, 277
Riener, R. 96
Rihs, T. A. 278
Rijken, N. H. 311, 323
Rinck, M. 58, 73
Ringhofer, M. 215
Ripley, B. 484, 488
Ritz, M. 296
Riva, G. 71
Rizzi, P. 150, 157
Rizzo, A. 167, 171, 176

- Roach, G. D. 135
Roberts, D. G. 180, 196
Roberts, R. D. 134
Roberts, S. 69, 78
Robichaud, M. 348, 370
Robino, C. 95
Robinson, E. 355, 356, 361, 363, 371, 372
Robinson, H. S. 180, 198
Robison, A. J. 108, 114
Robson, P. 351, 369
Rochas, V. 278
Rochester, L. 166, 176
Rockstroh, C. 313, 316
Rodby, K. 313, 315
Roden, I. 340, 345
Rodgers, M. 161, 176
Rodgers, T. W. 192, 198
Rodríguez, D. 198
Rodríguez, H. 256
Rodríguez, M. 256
Rodríguez-Castro, D. 198
Rodríguez-Labrada, R. 58, 76
Rodríguez-Morilla, B. 135
Roe, J. 38, 45
Roe, J. D. 180, 196
Roediger, H. L. 376–378, 380, 381, 388, 390, 392
Roemer, L. 348, 350, 356, 371, 372
Roenneberg, T. 136
Roepstorff, A. 57, 78
Roessner, V. 249, 252
Rogala, J. 291, 297
Rogash, N. C. 274
Rogowski, T. 383, 393
Roh, T. 162, 168, 177
Röhm, D. 238, 255
Röhricht, F. 284, 297
Rohrmann, B. 24, 45
Roinishvili, M. 278
Rokach, L. 267, 277
Rollag, M. 111
Rollo, A. 311, 323
Romanelli, R. 279
Romani, G.-L. 220, 222, 232
Romano, S. M. 168, 177
Ronconi, L. 95
Roque, L. 65, 70
Ros, T. 297
Rosbash, M. 100
Rosenberg, M. D. 275
Rosenkrantz, J. 399, 407
Rosenthal, R. 399, 402, 407, 410, 458, 470
Rosiak, M. 347
Rosini, F. 78
Rosnow, R. L. 458, 470
Ross, B. 343
Ross, J. V. 195
Rossetti, Y. 338, 344
Rossi, J. S. 452, 460, 470
Roth, V. 252
Rothensee, M. 58, 76
Rothstein, H. R. 457, 469
Rotzer, S. 96
Rousson, V. 237, 253, 297
Roux-Michollet, D. 46
Rovero, F. 181, 182, 186, 188, 194, 198, 199
Rovini, E. 166, 177
Rowcliffe, J. M. 181, 182, 188, 198, 199
Rowson, B. 214
Rowson, S. 214
Royer, T. G. 326
Rozek, E. K. 310, 319
Rubin, D. B. 458, 470
Ruci, L. 383, 392
Rudas, L. 315
Rufa, A. 78

Ruggeri, P. 265, 277
Rukmini, A. V. 106, 114
Ruksenas, O. 277
Rümmler, M.-C. 213, 215
Rundo, J. V. 122, 136
Runkle, J. D. 173, 177
Ruppeldt, P. 314, 325
Rusconi, E. 338, 345
Rusko, H. 136
Russoniello, C. V. 302, 323
Ruzicka, E. 169, 177
Ryan, A. M. 69, 76
Rybin, A. N. 199
Rykaczewski, K. 176
Rynkiewicz, A. 314, 324

S

Sabatini, A. M. 164, 175
Sabini, J. 485, 487
Sabuncu, M. R. 278
Sachdev, P. 374
Sadato, N. 343
Saelens, B. E. 46
Saengcharnchai, P. 307, 325
Sagan, O. 340, 344
Saggino, A. 279
Sagl, G. 37, 49
Sahin, L. 110, 114
Sahlin, B. H. 383, 392
Sahni, S. 249, 255
Sajid, I. 310, 322
Sakakibara, M. 308, 323
Sakuma, H. 158, 306, 318
Salazar, P. 381, 390
Saletu, B. 246, 249, 257, 258
Saletu-Zyhlarz, G. M. 249, 258
Sallis, J. F. 46
Salminen, J. 97

Salters, K. 350, 356, 372
Salters-Pedneault, K. 350, 356, 372
Salzer, S. 371
Samanchi, R. 268, 277
Samanez-Larkin, G. R. 275
Samani, A. 69, 78
Sampaio, L. M. 147, 157
Samuelson, K. W. 306, 327
Samuni, L. 197
Sander, C. 249, 258
Sanders, C. 258
Sanderson, J. G. 181, 198
Sanford, L. C. 382, 392
Sangkloy, P. 75
Sanguinetti, C. 216
Santana, P. 65, 70
Santarnecki, E. 268, 270, 277
Santos, C. L. 296
Santosa, Y. 198
Sanz, C. 180, 198
Saper 118, 135
Sardà, F. 202, 207, 215
Sardà-Palomera, F. 202, 207, 215
Sargent, C. 135
Sarnthein, J. 287, 289, 297, 298
Sasaki, Y. 297
Sasidharan, A. 255
Sassi, R. 304, 323
Satoh, M. 146, 147, 158
Sattel, H. 284, 297
Sauseng, P. 255
Sauvet, F. 134
Savage 57, 76
Savard, P. 370
Savazzi, F. 75
Savickas, R. 138, 156
Scandura, M. 192, 196
Scarpa, L. J. 202, 203, 211, 216

- Schabus, M. 255
Schack, B. 255
Schack, T. 65, 74
Schacter, D. L. 378, 380–382, 385–390
Schaefer, M. 197
Schaller, G. 297
Schaller, J. D. 259
Scharff, L. 66, 72
Scharmach, M. 396, 400, 409
Scharnowski, F. 297
Scheel, C. 65, 76
Scheinost, D. 275
Scherb, H. 237, 258
Scherrer, V. 134
Schilbach, L. 75
Schiller, B. 265, 271, 272, 277
Schinazi 27
Schinazi, V. R. 48
Schipperijn, J. 46
Schlattmann, P. 354, 371
Schlegel, F. 268, 271, 277
Schmid, R. G. 237, 258
Schmidt, L. A. 256
Schmidt, S. 287, 297
Schmitt, K.-U. 54, 77
Schmitz, R. 176
Schnall, R. P. 134
Schneider, M. 278
Schneider, S. 134
Schneps, M. H. 58, 70
Schnider, A. 256
Schober, B. 416, 428
Schocke, M. 344
Schoenknecht, P. 249, 258
Schoffelen, J.-M. 294
Schönbrodt, F. D. 416–418, 427–429
Schönmann, C. 96
Schooley, R. L. 198
Schredl, M. 121, 135
Schreiter, M. L. 237, 249, 252
Schreiter Gasser, U. 237, 253
Schrom-Feiertag, H. 66, 68, 77
Schuemie, M. J. 27, 49
Schuette, P. 212, 216
Schull, Q. 213, 216
Schulte-Rüther, M. 75
Schultz, C. 297
Schumann, A. 313, 323
Schuster, C. 480, 489
Schuster, S. 57, 73
Schuurman, P. R. 294
Schuurmans, Y. 24, 46
Schwarzlin, R. 312, 322
Schwarz, U. 54, 77
Schwencke, G. 371, 372
Scolnick, B. 307, 323
Scott Geller, E. 38, 47
Scott, T. J. 38, 47, 119, 134
Scrimgeour, G. J. 181, 197
Seamon, J. G. 381, 383, 388, 392
Sebastián-Gallés, N. 58, 70
Sedano, H. M. 150, 157
Sedikides, S. 441, 443
Seer, S. 66, 77
Šefara, D. 36, 47
Segarra, F. 135, 136
Seifert, F. 288, 297
Seiler, M. J. 106, 114
Seitchik, A. E. 275
Seitzmann, B. A. 264, 270, 277
Sekulovski, D. 102, 113
Selikowitz, M. 238, 252, 253
Sella, F. 88, 97
Sammelmann, K. 58, 77
Seoane, F. 313, 315
Sepulcre, J. 278

- Serfontein, G. 239, 252
Sergeant-Marshall, S. D. 382, 393
Settgast, V. 66, 77
Seymour, B. 293, 296
Shaffer, F. 304, 323
Shah, J. 287, 296
Shah, P. 388
Shaki, S. 150, 158, 338, 343
Shalev, R. S. 336, 341, 345, 346
Shalvi, S. 398, 410
Shanock, L. R. 416, 427, 429
Shao, X. 393
Shapiro, P. 113
Shapiro, W. 113, 308, 324
Shariff, N. N. M. 101, 112
Sharp, D. A. 371
Shastri, D. 222, 232
Shaw, S. B. 274, 277
Shearer, D. A. 318
Sheffy, J. 134
Sheffy, K. 126, 134
Shen, W. 288, 290, 297
Shen, X. 275
Shenefelt 306, 323
Shepard, K. M. 238, 257
Shepherd, C. R. 195
Sheridan, H. 65, 76, 77
Sherlin, L. 309, 323
Sherlin, L. H. 288, 289, 295
Shi, B. 270, 279
Shi, J. 68, 75
Shibata, K. 291, 297
Shill, H. A. 252
Shinohara, H. 306, 307, 319, 321
Shiota, H. 259
Shipstead, Z. 97
Shobe, K. K. 376, 391
Shrivastava, A. 62, 73
Shuttleworth, I. 42, 46
Sicca, F. 251
Siegel, R. D. 350, 370
Siegman, B. 256
Siemeniuch, M. 209
Siepmann, M. 306, 307, 321, 322, 324
Siepmann, T. 307, 321, 322, 324
Sierpina, V. 312, 324
Sikora, K. 173, 174
Sikorska, J. 179, 191, 209, 228, 230
Sillion, F. 76
Silva, E. 157
Silva, F. L. 236, 257
Silva, J. M. 243, 255
Silver, S. C. 180, 198
Simons, J. 171, 175
Simpson, E. A. 59, 77
Simpson, J. 36, 49
Simpson, K. J. 36, 49
Simpson, R. 199
Simpson, R. J. 371
Singh, P. 249, 255
Sinnapolu, G. 161, 177
Sitaram, R. 292, 297
Siuta, J. 416, 429
Sivy, K. J. 215
Skarżyński, H. 256
Skipper, J. A. 222, 230
Skirde, A. K. 307, 321
Skoe, E. 345
Skorko, M. 90, 95
Skrandies, W. 267, 276
Skwarło-Siońta, K. 113
Slater, A. I. 102, 115
Slater, J. 340, 345
Slauson, K. M. 180, 196
Slayer Chuang, K.-Y. 45
Slutsker, B. 308, 324

- Słupczewski, J. 79, 150, 341
Smailovic, U. 247, 258
Smeets, E. 386, 389
Smidth, M. T. 243, 255
Smith, A. 199
Smith, A. D. 380, 381, 390
Smith, B. 282, 297
Smith, J. C. 255
Smith, J. D. 60, 68, 71, 77
Smith, R. E. 378, 381, 389, 392
Smith, S. M. 278
Smith, W. R. 28, 50
Smolders, R. 294
Snaedal, J. 247, 248, 258
Sneve, M. H. 70
Sobczyk, B. 90, 95
Sobolewska, N. 137, 151, 158, 341
Soenens, B. 424, 429
Soer, R. 323
Sohn, G. 45
Sokolowski, H. M. 331, 345
Solcà, M. 256
Soler, J. E. 108, 114
Sollers, J. J. 304, 314, 325
Sollew, K. 372
Solley, K. 371
Solomon, B. C. 432, 444
Solomon, E. P. 120, 134
Soluch, P. 71
Sommerauer, P. 30, 50
Somppi, S. 59, 60, 77
Song, H. S. 146, 156
Song, L. 336, 344
Song, L.-P. 320
Soni, S. 268, 269, 277
Sonino, N. 283, 294
Sood, M. 268, 277
Sorrentino, P. 156
Sosa, P. V. 275
Sosnowski, T. 417, 449
Sostre, A. 319
Soucy, J. N. 364, 370
Souza, W. C. 140, 158
Sovová, E. 142, 158
Sovová, M. 158
Sowder, E. 308, 324
Sowiński, J. 333, 345
Sójta, K. 348, 372
Spakov, O. 60, 73
Speckens, A. 58, 73
Speck, J. 32, 50
Spence, J. 352, 356, 370, 372, 374
Spidel, A. 402, 408
Spillers, G. J. 58, 78
Spiluttini, B. 306, 317
Spindler, P. 249, 258
Spitler, K. M. 222, 231
Sporer, S. L. 404, 409
Sporns, O. 237, 258, 262, 275
Sposaro, F. 161, 167, 170, 177
Sprdlik, O. 169, 177
Sproule, D. W. 214
Spyropoulos, C. D. 57, 76
Sroka, L. 240, 242, 253, 254
Stadt, O. G. 76
Stadler, W. 238, 255
Stamps III, A. E. 24, 44, 50
Stancak, A. 286, 294
Stanley, M. A. 364, 365, 367, 372
Stanton, A. M. 308, 324
Staples, A. M. 350, 369
Stapleton, S. 211, 214
Stark, L. W. 56, 58, 61, 71, 76
Starkstein, S. 257
Starr, E. W. 172, 178
Startup, H. M. 383, 393

- Stawicki, M. 281
Steciuk, H. 65, 77
Steenweg, R. 195
Steffen, P. R. 309, 314, 316, 324
Steffert, T. 309, 318
Steg, L. 22, 50
Steiner, R. 112
Steinhubl, S. 167, 175
Stein, M. 265, 266, 278
Stenhouse, G. B. 194
Stephens-Davidowitz, S. 39, 50
Stephenson, W. 434, 444
Sterkenburg, R. P. 49
Serman, M. B. 288, 297
Stern, A. 140, 158
Stern, E. 262, 278
Stern, J. 287, 297, 298
Stern, M. J. 308, 324
Sternal, M. 66, 71
Stettner, H. 321
Stevens, S. 177
Stickgold, R. 126, 135
Stige, B. 146, 157
Stiglbauer, B. 42, 50
Stimson, D. 24, 45, 400, 409
Stimson, R. J. 45
Stocco, A. 237, 257
Stoeckel, L. 297
Storbeck, J. 383, 392
Strait, D. L. 345
Strange, L. 320
Strauman, T. 412, 428
Street, C. N. H. 400, 401, 406, 409
Strelau, J. 416, 429
Strelets, V. 268, 269, 278
Stridh, M. 55, 70
Strik, W. 278
Strik, W. K. 269, 276
Stroganova, T. A. 242, 258
Strollo P. J. 134
Strömwall, L. A. 396, 397, 407–409
Stróżak, P. 71
Strüder 121
Strüder, H. K. 134
Struyfs, H. 254
Strzałkowska, A. 327
Strzałkowski, M. 21, 36, 45
Stylianou, M. 246, 258
Su, Q. 293, 295
Subramaniam, S. 147, 157
Suenaga, K. 136
Sugg, M. M. 177
Sullivan, A. L. 387
Sullivan, C. E. 128, 135
Sullivan, C. M. 274
Sulzer, J. 297
Summa, A. 37, 49
Summala, H. 64, 74
Sun, N. 221, 231
Sunderajan, P. 136
Surmeier, D. J. 297
Susa, K. J. 404, 407
Sutarto, A. P. 310, 324
Sutherland, R. J. 306, 325
Sutton, S. K. 243, 258
Suvorov, N. 310, 324
Svarre, B. 23, 47
Swan, M. 161, 177
Swann, A. C. 372
Swann, D. E. 184, 189, 195, 199
Swanson, A. 180, 199
Swanson, V. 371
Swatzyna, R. J. 248, 259
Syväoja, H. 136
Szczepaniak, P. 416, 429
Szczygiel, M. 87, 94

Sze, S. L. 240, 252
Szeląg, E. 331, 334, 342, 345
Szeremeta, E. 117, 221
Szmytko, M. 36, 53
Sztembis, R. 314, 324
Szubielska, M. 55, 71, 77
Szulczewski, M. T. 314, 324
Szymańska, M. 146, 329
Szymaszek, A. 331, 342, 345
Szymura, B. 278

Ś

Ślęzak, D. 176
Śliwińska, K. 347
Śliwińska, M. 416, 429

T

Ta, P. 154
Tabei, K. 158
Tabrizian, P. 28, 50
Tachiki, K. H. 255
Ta Dinh, S. 286, 287, 296, 298
Tafil-Klawe, M. 110, 113
Taghizadeh, N. 308, 325
Taheri, M. 118, 136
Tait, M. 95
Takao, M. 100, 111, 113
Talbot, D. 321
Tallis, F. 369
Tan, G. 306, 325
Tanabe, H. C. 343
Tanaka, J. 58, 78
Tanaka, M. 58, 78
Tang, T. C. 320
Tao, W. 163, 177
Tarnow, J. D. 249, 259
Tartaglia, E. M. 68, 78
Tartan, E. O. 161, 167, 177

Tartarisco, G. 174
Tate, J. 317
Tatler 57, 76
Tattoni, C. 188, 193, 199
Tatur, G. 68, 78
Taub, E. 140, 158
Taub, G. E. 346, 340
Taubert, J. 59, 78
Taylor, B. D. 181, 195
Taylor, J. P. 252, 258
Taylor, M. J. 343
Teachman, B. A. 383, 389
Teeravisutkul, P. 307, 325
Teeuw, W. B. 323
Teichmann, B. 143, 156
ten Brinke, L. 400, 404, 405, 409, 410
Teng, X.-F. 162, 178
Tenke, C. E. 249, 259
Teodorescu, D.-S. 58, 74
Teramoto, H. 246, 259
Tervaniemi, M. 335, 342
Tesón, A. 257
Teufel, M. 326
Thabrew, H. 314, 325
Thatcher, R. W. 236–238, 242, 252, 259, 284, 298
Thayer, J. F. 304, 308, 309, 317, 325
Theeuwes, J. 66, 71
Theron, C. 231
Thibodeau, N. 370
Thomas, A. 252
Thomas, C. 253
Thomas, S. M. S. 28, 45
Thompson, E. 345
Thompson, E. M. 28, 50
Thompson, L. 80, 94, 282, 284, 288, 290, 298

- Thompson, M. 246, 259, 282, 284, 288, 290, 298
Thompson, T. 309, 318
Thorey, V. 134
Thornton, A. 262, 274
Thorpe, S. J. 59, 72
Thrash, T. 27, 48
Thurstone, C. 307, 325
Thwaites, K. 36, 49
Tibshirani, R. 473, 474, 480, 481, 484, 487
Tiemann, L. 296, 298
Tilker, A. 197
Timmis, M. A. 65, 78
Timplalexix, C. 121, 135
Tindall, A. G. 313, 326
Tipton, E. 94
Tiraboschi, P. 252
Tirsch, W. S. 237, 258
Titov, N. 352, 356, 361, 363, 370–372, 374
Titov, N. G. 372
Tittle, R. K. 318, 326
Tivesten, E. 64, 78
Tobimatsu, S. 251
Tobler, M. W. 181, 199
Todman, R. W. 382, 387
Toglia, M. P. 380, 391
Toiviainen, P. 345
Tokita, T. 158
Tomasino, D. 300, 306, 316, 320
Tomescu, M. I. 263, 268, 269, 274, 278
Tomes, J. L. 383, 392
Tomimoto, H. 158
Tomonaga, M. 59, 73
Tompson, S. 262, 278
Tønnessen, F. E. 150, 157
Tononi, G. 237, 258
Torche, P. 65, 74
Toril, P. 93, 97
Törnqvist, H. 59, 60, 77
Torrance, N. 282, 297
Torres, A. U. 381, 390
Torrico, D. D. 220, 232
Tortato, M. A. 181, 197
Tosetto, L. 214, 215
Tosini, G. 106, 114
Towell, E. 42, 50
Towell, J. 42, 50
Townsend, C. 73
Trageser, S. 199
Tran, D. 154
Tran, V. B. 197
Tran, V. T. 197
Treanor, M. 356, 361, 362, 372
Trepetin, M. 295
Tressoldi, P. 88, 97
Trevisan, P. 95
Trivedi, M. H. 136
Trojan, M. 18, 21, 35, 53, 79, 99, 117, 137, 159, 179, 191, 201, 209, 217, 221, 228, 235, 261, 281, 299, 329, 335, 346, 347, 375, 395, 411, 431, 449, 471
Trojaniello, D. 164, 178
Trolle, M. 181, 198
Tronchère, H. 46
Trösterer, S. 75
Troynikov, O. 118, 136
Truitt, P. 172, 178
Truszczyński, O. 71
Trykowska, N. 104, 114
Tsai, C.-C. 30, 46
Tsai, Y. C. 320
Tscheligi, M. 75
Tsetlin, M. M. 258
Tsiamyrtzis, P. 222, 232
Tsitskari, E. 80, 97
Tsubota, K. 106, 114

Tu, Y. 297
Tueller, S. 320
Tufik, S. 120, 135, 136
Tukey, J. W. 456, 470
Tulving, E. 377, 381, 392
Turcotte, J. 370
Turk, C. 369
Turk, C. L. 348, 371, 373
Turner, K. 65, 78
Turner, L. 38, 47
Turvey, S. T. 182, 198
Tusak, M. 312, 322
Twenge, J. M. 41, 50
Twidwell, D. 204, 212, 216
Tylén, K. 57, 78
Tyson, A. M. 214
Tyson, G. 161, 167, 177
Tzortzi, K. 34, 47

U

Uchida, S. 119, 129, 135, 136
Uehara, T. 251
Ugen, S. 134
Ugurbil, K. 278
Uhouse, S. G. 308, 315
Ulatowska, J. 375–377, 379, 381, 383, 386,
388, 391, 393, 395, 396, 399, 401–405,
409, 410
Umilta, C. 338, 345
Uninge, E. G. J. 172, 178
Unsworth, N. 58, 78
Urade, Y. 120, 135
Uratani, H. 313, 325
Urban, P. 342, 345
Urquijo, M. 198
Usher, G. 216
Uswatte, G. 140, 158
Utianski, R. L. 252

Uttley, J. 62, 72
Uzcátegui, M. 253

V

Vaahtoranta, K. 128, 135
Vadillo, M. A. 400, 401, 409
Vaeyens, R. 64, 78
Vagedes, J. 316
Vainio, O. 59, 60, 77
Vainshelboim, B. 142, 158
Valdois, S. 94
Valenzuela, M. 93, 96
Valfrè, C. 321
Valtchanov, D. 34, 43, 45, 50
Van Aken, M. A. G. 424, 428
Van Andel, A. 202, 214
van de Kerck, M. 215
van den Broeke, E. N. 287, 294, 298
van den Munckhof, P. 294
van de Pavert, S. H. P. 70
van der Berg, A. E. 22, 50
van der Heiden, C. 352, 361, 362, 373
van der Mast, C. A. P. G. 27, 49
van der Molen, H. T. 352, 373
van der Molen, M. W. 316
van der Spek, E. D. 93, 98
van der Straaten, P. 27, 49
Van der Vaart, A. 472, 488
van der Zwan, J. E. 312, 317, 325
Van De Ville, D. 263, 274
Van De Water, A. T. M. 124, 136
van de Weijer, J. 54, 73, 75
Van Dijk, J. M. 172, 178
Van Eetvelde, V. 36, 46
Van Essen, D. C. 262, 278
Van Gompel, R. P. G. 74
van Goor, H. 287, 294, 298
van Heerden, J. 386, 389

- van Hove, B. 220, 231
van Lenthe, F. J. 49
Van Looy, J. 88, 94
van Maarseveen, M. 33, 50
Van Mossevelde, S. 254
Van Nguyen, H. 211, 216
van Nimwegen, C. 93, 98
van Oostendorp, H. 93, 98
van Paridon, K. N. 65, 78
Van Petegem, S. 424, 425, 429
van Rijn, C. M. 287, 294, 298
Van Schependom, J. 254
van Swam, C. 274
van Zalk, M. H. W. 428
Vandel, P. 71
Varanese, S. 252
Varma, S. 336, 343
Vaschillo, B. 303, 314, 317, 319, 325
Vaschillo, E. 314, 317, 319
Vaschillo, E. G. 303, 325
Vater, C. 64, 74
Vaudor, L. 46
Vaughan, A. 258
Vazire, S. 432, 433, 442, 444
Vázquez-Mojena, Y. 58, 76
Vegh, M. 138, 155
Velázquez-Pérez, L. 58, 76
Veloso, A. 65, 70
Veneri, G. 55, 78
Venkatraman, S. 172, 178
Ventafridda, V. 282, 294
Ventura, V. 481, 487
Verbeek, H. 382, 391
Vergara, F. 253
Verheijen, F. J. 101, 114
Verhoeven, L. 240, 251
Verleger, R. 240, 242, 253, 254
Vernadakis, N. 80, 97
Verrier, N. 382, 388
Verschuere, B. 397, 398, 407, 408, 410
Vettel, J. M. 262, 278
Vialatte, F. 284, 294
Victor, C. R. 174
Viejo, C. G. 220, 224, 232
Viénot, F. 111
Villani, D. 71
Vincent, G. E. 135
Vinson, N. G. 27, 50, 69, 78
Vissers, K. C. P. 287, 298
Vitkalova, A. V. 191, 199
Vögele, C. 307, 321
Vogeley, K. 75
Vogel, S. E. 344
Vogels, I. 102, 113
von Aster, M. G. 96, 336, 344, 346
von Schéele, B. 308, 318
Vorberg, D. 332, 346
Voth, I. 296
Vrij, A. 396–398, 400–404, 407, 408, 410
Vrijssen, J. N. 58, 73
Vuckovic, A. 289, 294, 298
Vuillerme, N. 69, 78
- W**
Wachholtz, A. 306, 319
Wackermann, J. 275, 276
Wadhwa, R. 120, 135
Wagener, P. D. 372
Wager, T. D. 96, 304, 325
Wagner, T. P. 102, 114
Wahab, M. N. A. 310, 324
Wahnschaffe, A. 107, 114
Wainwright, L. 48
Walecki, P. 314, 318
Walker, E. 61, 62, 72
Walker, M. F. 101, 115

- Wallace, L. A. 371
Walsh, V. 330, 336, 337, 342, 343, 346
Waltert, M. 192, 199
Walz, F. 54, 77
Wan Shahrudin, W. N. 195
Wang, H. 166, 176, 178
Wang, J. 259
Wang, P. 294
Wang, R. 246, 259
Wang, T. 199
Wangchuk, R. 180, 196
Ward, A. J. 214, 215
Warren, S. 176
Waser, M. 247, 253
Watanabe, T. 297
Waterman, C. 190, 195
Watson, C. G. 118, 136
Watson, F. 216
Watson, J. M. 377, 378, 381, 382, 390, 392, 393
Watts, D. G. 237, 255
Wciórka, J. 283, 296
Wearn, O. R. 180, 196, 199
Webb, S. J. 240, 256
Weber, P. 110, 113
Weber, S. 42, 50
Weeks, D. L. 313, 326
Wehrens, R. 480, 488
Wei, X. 259
Weidner, K. 307, 321, 322, 324
Weigelt, S. 77
Weimer, B. 320
Weimerskirch, H. 213, 216
Weir, J. 202, 211, 216
Weisberg, R. B. 348, 373
Weiss, I. 158
Weisz, N. 285, 294
Welch, A. S. 306, 320
Welford, M. 373
Wells, A. 348, 349, 356, 362, 369, 370, 373
Wells, R. 310, 326
Wells, W. M. 274
Weltman, G. 306, 326
Wenderoth, N. 292, 295
Wening, H. 192, 199
Wereszczuk, A. 192, 199
Werner, L. 192, 199
West, T. V. 427, 429
Westerberg, C. E. 381, 393
Westerberg, H. 80, 96
Wetherell, J. L. 366, 367, 373
Wetzel, R. 26, 48
Wheat, A. L. 298, 305, 326
White, E. K. 305, 312, 318, 326
White, J. 356, 361, 363, 373
White, M. 48
White, R. 40, 47
Whited, A. 310, 326
Whited, M. 310, 326
Whitney, A. A. 313, 326
Wiatrow, A. 90, 95
Wibisono, H. 181, 197
Wich, S. 202, 207, 208, 214, 216
Wickens, C. D. 66, 72
Wiechetek, M. 70
Wierzbowska, I. 192, 195
Wiesendanger, M. 345
Wijsman, J. 169, 178
Wilcox, R. R. 472, 487
Wilczyńska, D. 327
Wilder-Smith, O. H. G. 287, 294, 298
Wilkins, A. J. 102, 115
Wilkinson, L. 456, 457, 459, 470
Willcox, D. 190, 199
Williams, A. M. 64, 78
Williams, G. 65, 71

Williams, J. 150, 155
Williams, L. B. 307, 319
Williams, L. M. 59, 74
Williamson, J. 214, 215
Williamson, V. J. 340, 344
Williams, W. 197
Wilson, A. 97
Wilson, A. C. 249, 253
Wilson, A. J. 87, 88, 97
Wilson, D. B. 457, 458, 470
Wilson, F. J. 249, 255
Wilson, N. L. 372
Wilson, T. D. 432, 442, 444
Winblad, B. 258
Windthorst, P. 308, 314, 326
Wing, A. 332, 346
Wing, A. W. 340, 346
Winograd, E. 382, 393
Winstein, C. J. 176
Winter, B. 336, 346
Wirth, M. 278
Wirz-Justice, A. 112, 136
Wise, C. 73
Wisely, J. 373
Wiśniewska, D. 383, 393
Witkop, G. 295
Witte, E. A. 256
Wittmann, T. A. 195
Witzki, A. H. 96
Włodarczyk, E. 256
Włodarczyk, P. 327
Wnuk, A. 30, 49
Wojcik, S. P. 487
Wojciszke, B. 434, 443, 473, 489
Wolach, A. 451, 470
Wolak, T. 342, 345
Wolf, P. 92, 96
Wolff, D. 160, 173

Wolpaw, J. R. 138, 155
Wong, K. Y. 113
Wood, G. 344
Woodcock, A. 174
Woolford, K. 48
Wordliczek, J. 282, 283, 298
Worthen, J. 391
Worzalla, S. L. 154
Wouters, P. 93, 98
Wozniak, K. H. 379, 388
Woźniakiewicz, J. 150, 157
Woźniewicz, A. 283, 293
Wright, A. 154
Wright, D. B. 383, 393, 486, 489
Wright, R. 343
Wróbel, A. 297
Wrzus, C. 424, 429
Wu, H. 296
Wu, S. 346
Wu, W. 306, 326
Wu, Y. 297
Wuchse, M. 75
Wulder, M. A. 194
Würsig, B. 216
Wyckoff, S. 309, 323
Wyleżoł, M. 74
Wyszomirska-Góra, M. 433, 443

X

Xie, J. 107, 115
Xing, C.-X. 320
Xiong, S. 148, 158
Xu, Y. 34, 44, 51
Xue, G. 393

Y

Yacoub, E. 278
Yaffe, K. 108, 115
Yahata, N. 292, 298

Yale, M. 258
Yamada, M. 156
Yamada, T. 291, 298
Yamamoto, S. 215
Yamasaki, B. L. 237, 257
Yan, J. 147, 154
Yan, L. 108, 114
Yang, C. 259
Yang, C. C. 317
Yang, G.-Z. 165, 175
Yang, H. 68, 75
Yang, Q. 107, 115
Yang, S. J. H. 148, 154
Yang, Y. H. 156
Yantez, G. 256
Yap, L. 359, 370
Yarkoni, T. 262, 278
Yasui, Y. 58, 62, 78
Yau, K. W. 100, 113
Yeh, Y. C. 320
Yehoshua, L. 158
Yen, C. F. 320
Yen, C.-F. 307, 320
Yeo, T. B. T. 264, 278
Yerevanian, B. I. 255
Yimer, B. B. 46
Yin, H. C. 147, 154
Yin, W. 336, 344
Yokoyama, J. 251
Yoo, H.-J. 162, 177
Yoo, J. 141, 156
Yoon, K. L. 357, 373
Yoshida, Y. 343
Yoshihara, Y. 298
Yoshimura, M. 276
Yoshino, K. 313, 325
Young Michael W. 100
Youn, T. 243, 256

Ystad, S. 196
Yu, H. 259
Yu, L.-C. 307, 326
Yu, S. 297
Yuan, H. 292, 298
Yuan, K.-C. 480, 489
Yuba, T. 158
Yucha, C. 300, 302, 303, 312–315, 326
Yun, H. J. 141, 156

Z

Zachopoulou, E. 80, 97
Zancanaro, M. 176
Zandieh, R. 33, 50
Zappasodi, F. 270, 279
Zarańska, B. 327
Zarei, S. 107, 111
Zargari Marandi, R. 69, 78
Zarzycka-Piskorz, E. 84, 98
Zatorre, R. J. 335, 345, 346
Zawadzki, B. 416, 429
Zdziechowska, K. 282, 295
Zeile, P. 37, 49
Zeisel, J. 23, 32, 51
Zelenski, J. M. 383, 392
Žemaitienė, I. 138, 156
Zemon, V. 319
Zhang, G.-G. 320
Zhang, L. 270, 279, 373
Zhang, P. 148, 158
Zhang, T. 34, 44, 51, 320
Zhang, W. 346
Zhang, Y. 240, 259, 320
Zhang, Y.-T. 162, 178
Zhao, T. 35, 48, 338, 346
Zhao, X. 346
Zheng, H. 176, 178
Zheng, R. 163, 177

- Zhirnov, E. 302, 323
Zhou, J. 107, 115
Zhou, Z. 373
Zhu, B. 386, 393
Zhu, J. 68, 75
Zhu, L. N. 147, 154
Zhu, M. 298
Zhu, Z. 360, 361, 363, 373
Zhuang, L. 393
Ziach, K. 40
Zielinski, W. J. 196
Zielińska-Dąbkowska, K. 105, 110, 115
Zimmerhackl, L. B. 344
Zimmermann, F. 186, 198
Zin, N. M. 310, 324
Zinbarg, R. E. 357, 361, 362, 373
Ziółkowski, A. 314, 327
Zissis, G. 111
Ziv, G. 66, 78
Złomańczuk, P. 113
Zola, S. 71
Zolotova, I. 112
Zook, M. A. 43, 51
Zorcec, T. 240, 257
Zorzi, M. 86, 88, 96, 97
Zotев, V. 298
Zou, J. B. 366, 368, 374
Zou, Y. 292, 298
Zubraegel, D. 354, 371
Zucco, C. A. 194, 196
Zuckerman, M. 402, 410
Zucker, T. L. 306, 327
Zwierko, T. 65, 77

www.liberilibri.pl
ISBN 978-83-63487-43-0