

Magdalena Baszuk

**Rola treningu poznawczego
w usprawnianiu umysłu seniora -
badania neuropsychologiczne i elektrofizjologiczne**

Praca doktorska
wykonana w Pracowni Neuropsychologii
Instytutu Biologii Doświadczalnej
im. M. Nenckiego PAN oraz
na Wydziale Psychologii Uniwersytetu SWPS

PROMOTOR I:

Prof. dr hab. Elżbieta Szelağ
Instytut Biologii Doświadczalnej
im. M. Nenckiego PAN

PROMOTOR II:

Dr hab., Hanna Bednarek,
prof. Uniwersytetu SWPS
Uniwersytet SWPS

Podziękowania

Przy pisaniu tej pracy doktorskiej miałam przyjemność współpracować z wieloma wyjątkowymi osobami, bez których wsparcia nie udało by mi się osiągnąć tego etapu mojej naukowej ścieżki.

Przede wszystkim chciałabym wyrazić głęboką wdzięczność Promotorkom niniejszej pracy – prof. Elżbiecie Szeląg oraz prof. Hannie Bednarek za wprowadzenie w świat nauki, wieloletnią opiekę naukową i merytoryczną, a także za wsparcie i cierpliwość na każdym etapie powstawania tej pracy.

Serdeczne podziękowania za wsparcie, przyjaźń i pomoc w realizacji projektu kieruję do całego zespołu ówczesnej Pracowni Neuropsychologii Instytutu Biologii Doświadczalnej im. M. Nenckiego PAN. Moje szczególne podziękowania kieruję do Katarzyny Jabłońskiej, bez której wiedzy, wsparcia i wysiłku nie byłoby możliwe zrealizowanie tego badania.

Dziękuję również dr n. med. Katarzynie Broczek z Kliniki Geriatrii WUM oraz Katarzynie Trzaskowskiej i całemu zespołowi pielęgniarek z Pracowni Badań Czynnościowych Układu Oddechowego WUM, za wsparcie w procesie kwalifikacji osób badanych.

Bardzo dziękuję dr hab. Ewie Kublik oraz dr Ingridzie Antonovej za merytoryczne oraz techniczne wsparcie w badaniu elektrofizjologicznym.

Chciałabym również podziękować wszystkim osobom badanym – Seniorkom i Seniorom, bez których zaangażowania nie byłoby możliwe przeprowadzenie niniejszego badania. Dziękuję za wytrwałość i aktywny udział w projekcie, ale także za ciepło i mądrość życiową.

Ogromną wdzięczność kieruję również do Stażystek i Stażystów, których nieoceniona pomoc ułatwiła realizację codziennych zadań.

Nie mogę też nie wspomnieć o mojej rodzinie i przyjaciółach, którzy nieustannie wspierali mnie w tym naukowym maratonie, dostarczając wsparcia emocjonalnego i niejednokrotnie służąc radą. W szczególności dziękuję Mężowi, Rodzicom oraz Siostrze.

Badania przedstawione w niniejszej pracy przeprowadzone zostały w ramach projektu badawczo-rozwojowego OPUS 9 2015/17/B/HS6/04182 „Jak zwiększyć sprawność umysłu seniora: trening poznawczy czy ćwiczenia fizyczne” finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki.



Projekt OPUS 9 „Jak zwiększyć sprawność umysłu seniora: trening poznawczy czy ćwiczenia fizyczne” (grant Narodowego Centrum Nauki nr 2015/17/B/HS6/04182), w ramach którego wykonałam poniższe badania, został pozytywnie zaopiniowany przez Senacką Komisję ds. Etyki Badań Uniwersytetu SWPS (nr zezwolenia: 1/2017).

Przed przystąpieniem do projektu, wszystkie osoby badane otrzymały pisemną informację dotyczącą celu i przebiegu projektu oraz zastosowanych procedur, a także korzyści wynikających z uczestnictwa w badaniu.

Wszystkie osoby badane podpisały świadomą zgodę na udział w badaniu (Załącznik nr 1), natomiast po zmianie obowiązujących przepisów – od 10.05.2018 r. osoby badane podpisywały również klauzulę informacyjną RODO (Załącznik nr 2).

Spis treści

WYKAZ SKRÓTÓW.....	11
STRESZCZENIE.....	13
ABSTRACT	15
1. WSTĘP.....	17
1.1. Starzejące się społeczeństwo w ujęciu wielowymiarowym	17
1.2. Poznawcze starzenie	18
1.2.1. Charakterystyka związanych z wiekiem deficytów poznawczych	19
1.2.2. Teorie wyjaśniające starzenie poznawcze.....	24
1.2.3. Predyktory pomyślnego starzenia poznawczego	29
1.2.4. Kontekst społeczno-ekonomiczny	32
1.3. Treningi poznawcze	33
1.3.1. Trening poznawczy vs. rehabilitacja poznawcza – definicja pojęć	33
1.3.2. Treningi poznawcze z perspektywy ostatnich dekad.....	34
1.3.3. Mechanizmy leżące u podstaw treningów poznawczych	35
1.3.4. Neuroplastyczność w wieku senioralnym.....	37
1.3.5. Efektywność treningów poznawczych.....	41
1.3.5.1. Transfer bliski i daleki jako miara skuteczności treningów poznawczych.....	49
1.4. Mechanizm kompleksowych oddziaływań treningu percepcji czasu na funkcjonowanie poznawcze	51
1.4.1. Percepcja czasu	51
1.4.2. Percepcja czasu a wiek.....	55
1.4.3. Percepcja czasu i jej związek z innymi funkcjami poznawczymi	57
2. CELE I HIPOTEZY BADAŃ WŁASNYCH.....	60
2.1. Cel badań własnych	60
2.2. Hipotezy badawcze	61

3. METODA	63
3.1. Osoby badane	63
3.1.1. Rekrutacja oraz kwalifikacja osób badanych do projektu	63
3.1.2. Charakterystyka osób badanych.....	65
3.2. Procedury diagnostyczne	66
3.2.1. Metody behawioralne.....	67
3.2.1.1. Diagnoza percepcji czasu.....	67
3.2.1.2. Diagnoza procesów pamięciowych.....	71
3.2.1.3. Diagnoza procesów uwagowych.....	74
3.2.1.4. Diagnoza funkcji wykonawczych	76
3.2.1.5. Podsumowanie wskaźników stosowanych w diagnozie neuropsychologicznej ..	82
3.2.2. Metody elektrofizjologiczne	83
3.2.2.1. Procedura 1 – Słuchowa pamięć robocza (zadanie <i>n</i> -wstecz).....	84
3.2.2.2. Procedura 2 – Porównywanie długości trwania bodźców słuchowych	87
3.2.2.3. Rejestracja sygnału EEG.....	91
3.2.2.4. Analiza sygnału EEG metodą potencjałów wywołanych (ERP)	91
3.2.2.4.1. Procedura 1 – Słuchowa pamięć robocza	91
3.2.2.4.2. Procedura 2 – Porównywanie długości trwania bodźców słuchowych	94
3.3. Procedury treningowe	97
3.3.1. Trening eksperymentalny.....	97
3.3.1.1. Opis modułów oraz poszczególnych gier	99
3.3.2. Trening kontrolny	108
3.3.3. Harmonogram treningów	109
3.4. Schemat prowadzonych badań	109
3.5. Analizowane zmienne	112
3.6. Wykonane analizy statystyczne	114
3.6.1. Badania behawioralne	115

3.6.1.2. Zestawienie wykonanych analiz	116
3.6.2. Badania elektrofizjologiczne	118
3.6.2.1. Zadanie 1 – Słuchowa pamięć robocza.....	118
3.6.2.2. Zadanie 2 – Porównywanie długości trwania bodźca słuchowego.....	119
3.6.2.3. Zestawienie wykonanych analiz	120
3.6.3. Elektrofizjologiczne korelaty funkcji poznawczych.....	125
4. WYNIKI.....	126
4.1. Efektywność przeprowadzonych treningów – badania behawioralne – testowanie hipotezy H1.....	126
4.1.1. Wpływ treningu eksperymentalnego i treningu kontrolnego na percepcję czasu. 126	
4.1.2. Wpływ treningu eksperymentalnego i treningu kontrolnego na procesy pamięciowe	129
4.1.3. Wpływ treningu eksperymentalnego i treningu kontrolnego na procesy uwagowe	134
4.1.4. Wpływ treningu eksperymentalnego i treningu kontrolnego na funkcje wykonawcze	140
4.1.5. Zależności między efektami treningu w badanych funkcjach poznawczych – analizy korelacyjne	152
4.1.6. Podsumowanie wyników behawioralnych dotyczących efektywności przeprowadzonych treningów	154
4.2. Stabilność zmian funkcjonowania poznawczego po zastosowanym treningu – pomiar odroczonego – testowanie hipotezy H2	156
4.3. Efektywność przeprowadzonych treningów – badania elektrofizjologiczne – testowanie hipotezy H3.....	161
4.3.1. Procedura 1 – Słuchowa pamięć robocza	161
4.3.1.1. Wpływ poziomu trudności zadania (wskaźniki behawioralne i elektrofizjologiczne)	161
4.3.1.1.1. Porównanie parametrów potencjału P300 dla poszczególnych elektrod w warunku 1– i 2–wstecz – testowanie hipotezy H4.....	166

4.3.1.2. Wpływ treningu eksperymentalnego i treningu kontrolnego na wykonanie zadania	169
4.3.1.2.1. Wskaźniki behawioralne	169
4.3.1.2.2. Wskaźniki elektrofizjologiczne.....	178
4.3.2. Procedura 2 – Porównywanie długości trwania bodźców słuchowych – badanie elektrofizjologiczne.....	192
4.3.2.1. Wpływ poziomu trudności zadania.....	192
4.3.2.2. Wpływ treningu eksperymentalnego i kontrolnego na wykonanie zadania	196
4.4. Elektrofizjologiczne korelaty funkcji poznawczych – testowanie hipotezy H5 ...	207
5. Dyskusja.....	213
5.1. Podsumowanie wykonanych badań i uzyskanych zależności	213
5.2. Zmiany w funkcjonowaniu poznawczym zaobserwowane po treningu	217
5.2.1. Zmiany na poziomie behawioralnym	217
5.2.2. Zmiany na poziomie elektrofizjologicznym	225
5.2.2.1. Wpływ poziomu trudności zadania na wykonanie zadania Słuchowej pamięci roboczej – pomiar <i>pretest</i>	225
5.2.2.2. Procedura 1 – Słuchowa pamięć robocza	227
5.2.2.3. Wpływ poziomu trudności zadania na wykonanie zadania Porównywanie długości trwania bodźców słuchowych – pomiar <i>pretest</i>	231
5.2.2.4. Procedura 2 – Porównywanie długości trwania bodźców słuchowych	232
5.2.3. Stabilność efektów uzyskanych w wyniku przeprowadzonego treningu.....	235
5.2.4. Transfer poprawy	237
5.3. Ograniczenia przeprowadzonego badania i dalsze kierunki prac badawczych ..	239
5.4. Podsumowanie i wnioski	242
BIBLIOGRAFIA	244
ZAŁĄCZNIKI	280
SPIS PUBLIKACJI NAUKOWYCH	292

WYKAZ SKRÓTÓW

- CRUNCH** - ang. *Compensation-Related Utilization of Neural Circuits Hypothesis*
- CTT** – Kolorowy Test Połączeń
- CTT-1** – część pierwsza kolorowego Testu Połączeń
- CTT-2** – część druga Kolorowego Testu Połączeń
- DMN** – sieć stanu spoczynkowego (ang. *default mode network*)
- EEG** – badanie elektroencefalograficzne
- ERP** – potencjały wywołane związane ze zdarzeniem (ang. *Event-Related Potentials*)
- fMRI** – funkcjonalny rezonans magnetyczny
- GDS** - Geriatryczna Skala Depresji (ang. *Geriatric Depression Scale*)
- GUS** – Główny Urząd Statystyczny
- HAROLD** – ang. *Hemispheric Asymmetry Reduction in Older Adults*
- ICA** – analiza składowych niezależnych (ang. *Independent Component Analysis*)
- MCI** – łagodne zaburzenia poznawcze (ang. *mild cognitive impairment*)
- MMN** – potencjał niezgodności (ang. *Mismatch Negativity*)
- MMSE** – Krótka Skala Oceny Stanu Umysłowego (ang. *Minimental State Examination*)
- MRI** – rezonans magnetyczny
- PASA** – ang. *Posterior to Anterior Shift in Aging*
- PPK** – Próg Postrzegania Kolejności (ang. *Temporal-Order Threshold*)
- PPK-O** – Próg Postrzegania Kolejności w zadaniu obuusznym
- PPK-R** – Próg Postrzegania Kolejności w zadaniu rozdzielności
- PCC** – tylna kora zakrętu obręczy (ang. *posterior cingulate cortex*)
- PET** – pozytonowa tomografia emisyjna (ang. *positron emission tomography*)
- PFC** – kora przedczołowa (ang. *prefrontal cortex*)

PKB – produkt krajowy brutto

SDN – ang. *state dependent networks*

SLI – specyficzne zaburzenia językowe (ang. *Specific Language Impairment*)

SOA – interwał czasowy pomiędzy bodźcami (ang. *Stimulus Onset Asynchrony*)

SSP – Test Pojemności Pamięci Przestrzennej (ang. *Spatial Span*)

TAP – ang. *Test of Attentional Performance*

TED – ang. *Technology, Entertainment and Design*

TOL-F – Test Wieży Londyńskiej (ang. *Tower of London – Freiburg version*)

UTW – Uniwersytet Trzeciego Wieku

WAIS-R – Skala Inteligencji Wechslera dla Dorosłych

WHO – Światowa Organizacja Zdrowia (ang. *World Health Organization*)

STRESZCZENIE

W ostatnich latach postęp cywilizacyjny oraz poprawa jakości życia i opieki zdrowotnej powodują znaczący wzrost populacji osób w wieku senioralnym. Starzenie się obejmuje złożone i nieuniknione zmiany biologiczne, psychologiczne i funkcjonalne, które zachodzą w organizmie człowieka w miarę upływu czasu. Jednym z aspektów procesu starzenia jest starzenie poznawcze, które dotyczy pogorszenia funkcji poznawczych wraz z postępującym wiekiem i stanowi przedmiot niniejszej pracy.

Wobec wyżej wymienionych zmian istnieje rosnące zapotrzebowanie na interwencje mające na celu usprawnienie zdolności poznawczych seniorów. Wyniki dotychczas przeprowadzonych badań wskazują, że odpowiedni trening może poprawić funkcjonowanie poznawcze osób starszych, a w konsekwencji przyczynić się do opóźnienia starzenia poznawczego.

Celem niniejszej rozprawy doktorskiej była ocena efektywności programu treningowego *Dr Neuronowski*[®] w usprawnieniu poznawczym seniorów. Powyższy program opiera się na ćwiczeniu percepcji czasu, która wraz z wiekiem ulega pogorszeniu, co wykazały poprzednie publikacje. W badaniu testowano, czy trening poznawczy *Dr Neuronowski*[®] może usprawnić domeny poznawcze, takie jak: percepcja czasu, pamięć, uwaga, oraz funkcje wykonawcze, a także czy następują wówczas równoległe zmiany w działaniu sieci neuronalnej.

W badaniu wzięło udział 69 zdrowych seniorów, którzy zostali losowo podzieleni na 3 grupy: A – grupę eksperymentalną, która uczestniczyła w treningu poznawczym *Dr Neuronowski*[®] (n=25); B – grupę kontrolną aktywną, która uczestniczyła w treningu edukacyjnym (n=21); oraz C – grupę kontrolną nieaktywną, która nie brała udziału w żadnej interwencji treningowej (n=23). Grupy A oraz B wzięły udział w 24 sesjach treningowych (3 spotkania w tygodniu, 45 minut każde). Schemat przeprowadzonych badań uwzględniał trzy pomiary: pretest (przed rozpoczęciem treningu), posttest (po zakończeniu treningu w celu bezpośredniej oceny jego efektów) oraz pomiar odroczony (po upływie ok. 8 tygodni od zakończenia treningów w celu oceny trwałości uzyskanych zmian). Zastosowanie grupy kontrolnej nieaktywnej (C) miało na celu kontrolę efektu powtórzonego pomiaru w zastosowanych procedurach diagnostycznych.

Funkcje poznawcze badano za pomocą szeregu testów neuropsychologicznych. Dodatkowo, zastosowano procedury elektrofizjologiczne, których celem było poznanie

neurofizjologicznych mechanizmów leżących u podłoża zmian poznawczych obserwowanych po zastosowanej interwencji.

Wykazano, że trening poznawczy usprawnił percepcję czasu, pamięć krótkotrwałą werbalną i przestrzenną, zdolność planowania oraz kontrolę hamowania. Zmianom na poziomie behawioralnym towarzyszyły zmiany na poziomie neurofizjologicznym w działaniu sieci neuronalnej. Zaobserwowano obniżenie amplitud potencjału niezgodności oraz wskaźnika obciążenia poznawczego, które wskazują na sprawniejsze działanie sieci neuronalnej po zastosowanym treningu. Efekty uzyskane w badaniach behawioralnych były stabilne w czasie i utrzymywały się przez okres 2 miesięcy po zakończeniu interwencji.

Podsumowując, zaobserwowane zmiany sugerują, że zastosowany program treningowy *Dr Neuronowski*[®] z wbudowanym unikalnym komponentem percepcji czasu może stanowić skuteczną metodę usprawnienia funkcji poznawczych seniorów.

ABSTRACT

High developed and developing countries are witnessing a significant increase in the percentage of elderly people, due to the progress of civilization, improvements in quality of life, and healthcare. Human aging is a complex and inevitable process of biological, psychological, and functional changes that occur over time. One aspect of this is cognitive aging, which leads to the deterioration of cognitive functions as one gets older.

Hence, there is a growing demand for strategies and interventions aimed at improving the seniors life quality and supporting their cognitive abilities. Results from existing research indicate that appropriately structured cognitive training can be an effective method for enhancing cognitive abilities in the elderly, potentially delaying cognitive aging processes.

The objective of present study was to assess the effectiveness of the *Dr. Neuronowski*[®] as a method designed to enhance the cognitive functions of seniors. This training program focuses on improving time perception, which also deteriorates with advanced age. The study examined whether *Dr. Neuronowski*[®] could enhance various cognitive domains such as: temporal information processing, memory, attention, and executive functions and whether there are parallel changes in the neural network

69 healthy seniors participated in this study and were randomly divided into 3 groups: A - the experimental group that participated in the *Dr. Neuronowski*[®] cognitive training (n=25); B - the active control group that underwent educational training (n=21); and C - the nonactive control group that did not participate in any training (n=23). Groups A and B underwent 24 training sessions, each session lasting 45 minutes, with a frequency of 3 meetings per week. The study design included three diagnostic measures: a pretest (before training), a posttest (immediately after the training completion to assess the effects directly), and a follow-up assessment (approximately 8 weeks after the training completion in order to evaluate maintenance of obtained effects). The use of an nonactive control group C aimed to control the repeated measure effect in the diagnostic procedures.

Cognitive functions were examined using a number of neuropsychological tests. Additionally, electrophysiological procedures were used to understand the underlying neural mechanisms of the changes observed after the training.

It was found that cognitive training improved time perception, short-term verbal and spatial memory, planning ability, and inhibitory control among the seniors. These behavioral changes were accompanied by changes at the electrophysiological level. A decrease in the amplitudes of mismatch negativity potential and a mental workload index was observed, indicating improvements in neural network efficiency. The behavioral outcomes were stable over time and persisted for two months after the training completion.

In conclusion, the observed changes suggest that the *Dr. Neuronowski*[®] training program, based on its unique time perception component, can be an effective method for enhancing the cognitive functions of seniors.

1. WSTĘP

1.1. Starzejące się społeczeństwo w ujęciu wielowymiarowym

Jesteśmy starzejącym się społeczeństwem. To stwierdzenie w sposób bardzo skrótowy, ale jednocześnie wyjątkowo dosadny obrazuje zachodzące zmiany demograficzne. Od początku XIX w. obserwujemy ciągły postęp w zakresie rozwoju wiedzy medycznej a także metod leczenia. Poprawia się również standard życia, jakość spożywanych produktów, poziom edukacji oraz status społeczno-ekonomiczny. Wszystkie powyższe czynniki w bezpośredni sposób znacząco wydłużają oczekiwaną długość życia człowieka (Lindenberger, 2014). W efekcie obecne prognozy Światowej Organizacji Zdrowia (ang. *World Health Organization*, WHO) przewidują, że do 2050 roku liczba osób powyżej 60. roku życia podwoi się. Na tej podstawie szacuje się wzrost udziału seniorów w populacji światowej z 900 milionów (obecnie) do 2 miliardów (w 2050 r.). Powyższy trend obecnie jest w szczególności nasilony w krajach wysoko rozwiniętych (<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ageing-and-health>).

Wspomniane zależności obserwujemy także w Polsce. Prognozy Głównego Urzędu Statystycznego (GUS) przewidują podwojenie liczby osób w wieku senioralnym w latach 2018–2050. Oznacza to, że do 2050 roku osoby powyżej 60. roku życia będą stanowić 40% populacji Polski (GUS, 2021).

Chociaż powyższe zmiany obecnie charakteryzują się przyspieszoną dynamiką, są nadal naturalnym i nieodzownym elementem ludzkiego życia. Starzenie jest procesem nieuniknionym, a obecny trend starzejącego się społeczeństwa stawia nowe wyzwania, którym należy sprostać. Demograficzna tendencja do wydłużania życia generuje szereg ekonomicznych konsekwencji. Ze względu na nasilenie i nieodwracalność tego zjawiska, należy podjąć kroki, które pozwolą złagodzić społeczne i gospodarcze implikacje starzenia się społeczeństw. Jedną z metod profilaktycznych, która zwiększa szanse zdrowego starzenia, są treningi poznawcze.

1.2. Poznawcze starzenie

Poznawcze starzenie to związane z wiekiem zmiany, które zachodzą w funkcjonowaniu umysłowym człowieka. Termin ten bezpośrednio odnosi się do obserwowanego u osób starszych pogorszenia funkcji poznawczych o różnym poziomie nasilenia. Do opisu powyższych zmian w literaturze przedmiotu stosuje się także określenie „związane z wiekiem obniżenie funkcji poznawczych” (ang. *age-related cognitive decline*; Salthouse, 2009). Skorelowany z wiekiem spadek sprawności poznawczych jest zjawiskiem naturalnym i powszechnie obserwowanym (Lenehan i wsp., 2014).

W kontekście powyższych definicji, kluczowe jest rozgraniczenie pomiędzy zdrowym i tzw. patologicznym starzeniem. Granica ta nie jest jednoznaczna oraz dostarcza diagnostycznych trudności. W przypadku obu tych procesów nie obserwuje się jednolitych wzorców obserwowanych deficytów, które umożliwiłyby arbitralne zakwalifikowanie danej osoby do jednego z dwóch powyższych rodzajów starzenia. Byczewska-Konieczny (2017) na podstawie dotychczasowych badań definiuje związane z wiekiem zmiany w funkcjonowaniu poznawczym w kategoriach płynnego kontinuum, którego dwa krańce stanowią: zdrowe starzenie vs. otępienie jako efekt patologicznego starzenia. W związku istniejącymi trudnościami, istotne wydaje się zdefiniowanie obu rodzajów poznawczego starzenia. Zdrowe starzenie należy traktować jako pojawiające się z wiekiem subtelne obniżenie sprawności funkcji poznawczych, które nie ogranicza samodzielności ani niezależności osoby starszej. Natomiast patologiczne starzenie związane już jest z utratą sprawności poznawczej i może znacząco utrudnić samodzielnie funkcjonowanie oraz pogorszyć jakość życia.

Schaie (2004) zwraca uwagę na trudności natury metodologicznej, które występują w badaniach dotyczących starzenia poznawczego. Tradycja tychże badań związana jest z dwoma różnymi podejściami metodologicznymi: 1) strategią badań poprzecznych, które najczęściej pozwalają mierzyć nasilenie bądź rozpowszechnienie danej cechy w wybranym oknie czasu. Podejście to umożliwia porównanie grupy osób młodych z grupą osób starszych pod kątem sprawności funkcji poznawczych. 2) Strategią badań podłużnych, które poprzez dwu- lub kilkukrotny pomiar tej samej cechy w dłuższych odstępach czasu, pozwalają na precyzyjny pomiar zachodzących zmian. W odniesieniu do metodologii badań starzenia poznawczego, podejście podłużne wiąże się z możliwością obserwacji zachodzących zmian w funkcjonowaniu poznawczym, które pojawiają się wraz z wiekiem. Porównanie przez Schaie

(2004) tych dwóch podejść metodologicznych pozwala zauważyć znaczące różnice w otrzymanych wynikach: w podejściu badań poprzecznych obserwujemy stały i nasilający się regres funkcji poznawczych, natomiast podejście podłużne ukazuje łagodniejsze obniżenie sprawności poznawczej i swoistą dynamikę zmian zachodzących u jednostki. Powyższe porównanie podkreśla konieczność zastosowania odpowiedniej metodologii w zależności od charakteru prowadzonych badań.

1.2.1. Charakterystyka związanych z wiekiem deficytów poznawczych

Zjawisko poznawczego starzenia zostało dobrze udokumentowane – literatura przedmiotu jest bogata i szczegółowo opisuje pogorszenie funkcji poznawczych towarzyszące zdrowemu starzeniu się (Bopp i Verhaeghen, 2005; Drag i Bieliauskas, 2009; Harada i wsp., 2013; Lindenberger, 2014; Pettigrew i Soldan, 2019; Salthouse, 2010).

Pamięć

Jednym z najczęściej zgłaszanych przez seniorów objawów jest osłabienie pamięci. Szacuje się, że około 60% osób powyżej 65. roku życia odczuwa tego rodzaju deficyty (Krakowska i wsp., 2003). Steuden (2011) podaje, że proces starzenia istotnie pogarsza uczenie się i zapamiętywanie nowych informacji. Powyższe stwierdzenie jest bardzo ogólne, należy więc doprecyzować, że wpływ wieku ma charakter złożony i dotyka wielu mechanizmów pamięci. Wynika to z faktu, że pamięć można systematyzować na podstawie różnych kryteriów. Najczęstsze klasyfikacje dotyczą długości trwania śladów pamięciowych (Burgess i Hitch, 2006; Cowan, 2008; Norris, 2017) oraz rodzaju przechowywanych informacji (Brickman i Stern, 2009; Dew i Cabeza, 2011; Renault i wsp., 2019). W odniesieniu do czasu przechowywania śladów pamięciowych, możemy wyróżnić pamięć krótkotrwałą oraz długotrwałą (Daniluk i Szepietowska, 2011). Pamięć krótkotrwałą to zdolność do utrzymania ograniczonej ilości informacji w krótkim odcinku czasu. Natomiast pamięć długotrwałą definiujemy jako Nielimitowany magazyn informacji, które mogą być utrzymywane w pamięci przez bardzo długi okres czasu (Camina i Güell, 2017). Biorąc pod uwagę charakter nabywania informacji w obrębie pamięci długotrwałej Squire i Dede (2015) wyróżniają pamięć deklaratywną (zawierającą informacje dotyczące faktów i zdarzeń), a także pamięć niedeklaratywną (odnoszącą się do zbioru posiadanych umiejętności, które są wyrażane poprzez ich wykonanie). Dodatkowo należy wyróżnić pamięć roboczą, którą Baddeley (1992)

definiuje jako system zapewniający tymczasowo przechowywujący i aktywnie przetwarzający napływające informacje. Postuluje on również integrujący mechanizm pamięci roboczej pomiędzy innymi rodzajami pamięci, uwagą i percepcją (Baddeley, 1992).

Deficyty w zakresie pamięci dotyczą różnych jej aspektów. U osób w starszym wieku obserwuje się obniżenie sprawności pamięci roboczej (Basak i Verhaeghen, 2011; Bopp i Verhaeghen, 2005; Rhodes i Katz, 2017). W szczególności zaznacza się zmniejszenie pojemności pamięci roboczej (ang. *working memory capacity*; Hara i Naveh-Benjamin, 2015). Powyższą zależność potwierdziły badania neuroobrazowe – ich wyniki wskazały na związane z wiekiem różnice w zakresie aktywacji obszarów mózgu powiązanych z systemem pamięci roboczej u osób starszych w badaniach z zastosowaniem funkcjonalnego rezonansu magnetycznego (fMRI). Reuter-Lorenz i wsp. (2000) na podstawie przeprowadzonych badań z wykorzystaniem fMRI wykazali zmniejszoną funkcjonalną lateralizację mózgu i jednocześnie obustronne zaangażowanie obszarów czołowych w zadaniach związanych z pamięcią roboczą u osób starszych. Ponadto, wykryto aktywację nietypowych obszarów mózgu w zadaniach związanych z pamięcią roboczą. Wynik ten interpretuje się jako zaangażowanie dodatkowych zasobów, które zwiększa efektywność wykonywanego zadania. Mattay i współautorzy (2006) uzyskali podobne wyniki jak Reuter-Lorenz i wsp. (2000), wykazując wpływ dodatkowego czynnika, jakim jest trudność wykonywanego zadania. W przeprowadzonym badaniu zastosowano klasyczną procedurę oceniającą pamięć roboczą – zadanie *n*-wstecz (por. Podrozdział 3.2.2.1., str. 84). W stosunkowo mniej skomplikowanym i łatwiejszym zadaniu (1–wstecz) odnotowano zwiększone, obustronne zaangażowanie kory przedczołowej (ang. *prefrontal cortex*, PFC). Natomiast trudniejsze i bardziej wymagające warunki zadania (2–wstecz i 3–wstecz) ujawniły obniżoną aktywację kory przedczołowej. Powyższe zależności wskazują na różne wzorce aktywności mózgu w zależności od poziomu trudności zadania. Wynikom na poziomie neuroanatomicznym towarzyszyły podobne relacje na poziomie behawioralnym – wykazano istotnie niższą poprawność zadań w warunkach 2– i 3–wstecz w porównaniu do warunku 1–wstecz.

Kolejnym komponentem pamięci roboczej podatnym na wpływ wieku jest proces aktualizacji informacji (ang. *updating*; Linares i wsp., 2016). W przypadku badań elektroencefalograficznych (EEG) potencjał P300 uznaje się za neurofizjologiczny marker aktualizacji informacji w pamięci roboczej. Dotychczasowe badania ukazują obniżenie amplitudy potencjału P300 u osób starszych w porównaniu do młodych (Wild-Wall i wsp., 2011). Dodatkowo, przeprowadzone badania elektrofizjologiczne wykazały podobny kierunek

różnic w zadaniu typu *n*-wstecz, jak powyżej opisane eksperymenty z zastosowaniem fMRI. Lubitz i wsp. (2017) zaobserwowali zwiększoną amplitudę potencjału P300 w łatwiejszym zadaniu 1-wstecz w porównaniu do trudniejszego zadania 2-wstecz. W tym zadaniu obniżenie amplitudy wyjaśnia się w kategoriach relokacji zasobów: z procesów bezpośrednio związanych z oceną prezentowanego bodźca na procesy odpowiedzialne za sprostanie wymaganiom zadania związanego z pamięcią roboczą (Polich, 2007).

Jednym z rodzajów wyróżnionej powyżej pamięci deklaratywnej, jest pamięć epizodyczna. Można ją zdefiniować jako złożony system poznawczy, który pozwala rejestrować, przechowywać i wydobywać indywidualne doświadczenia. Zapamiętanym informacjom zawsze towarzyszy ich czasowy i przestrzenny kontekst (Tromp, 2015). Uważa się, że pamięć epizodyczna w największym stopniu, spośród wszystkich rodzajów pamięci deklaratywnej, jest podatna na wpływ wieku i ulega znacznemu osłabieniu u osób starszych (Nyberg i wsp., 2012). Dotychczasowe badania podłużne przedstawiają stosunkowo stabilny poziom pamięci epizodycznej i wskazują na jej pogorszenie u osób, które osiągnęły 60–65 rok życia. Wiek ten jest granicą, po przekroczeniu której obserwuje się obniżenie sprawności pamięci epizodycznej (Rönnlund i wsp., 2005). Wiele badań wskazuje na znacznie większe trudności osób starszych w zapamiętywaniu nowych informacji związanych z wydarzeniem czy też skojarzeń (Naveh-Benjamin i wsp., 2008). Powyższe zależności potwierdzają także badania neuroobrazowe. Murty i wsp. (2009) wykazali u osób w starszym wieku obniżone zaangażowanie hipokampu jako kluczowego obszaru mózgu odpowiedzialnego za formowanie się wspomnień. Należy podkreślić, że obserwowane pogorszenie w zakresie pamięci epizodycznej dotyczy przede wszystkim bieżących i aktualnych wydarzeń, a nie zdarzeń i wspomnień z przeszłości, które są dobrze zachowane (Burke i MacKay, 1997).

Uwaga

Związane z wiekiem deficyty zaznaczają się również w zakresie procesów uwagowych. Obserwuje się związany z wiekiem spadek w zakresie uwagi selektywnej – badania wskazują pogorszenie wykonania zadania przez osoby starsze przy wystąpieniu dodatkowego, nieistotnego bodźca, w przeciwieństwie do osób młodych, dla których pojawienie się takiego bodźca nie ma znaczącego wpływu na wykonanie zadania (Haring i wsp., 2013; Schmitz i wsp., 2010). Powyższą zależność obrazuje spowolnienie czasów reakcji u seniorów, gdy badanym prezentowano rozpraszające bodźce (Geerligns i wsp., 2012). Gazzaley i wsp. (2005) postulują dwa mechanizmy związane z uwagą selektywną: mechanizm tłumienia nieistotnej informacji (ang. *suppression of irrelevant information*) oraz mechanizm wzmacniania istotnej informacji

(ang. *enhancement of relevant information*). Stosując paradygmat badawczy angażujący pamięć roboczą, przeprowadzono eksperyment, w którym osoby badane były instruowane, które bodźce powinny zapamiętać, a które zignorować. Uzyskane wyniki wskazują, że osoby starsze miały trudności z tłumieniem informacji nieistotnych. Jednocześnie nie wykazano wpływu wieku na mechanizm wzmacniania informacji istotnej (Gazzaley i wsp., 2005; Gazzaley i wsp., 2008). Warto podkreślić, że obniżonej zdolności do tłumienia nieistotnych bodźców towarzyszyła obniżona pojemność pamięci roboczej (Gazzaley i wsp., 2008).

Wyraźne różnice związane z wiekiem obserwuje się również w przypadku podzielności uwagi – osoby starsze mają trudności z jednoczesnym wykonaniem dwóch lub więcej zadań angażujących procesy poznawcze (Kołodziejczyk, 2007). Treder i Jodzio (2013) wykazali również skorelowane z wiekiem deficyty w zakresie elastycznego przełączania uwagi pomiędzy rozwiązywanymi zadaniami.

Należy także zwrócić uwagę na rolę czasu reakcji w procesach uwagowych. Czas reakcji można zdefiniować jako czas niezbędny do detekcji występującego bodźca, jednocześnie generujący pobudzenie oraz wpływający na zdolność do percepcji prezentowanego bodźca (Commodari i Guarnera, 2007). Dotychczasowe badania wskazują na wydłużony czas reakcji u osób starszych w porównaniu do osób młodszych (Kaneko i wsp., 2021). Goodman i wsp., (2020) wykazali, że swoiste spowolnienie reakcji u osób starszych występuje niezależnie od modalności prezentowanego bodźca.

Corbetta i Schulman (2002) przedstawili model uwagi uwzględniający dwa różne mechanizmy: uwagę wolicjonalną oraz uwagę mimowolną. Uwaga wolicjonalna jest kształtowana poprzez tzw. mechanizm *góra–dół* (ang. *top–down*), który polega na celowym ukierunkowaniu uwagi na określony bodziec. Jest to zainicjowany wewnętrznie proces, w ramach którego informacje są aktywnie poszukiwane w otoczeniu na podstawie dobrowolnie wybranych czynników (Katsuki i Constantinidis, 2014). Uwaga mimowolna jest natomiast związana jest z tzw. mechanizmem *dół–góra* (ang. *bottom-up*), który z kolei jest zewnętrznym zaindukowanym procesem – automatycznie przetwarzane są najbardziej wyraziste czy wyróżniające się w otoczeniu bodźce (Corbetta i Schulman, 2002; Katsuki i Constantinidis, 2014). Badania wskazują, że oddziaływanie wieku na wymienione mechanizmy uwagi jest zróżnicowane. W literaturze przedmiotu wskazuje się na odmienny wpływ wieku na mechanizm *góra–dół*. Gajewski i wsp., (2010) wykazali jego pogorszenie u osób starszych w porównaniu do osób młodych, natomiast Schmitt i wsp. (2014) zanegowali występowanie zmian związanych z wiekiem i ewentualną deteriorację mechanizmu *góra–dół*. Należy podkreślić, że badania

z użyciem potencjałów wywołanych (ang. *Event Related Potentials*, ERP; por. Metoda 3.2.2., str. 84) dowiodły, że osoby starsze, aby sprostać wymogom zadania, bardziej angażują mechanizmy uwagi *góra–dół* w porównaniu do osób młodych (Staub i wsp., 2015). W odniesieniu do mechanizmu *dół–góra* wyniki są spójne i jasno wykazują jego pogorszenie u seniorów (Zhuravleva i wsp., 2014). Badania podłużne przeprowadzone przez Açık i wsp. (2010) potwierdziły powyższe wyniki. Autorzy dodatkowo zwrócili uwagę, że seniorzy, w porównaniu od osób młodych, bardziej polegają mechanizmie *góra–dół* niż *dół–góra*. Swoista zmiana relacji pomiędzy dwoma mechanizmami uwagi na przestrzeni życia może się wiązać z obniżeniem funkcjonowania na poziomie sensorycznym (Madden i wsp., 2005).

Funkcje wykonawcze

Zmiany związane z wiekiem obserwowane są również w przypadku funkcji wykonawczych. Używając ogólnikowego stwierdzenia, Cohen (2004) określił, że funkcje wykonawcze obejmują szeroko rozumiane procesy kontroli. Należy sprecyzować, że funkcje wykonawcze nie są jednolitym konstruktem i obejmują takie procesy składowe, jak: planowanie, koordynowanie, sekwencjonowanie, podejmowanie decyzji oraz monitorowanie innych procesów poznawczych (Salthouse, 2005). Interesujący model funkcji wykonawczych zaproponował Miyake i wsp. (2000). Obejmuje on: aktualizację (ang. *updating*), hamowanie (ang. *inhibition*) oraz przerzutność (ang. *shifting*). Według tego modelu aktualizacja to proces bieżącego monitorowania i adekwatnego zmieniania informacji w pamięci roboczej. Hamowanie rozumiane jest jako mechanizm blokujący bodźce bądź dystraktory, których ekspozycja mogłyby zainicjować reakcję konkurencyjną w stosunku do aktualnie wykonywanego zadania. Z kolei przerzutność definiowana jest w kategoriach elastyczności poznawczej, czyli zdolności swobodnego przełączania się pomiędzy różnymi zadaniami.

Dotychczasowe badania jasno wskazują na towarzyszące seniorom trudności w zakresie różnych składowych funkcji wykonawczych w porównaniu do ludzi młodych. Badania Allain'a i wsp. (2005), które koncentrują się na globalnym aspekcie funkcji wykonawczych, wykazały, że osoby starsze demonstrują większe trudności w porównaniu do osób młodych w zadaniach wymagających kompleksowego planowania przy jednocześnie zmieniających się warunkach zadania. Również Crawford i współpracownicy (2000), stosując Test Sortowania Kart z Wisconsin, zaobserwowali u osób starszych mniej efektywne planowanie, uznając ten aspekt funkcji wykonawczych szczególnie podatny na wpływ wieku.

W odniesieniu do poszczególnych procesów wchodzących w skład funkcji wykonawczych, warto również podkreślić pewną niejednorodność i selektywne pogarszanie się niektórych procesów składowych. W literaturze przedmiotu podkreśla się deficyty związane z wiekiem w zakresie hamowania. Procesy hamowania stają się mniej efektywne u osób starszych w porównaniu do osób młodych (Persad i wsp., 2002). Należy także podkreślić, że seniorzy przejawiają tendencję do hamowania bodźców nieistotnych (Hartman i Dusek, 1994). Jednocześnie, w przypadku zadań wymagających elastycznego przełączania, nie obserwuje się deficytów u osób starszych (Plumet i wsp., 2005; Wecker i wsp., 2000).

Opisanym powyżej deficytom towarzyszą obserwowalne zmiany na poziomie neuronalnym. Wykorzystując techniki neuroobrazowe, badacze wielokrotnie raportowali charakterystyczny wzorec aktywności mózgowej u osób starszych w trakcie zadań angażujących funkcje wykonawcze. U seniorów obserwuje się zwiększone i obustronne zaangażowanie bocznych rejonów kory przedczołowej (PFC; Jonides i wsp., 2000; Townsend i wsp., 2006). Powyższa zależność może odzwierciedlać zwiększone zaangażowanie funkcji wykonawczych w aktualnie realizowanym zadaniu, które spowodowane jest obniżającą się wraz z wiekiem automatyzacją procesów poznawczych (Davis i wsp., 2008).

1.2.2. Teorie wyjaśniające starzenie poznawcze

Literatura przedmiotu wyróżnia wiele teorii dotyczących poznawczego starzenia. Z uwagi na obszerność zagadnienia, poniższy podrozdział uwzględnia wyłącznie wiodące modele, które odnoszą się do tematyki mojej pracy doktorskiej. Proponowane teorie można podzielić na dwie grupy:

- 1) Behawioralne modele starzenia – skupiają się na występującym wraz z wiekiem pogorszeniu funkcjonowania poznawczego; opierają się w głównej mierze na dotychczas zebranych danych behawioralnych. Modele szeroko omawiane w literaturze przedmiotu to m.in.: tempo przetwarzania informacji, hipoteza ograniczonego hamowania, hipoteza deficytu sensorycznego, teoria selektywnej optymalizacji z kompensacją.
- 2) Mózgowe modele starzenia – oparte na wynikach wieloletnich badań neuroobrazowych nad starzeniem poznawczym; skupiają się na wyjaśnianiu obserwowanych wzorców aktywacji mózgowych charakterystycznych dla osób w podeszłym wieku w porównaniu

do obserwowanych u osób młodych. Literatura przedmiotu wyczerpująco opisuje m.in.: mechanizm kompensacji, stanowiący podstawę teorii: HAROLD, PASA, CRUNCH, STAC; hipotezę dedyferencjacji, hipotezę starzenia płatów czołowych.

W dalszym opisie skoncentrowano się wyłącznie na modelach, na których skupiają się hipotezy testowane w niniejszej pracy doktorskiej.

Modele behawioralne

Tempo przetwarzania informacji (Processing-Speed Theory)

Jednym z modeli wyjaśniających zjawisko starzenia poznawczego jest hipoteza spowolnienia, czyli obniżenia tempa przetwarzania informacji autorstwa Salthouse'a (1991, 1996). Zgodnie z jego koncepcją, wszystkie operacje umysłowe są uzależnione od nadrzędnych procesów opracowywania informacji, a więc efektywność specyficznych procesów poznawczych jest zależna od ogólnego tempa przetwarzania informacji. Według Salthouse'a (2000) wraz z wiekiem szybkość opracowywania informacji obniża się, stając się mniej wydajną, co z kolei wtórnie powoduje obserwowane u seniorów obniżenie w zakresie wielu różnych funkcji poznawczych. Zakłada się, że ogólne spowolnienie tempa przetwarzania informacji jest główną przyczyną zmian związanych z wiekiem i występującej u osób starszych deterioracji poznawczej.

Powyższy model uwzględnia dwa mechanizmy: mechanizm ograniczonego czasu (ang. *limited time mechanism*) oraz mechanizm równoczesności (ang. *simultaneity mechanism*; Salthouse, 1996). Pierwszy mechanizm odnosi się do zadań, których wykonanie jest ograniczone w czasie. Jeżeli procesy poznawcze przebiegają w zbyt wolnym tempie, nie zostaną ukończone w czasie przeznaczonym na wykonanie zadania, który jest ograniczony. U osób starszych działanie mechanizmu ograniczonego czasu najłatwiej można zaobserwować w przypadku złożonych zadań, w których wykonanie kolejnych operacji jest zależne od ukończenia poprzednich. W takim przypadku mechanizm ograniczonego czasu powoduje, że ze względu na limit czasu odpowiednio szybko wykonane zostają wyłącznie początkowe elementy zadania, natomiast wykonanie kolejnych jest niemożliwe lub bardzo utrudnione (Byczewska-Konieczny, 2017). Z kolei mechanizm równoczesności związany jest z hipotezą, zgodnie z którą, część procesów poznawczych może być realizowana wyłącznie w krótkim odcinku czasu, po upływie którego, procesy te rozpadają się i zanikają. W sytuacji, w której równocześnie zostają zaangażowane dwa procesy, jeden z nich może bezpowrotnie ulec wygaszeniu. Uniemożliwia to adekwatne wykonanie całego zadania (Kołodziejczyk, 2007).

Hipoteza ograniczonego hamowania (Inhibitory Deficit Hypothesis)

Hasher i Zacks (1988) zaproponowali model poznawczego starzenia opierający się na deficytach związanych z procesami hamowania. Na gruncie teoretycznym podstawę tej teorii stanowi koncepcja, że efektywna regulacja procesów uwagi stanowi podstawę szerokiego spektrum innych procesów poznawczych. Zgodnie z tym poglądem, na aktywność poznawczą składają się trzy komponenty: wzbudzenie, hamowanie oraz cel (Hasher, 2016). W związku z tym, model ten bazuje na założeniu, że w pełni efektywne procesy poznawcze wymagają zdolności do ograniczenia napływu informacji z otoczenia wyłączenie do informacji kluczowych i niezbędnych do wykonania zadania. Na podstawie przeprowadzonych badań, autorzy wyróżnili trzy funkcje kontrolujące hamowanie: dostęp (ang. *access*), usunięcie (ang. *deletion*) oraz tłumienie (ang. *restraint*; Hasher i wsp., 1999). Funkcja dostępu wygasza bieżące i nieistotne informacje, umożliwiając w ten sposób przejęcie dominującej roli przez informacje niezbędne do osiągnięcia celu. Z kolei funkcja usunięcia wygasza informacje, które przestały być istotne z punktu widzenia realizowanych założeń. Co więcej, przełączenie się na inne zadanie automatycznie aktywuje tę funkcję. Natomiast funkcja tłumienia krótkotrwale wstrzymuje reakcje, aby w pierwszej kolejności ocenić, która reakcja jest najbardziej trafna. Przeprowadzone dotychczas badania wskazują, że osoby z obniżoną kontrolą hamowania są wysoce podatne na rozproszenie oraz preferują wykonanie dobrze wyuczonych odpowiedzi zamiast unikalnych czy nieszablonowych reakcji (Lustig i wsp., 2007). Lindenberger i Mayr (2014) zwracają uwagę, że osoby z deficytem hamowania częściej kierują się wskazówkami płynącymi z otoczenia zamiast odnieść się do faktycznego celu zadania.

Mózgowe modele starzenia

Mechanizmy kompensacji

Dotychczas zebrane dane neuroobrazowe pozwalają zauważyć pewne charakterystyczne zmiany związane z wiekiem w zakresie reorganizacji funkcji poznawczych u osób starszych. Jedną z tych zmian jest kompensacja. Termin ten odnosi się do zwiększonego zaangażowania zasobów neuronalnych w celu sprostania poznawczym wymogom zadania. W badaniach funkcjonalnych mózgu kompensację opisuje się jako sytuację, w której osoba starsza wykazuje zwiększoną lub rozszerzoną aktywność mózgu w porównaniu do osoby młodej (Cabeza i wsp., 2018). Mechanizm kompensacji stanowi podstawę następujących teorii starzenia poznawczego: HAROLD, PASA oraz CRUNCH.

1) *HAROLD*

Jednym z najwcześniej opisanych mechanizmów starzenia poznawczego jest koncepcja redukcji asymetrii półkulowej (ang. *Hemispheric Asymmetry Reduction in Older Adults – HAROLD*; Cabeza i wsp., 1997). Wyniki wielu funkcjonalnych badań neuroobrazowych ujawniły pewien charakterystyczny wzorzec – u osób starszych, w porównaniu do osób młodych, obserwuje się zmniejszenie funkcjonalnej lateralizacji kory przedczołowej. Zredukowana asymetria półkulowa polega na dodatkowych aktywacjach rejonów kontralateralnych (tj. w przeciwległej półkuli) w odniesieniu do obszarów, które są pierwotnie zaangażowane w wykonywanie określonych procesów poznawczych (Cabeza i wsp., 2002; Li, 2009). Obserwowana aktywność wspomnianych kontralateralnych obszarów mózgu interpretowana jest jako wykorzystanie dodatkowych zasobów poznawczych w celu sprostanienia wymogom zadania. Logan i wsp. (2002), prowadząc badania dotyczące uczenia się listy słów, wykazali że stosowanie przez osoby starsze strategii ułatwiającej zapamiętywanie bodźców nie zmienia wzorca aktywności mózgowej. U seniorów nadal obserwowano zwiększoną obustronną aktywację obszarów kory przedczołowej. Powyższy wynik potwierdza założenie, że model HAROLD nie jest alternatywną strategią poznawczą, a związaną z wiekiem zmianą w architekturze neuronalnej mózgu. Na podstawie przeprowadzonych badań, Berlingeri i wsp. (2009) konkludują, że model HAROLD jest wartościową hipotezą, jednak nie ujmuje w swoich założeniach złożoności procesu starzenia poznawczego. Krytyka tego modelu kładzie nacisk między innymi na fakt, że zredukowana asymetria półkulowa wykracza poza obszary kory przedczołowej. Co więcej, niektóre wzorce aktywności mózgowej obserwowane w modelu HAROLD nie znajdują potwierdzenia w badaniach czynnościowych. Podkreśla się również fakt, że u osób starszych nadal obserwuje się występowanie funkcjonalnej lateralizacji mózgu (Berlingeri i wsp., 2009).

2) *PASA*

Kolejną koncepcją wyjaśniającą związane z wiekiem zmiany poznawcze jest model PASA (ang. *Posterior to Anterior Shift in Aging*). Po raz pierwszy został on opisany przez Grady’ego i wsp. (1994) w ramach badań nad przetwarzaniem informacji wzrokowej. Zidentyfikowali oni zwiększoną aktywność kory przedczołowej przy jednocześnie zredukowanej aktywności kory wzrokowej u osób starszych w porównaniu do osób młodych (Davis i wsp., 2008). Powyższa zależność, a więc zaangażowanie dodatkowych obszarów czołowych, zostało zinterpretowane jako mechanizm kompensujący deficyty w zakresie przetwarzania sensorycznego w okolicach potyliczno–skroniowych (Grady i wsp., 1994; Davis i wsp., 2008). Dennis i Cabeza (2008)

wyjaśniają działanie powyższego modelu jako mechanizmu, w którym procesy podlegające w większym stopniu kontroli i angażujące rejony kory przedczołowej kompensują deficyty występujące w zakresie procesów sensorycznych. Davis i wsp. (2008) podkreślają, że szereg badań wskazuje na występowanie wzorca PASA w przypadku różnych funkcji poznawczych (np. uwagi czy pamięci roboczej).

3) *CRUNCH*

Bardziej uogólniony model starzenia uwzględnia hipoteza CRUNCH (ang. *Compensation-Related Utilization of Neural Circuits Hypothesis*). Termin ten odnosi się do relacji pomiędzy zwiększoną aktywnością neuronalną a wydajnością poznawczą. Model CRUNCH zakłada, że związane ze starzeniem obniżenie efektywności procesów poznawczych wymaga zaangażowania zwiększonych zasobów neuronalnych, co z kolei pozwala na osiągnięcie przez osoby starsze wyników zbliżonych do osób młodych (Reuter-Lorenz i Cappell, 2008). Powyższy proces uwidacznia się u osób starszych podwyższoną aktywnością poszczególnych obszarów mózgu, a w szczególności kory przedczołowej (Zajac-Lamparska, 2018). Mechanizm CRUNCH tłumaczy obserwowane w badaniach neuroobrazowych wzmożone oraz obniżone aktywacje określonych obszarów kory mózgowej u osób starszych (Reuter-Lorenz i Cappell, 2008). Zgodnie z tym modelem, wzorec zwiększonej aktywności pojawia się w zadaniach łatwych oraz średniotrudnych. Ponieważ osoby starsze szybciej osiągają pułap swoich poznawczych możliwości w porównaniu do osób młodych, angażują one większe zasoby neuronalne w wykonanie takiego samego zadania. W ten sposób, niezależne od wieku, mechanizm kompensacji umożliwia seniorom wykonanie zadania na równoważnym poziomie w stosunku do osób młodych. Powyższą zależność interpretuje się jako strategię lub neuronalną adaptację kompensującą występujące deficyty przetwarzania zaangażowanych w zadanie obszarów mózgu (Kronovsek i wsp., 2021). W przypadku zadań trudnych o zwiększonym obciążeniu poznawczym, obserwuje się wzorec obniżonej aktywności i gorszego wykonania zadania na poziomie behawioralnym przez osoby starsze w porównaniu do młodych, co pozwala wnioskować, że mechanizm kompensacji nie jest już efektywny (Jamadar, 2020). Berlinger i wsp. (2009) uznają model CRUNCH za hipotezę dostarczającą większą ilość danych potwierdzających jej założenia w porównaniu do modelu HAROLD.

Hipoteza dedyferencji

Alternatywny model starzenia poznawczego przedstawia hipoteza dedyferencji, zgodnie z którą wraz z wiekiem odpowiedzi mózgu stają się mniej wyspecjalizowane. W konsekwencji

w trakcie badań neuroobrazowych obserwuje się mniej wybiórcze i bardzo podobne wzorce aktywności mózgu w trakcie różnych procesów poznawczych (Podell i wsp., 2012). Mechanizm dedyferencjacji, nazywany również mechanizmem „nierozróżnialności” (Jodzio, 2012), pozwala skompensować związane z wiekiem deficyty i sprostać wymogom zadania. Dedyferencjację obserwuje się w sytuacjach, gdy w trakcie wykonywania zadania poznawczego angażowane są coraz liczniejsze, często niespecyficzne obszary mózgu. Dolcos i wsp. (2002). zwracają uwagę, że w trakcie rozwoju dziecka następuje stopniowe wyspecjalizowanie funkcji poznawczych, natomiast w trakcie poznawczego starzenia poszczególne funkcje poznawcze ponownie są zależne od podobnych zasobów wykonawczych. Innymi słowy w poznawczym starzeniu obserwujemy proces funkcjonalnego zubożenia, który jest odwróceniem procesu funkcjonalnego różnicowania procesów poznawczych w okresie dzieciństwa (Baltes i Lindenberger, 1997; Dolcos i wsp., 2002).

Z punktu widzenia niniejszej rozprawy doktorskiej i w świetle uzyskanych wyników, najbardziej interesujące i adekwatne wydają się mózgowe modele starzenia poznawczego, a przede wszystkim modele bazujące na mechanizmie kompensacji. Interesujące wydaje się również uwzględnienie w powyższym modelu kompensacyjnym opisanych powyżej modeli behawioralnych, a w szczególności teorię tempa przetwarzania informacji. Połączenie kilku modeli teoretycznych stwarza możliwość kompleksowego opisu zmian zaobserwowanych w przeprowadzonych przeze mnie badaniach.

1.2.3. Predyktory pomyślnego starzenia poznawczego

Rowe i Kahn (1987) wprowadzili termin pomyślnego starzenia poznawczego (ang. *successful aging*), odróżniając powyższy proces od normatywnego starzenia poznawczego (ang. *normal aging*). Autorzy w swojej pracy wymienili trzy komponenty składające się na pomyślne starzenie poznawcze: 1) niskie prawdopodobieństwo wystąpienia choroby lub niepełnosprawności; 2) wysokie zdolności poznawcze oraz możliwości fizyczne; 3) wysoka aktywność życiowa i zaangażowanie w relacje społeczne (Rowe i Kahn, 1987).

Whitley wraz ze współpracownikami (2016) opublikowała pracę, w której analizowano, czy model pomyślnego starzenia zaproponowany przez Rowe’a i Kahn’a jest zgodny z indywidualnymi odczuciami osób starszych na temat ich zdrowia i wieku. Uzyskane wyniki pozwoliły stwierdzić, że model Rowe-Kahn’a dostarcza obiektywnych miar pomyślnego

starzenia poznawczego, które są powiązane z subiektywną oceną zdrowia i satysfakcji z życia. Metaanaliza przeprowadzona przez Teater i Chonody (2020), obejmująca 22 artykuły, miała na celu zdefiniowanie pomyślnego starzenia poprzez pryzmat osób starszych. W efekcie wyróżniono dwanaście głównych czynników, które przez seniorów identyfikowane są jako przejawy pomyślnego starzenia. Do najważniejszych z nich należą: relacje społeczne, pozytywne nastawienie do życia, zdrowie, zaangażowanie w życie codzienne, bezpieczeństwo finansowe, niezależność, zdrowie poznawcze i fizyczne.

Wiele dotychczas przeprowadzonych badań skupiało się na analizowaniu i dokładnym wyodrębnianiu poszczególnych czynników powiązanych z pomyślnym starzeniem. Na ich podstawie możemy wyróżnić szereg predyktorów tego procesu, które zostały scharakteryzowane poniżej.

Wyższe wykształcenie (ang. *better education*) uznawane jest za istotny czynnik chroniący. Badania wskazują, że seniorzy z niskim poziomem wykształcenia, obejmującym maksymalnie 8 lat edukacji, są narażeni na znacznie szybszy rozwój deficytów poznawczych (Tucker-Drob i wsp., 2009). Stern (2009) podaje, że wyższe wykształcenie należy uznać za element rezerwy poznawczej (ang. *cognitive reserve*), którą można zdefiniować jako indywidualne zasoby, umiejętności i strategie umysłowe, umożliwiające skuteczną realizację złożonych zadań poznawczych, pomimo wykrytej patologii mózgowej (Szepietowska, 2009). Badania przeprowadzone przez Jonaitis'a i wsp. (2013) wskazują, że wysoki poziom wykształcenia, a więc wysoka rezerwa poznawcza, jest istotnym czynnikiem opóźniającym wystąpienie klinicznie istotnych symptomów choroby Alzheimera. Dodatkowo, wyniki jednego z najnowszych badań pozwalają wnioskować, że wysoki poziom edukacji uzyskany w młodym wieku jest czynnikiem protekcyjnym w kontekście starzenia poznawczego i opóźnia pogorszenie funkcji poznawczych występujące w procesie zdrowego starzenia (Chen i wsp., 2019). Według Barczak (2014) za rezerwę poznawczą można uznać zbiór wszelkich doświadczeń z toku życia jednostki, a więc wszystkie stymulujące bodźce dostarczane układowi nerwowemu na przestrzeni życia człowieka. Należy nadmienić, że mechanizm rezerwy poznawczej jest procesem elastycznym, a wprowadzenie dodatkowych bodźców pozwala zwiększyć oraz wzmocnić rezerwę poznawczą (Barczak, 2014).

Kolejnym istotnym aspektem jest wysoka aktywność poznawcza, która również ma działanie prewencyjne. Dane literaturowe wykazały, że udział w aktywnościach angażujących poznawczo zmniejsza ryzyko wystąpienia łagodnych zaburzeń poznawczych (ang. *mild cognitive impairment*, MCI; Jedrzejewski i wsp., 2014). Warto podkreślić, że częste

zaangażowanie w hobby i rozwijanie zainteresowań takich jak: czytanie, puzzle czy gry planszowe również redukują ryzyko wystąpienia demencji pod warunkiem, że zajęcia te zajmują przynajmniej sześć godzin w tygodniu (Hughes i wsp., 2010). Osobną kategorię stanowi udział w treningach poznawczych, które również stanowią istotny element prewencji w kontekście zdrowego starzenia (Kelly i wsp., 2014; Valenzuela i Sachdev, 2009; Walton i wsp., 2005). Zagadnienie to zostało szeroko omówione w dalszej części niniejszej rozprawy w Podrozdziale 1.3. (str. 33). Inne badania, przeprowadzone w tzw. paradygmacie *dual change score model* (McArdle i wsp., 2002), miały na celu analizę kolejności związków przyczynowo-skutkowych. Ghislett wraz z zespołem (2006) starali się odpowiedzieć na pytanie, czy zmiany w podejmowanych aktywnościach poznawczych prowadzą do zmian w zakresie funkcjonowania poznawczego, czy wręcz odwrotnie: konsekwencją zmian funkcji poznawczych jest zmiana aktywności poznawczych. Otrzymane rezultaty wskazały, że aktywności poznawcze takie jak słuchanie radia, granie w gry planszowe czy rozwiązywanie krzyżówek są związane z mniejszym pogorszeniem w zakresie szybkości postrzegania (ang. *perceptual speed*). Na podstawie uzyskanych wyników autorzy wnioskuje o kierunku przyczynowości: to właśnie wyższe zaangażowanie w aktywności poznawcze redukuje obniżenie sprawności funkcji poznawczych (Ghislett, 2006). Szepietowska (2009) również podkreśla ogromne znaczenie podejmowania aktywności poznawczej jako czynnika wspierającego proces neurogenezy. Neurogeneza wspomagana aktywnością poznawczą u osób dorosłych może być powiązana z uczeniem się zależnym od hipokampa (Klempin i Kempermann, 2007). Poza aktywnością poznawczą, równie istotne jest zaangażowanie w życie, rozumiane jako podejmowanie celowych działań nakierowanych na produktywność, dostarczających satysfakcji i umożliwiających realizowanie planów i marzeń. Zgodnie z przeglądem literatury przedmiotu wykonanym przez Ryff i współpracowników (2016), starsze osoby utrzymujące wysokie zaangażowanie w życie doświadczają szeregu korzyści, przede wszystkim żyją dłużej i rzadziej zapadają na choroby.

Równie ważnym elementem, stanowiącym czynnik protekcyjny w zdrowym starzeniu, jest aktywność socjalna i zaangażowanie w relacje społeczne. Dotychczas przeprowadzone badania wskazały na istotne powiązanie pomiędzy siecią wsparcia społecznego, a korzyściami zdrowotnymi u osób starszych (Cornwell i Laumann, 2015). Szereg badań podkreśla znaczenie zaangażowania społecznego na przestrzeni życia jako czynnika związanego z lepszym funkcjonowaniem poznawczym oraz obniżającego ryzyko wystąpienia choroby Alzheimera (Bennet i wsp., 2006; Litwin i Stoeckel, 2016; Wang i wsp., 2013). Bourassa i jego zespół

(2017) wykonali interesujące analizy w badaniu podłużnym, w którym wzięło udział prawie dwadzieścia tysięcy badanych różnych narodowości. Autorzy starali się odpowiedzieć na pytanie, czy na podstawie poziomu aktywności społecznej można przewidzieć poziom funkcjonowania poznawczego w zakresie pamięci oraz funkcji wykonawczych u osób starszych. Opierając się na uzyskanych wynikach, stwierdzono, że wyższy poziom aktywności społecznej jest powiązany z wyższym poziomem obu analizowanych funkcji poznawczych. Dodatkowo, autorzy uznali, że aktywność socjalna jest równie skutecznym predyktorem starzenia poznawczego jak np. zdrowie fizyczne. Litwin (2006) podkreśla znaczenie różnic międzykulturowych w zakresie wsparcia społecznego. Zaobserwowano, że np. w Kanadzie wsparcie ze strony partnerów życiowych i przyjaciół jest najbardziej powiązane z dobrym samopoczuciem osób starszych, natomiast w krajach latynoamerykańskich to wsparcie ze strony rodziny kojarzone jest z lepszym zdrowiem (Bélange i wsp., 2016).

Podsumowując, istnieje szereg czynników mogących wpłynąć na przebieg procesów starzenia poznawczego, a co za tym idzie również na jakość życia seniorów. Wiele z tych predyktorów jest modyfikowalnych i można je wprowadzić na każdym etapie życia. Zalicza się do nich m.in. aktywność poznawczą czy też aktywność społeczną. Na ogromną rolę opisanych powyżej czynników protekcyjnych zwraca uwagę również Barczak (2014), podkreślając, że wprowadzenie zdrowych nawyków i zmiana stylu życia na szeroką skalę wśród seniorów może się przyczynić do zmniejszenia rozpowszechnienia chorób otępiennych.

1.2.4. Kontekst społeczno-ekonomiczny

W Podrozdziale 1.1. (str. 17) zwrócono uwagę na obecnie obserwowany charakter zmian demograficznych zachodzących także w Polsce. Należy zauważyć, że starzejące się społeczeństwo niesie za sobą również szereg konsekwencji gospodarczych. Wesołowska (2015) wymienia najistotniejsze ekonomiczne skutki starzenia się polskiego społeczeństwa:

1. Spadek liczby osób w wieku produkcyjnym, a w konsekwencji obniżenie aktywności zawodowej Polaków.
2. Spowolnienie tempa wzrostu produktu krajowego brutto (PKB) ze względu na zmniejszenie się liczby osób aktywnych na rynku pracy.
3. Istotny wzrost kosztów w sektorze opieki zdrowotnej, ponieważ stale przyrastająca liczba osób starszych generuje koszty leczenia oraz opieki medycznej.

4. Wzrost populacji osób starszych w stosunku do zmniejszającej się liczby młodych pracujących doprowadza do niewydolności systemu emerytalnego oraz systemu świadczeń socjalnych.

Powyższa problematyka została przedstawiona w sposób bardzo skrótowy ze względu na poboczny charakter w stosunku do głównego zagadnienia poruszanego w niniejszej rozprawie doktorskiej. Jednak zwrócenie uwagi na kontekst ekonomiczny starzejącego się społeczeństwa podkreśla znaczenie i konieczność wdrażania wszelkich metod usprawniających seniorów, a takie możliwości oferują treningi poznawcze. Stanowią one narzędzie, które bezpośrednio przyczynia się do poprawy funkcji poznawczych osób starszych. Jednocześnie, pośrednio, treningi poznawcze mogą w pewien sposób przeciwdziałać ekonomicznym konsekwencjom starzejącego się społeczeństwa. Seniorzy, którzy dłużej zachowują samodzielność i autonomię, generują mniej kosztów w sektorze zdrowotnym.

1.3. Treningi poznawcze

1.3.1. Trening poznawczy vs. rehabilitacja poznawcza – definicja pojęć

W literaturze przedmiotu pojęcia takie jak *aktywność poznawcza* czy *ćwiczenia umysłowe* są stosowane zamiennie jako niespecyficzne określenia różnego rodzaju interwencji poznawczych. W związku z tym Clare i Woods (2003) wyróżnili dwa rodzaje możliwych oddziaływań na procesy poznawcze: *trening poznawczy* oraz *rehabilitację poznawczą*. *Trening poznawczy* został przez nich opisany jako określony zestaw ćwiczeń angażujących wybrane funkcje poznawcze. U podstaw zdefiniowanego przez nich *treningu poznawczego* leży założenie, że ma on na celu usprawnić funkcje poznawcze lub utrzymać ich stały poziom. Dodatkowo, zakłada się wystąpienie transferu poprawy poza kontekst danej sytuacji ćwiczeniowej. Z kolei *rehabilitacja poznawcza* została określona jako bardziej zindywidualizowane podejście treningowe, w ramach którego pacjent, jego rodzina oraz pracownicy ochrony zdrowia we współpracy starają się określić cele istotne z punktu widzenia danego pacjenta oraz opracować odpowiednie strategie terapii umożliwiające ich realizację (Wilson, 2002).

Powyższe rozróżnienie jasno wskazuje, że celem *rehabilitacji poznawczej* jest poprawa funkcjonowania pacjenta w kontekście codziennych, życiowych sytuacji, natomiast *trening poznawczy* skupia się na usprawnieniu konkretnych funkcji poznawczych. Należy jednak podkreślić, że oba rodzaje aktywności poznawczej jako nadrzędny cel mają za zadanie poprawę jakości życia.

Precyzując definicję *treningu poznawczego*, Martin i wsp. (2011) opisali go jako interwencję zapewniającą ustrukturyzowane i wystandaryzowane ćwiczenia w formie zadań odnoszących się do różnych aspektów funkcjonowania poznawczego. Jednocześnie trening ten ma na celu bezpośrednie oddziaływanie na wybraną funkcję lub zaburzenie poznawcze. Na tej podstawie Gates i Valenzuela (2010) stworzyli własną definicję *treningu poznawczego* i wyróżnili jego cztery niezbędne komponenty, tj.:

1. Wielokrotne powtarzanie ćwiczeń i stopniowa gradacja ich poziomu trudności;
2. Ukierunkowanie na trenowanie zadań sprawiających trudności;
3. Wykorzystanie wystandaryzowanych zadań i ćwiczeń;
4. Skupianie się na określonych domenach poznawczych.

1.3.2. Treningi poznawcze z perspektywy ostatnich dekad

Jak podają Thompson i Foth (2006) historia treningów poznawczych dedykowanych osobom starszym sięga początku lat 70. dwudziestego wieku. Jedne z ciekawszych badań w tamtym okresie przeprowadzili Baltes i Willis (1982), wykazując korzystny wpływ treningu poznawczego na inteligencję płynną. Stwierdzili również, że pogorszenie funkcjonowania poznawczego obserwowane u sześćdziesięcio- i siedemdziesięciolatków można spowolnić, zatrzymać, a nawet doprowadzić do poprawy funkcjonowania umysłu dzięki interwencji z zastosowaniem treningów poznawczych. Z kolei Verhaeghen i wsp. (1992) przeprowadzili metaanalizę obejmującą 33 badania wykorzystujące mnemotechniki stosowane w celu poprawy pamięci u osób starszych. Wyniki przeprowadzonych analiz statystycznych pozwoliły wnioskować, że taka forma treningu pamięci jest skuteczna, ponieważ po zastosowaniu treningu mnemotechnicznego badani wykazywali istotną poprawę w zakresie zapamiętywania informacji. Co więcej, autorzy przyjęli, że pamięć osób starszych należy uznać za plastyczną funkcję poznawczą, którą można modyfikować m.in. odpowiednimi treningami poznawczymi.

Przełom w badaniach nad treningami poznawczymi stanowiło badanie Jaeggi i jej zespołu (2008), w ramach którego studenci zostali poddani treningowi pamięci roboczej przy użyciu zadania typu *n*-wstecz. Zastosowana procedura treningowa była stosunkowo krótka, natomiast sam trening miał charakter adaptacyjny. Oznacza to, że poziom trudności zadań był dostosowany do aktualnego wykonania ćwiczeń przez badanego. W efekcie zaobserwowano poprawę w zakresie wykonywania zadania *n*-wstecz oraz równoległą poprawę w zadaniu mierzącym inteligencję płynną. Chociaż powyższe badanie przeprowadzono na grupie młodych, zdrowych osób, otrzymane wyniki rozpoczęły wciąż aktualną debatę dotyczącą skuteczności zarówno treningów pamięci roboczej jak i roli treningów poznawczych w szerszym kontekście. Jak podają Sarzyńska i Żelechowska (2016) ogromne zainteresowanie powyższą tematyką spowodowało, że w latach 2008–2012 przeprowadzono szereg badań, mających na celu sprawdzenie skuteczności treningów pamięci roboczej jako metody usprawniającej inne, bardziej złożone funkcje poznawcze. Istnieją rozbieżne dowody literaturowe na temat benefitów związanych z udziałem w tego typu treningu. W niektórych badaniach uzyskano wyniki świadczące o wysokiej efektywności takiej formy treningu (Alloway i Alloway, 2009; McNab i wsp., 2009; Zhao i wsp., 2011), natomiast w innych nie wykazano pozytywnych korzyści wynikających z podjęcia treningu pamięci roboczej (Chein i Morrison, 2010; Richmond i wsp., 2011; Schmiedek i wsp., 2010).

Chociaż w świetle przytoczonych badań wyniki dotyczące skuteczności treningów pamięci roboczej pozostają niespójne, pionierskie badania Jaeggi i wsp. (2008) zapoczątkowały trwającą do dzisiaj dyskusję dotyczącą efektywności treningów poznawczych w różnych grupach wiekowych.

1.3.3. Mechanizmy leżące u podstaw treningów poznawczych

Literatura przedmiotu (Karchach i Verhaeghen, 2014) wskazuje na dwa rodzaje treningów poznawczych, które różnią się mechanizmem oddziaływania na funkcjonowanie poznawcze:

- treningi skoncentrowane na usprawnieniu procesów poznawczych;
- treningi skoncentrowane na usprawnieniu strategii wykonywania zadań.

Pierwszy rodzaj treningów skupia się na usprawnieniu określonych procesów poznawczych poprzez ćwiczenie zadań angażujących te procesy (Rueda i wsp., 2020). Należy nadmienić,

że początkowo treningi poznawcze skoncentrowane na usprawnianiu procesów poznawczych związane były z bezpośrednim polepszaniem konkretnych funkcji poznawczych, a w szczególności koncentrowały się na pamięci. Kolejna generacja tych treningów skupiła się natomiast na fundamentalnych procesach poznawczych, takich jak np. tempo przetwarzania informacji (Guye i wsp., 2020), czy też uwaga lub przełączanie pomiędzy zadaniami (Boman i wsp., 2004; Lustig i wsp., 2009). Tego rodzaju podejście polega się na wielokrotnym wykonywaniu ćwiczeń angażujących podstawowe procesy poznawcze, które leżą u podłoża bardziej złożonych funkcji poznawczych (Morrison i Chein, 2011). Studer-Luethi i wsp. (2022) zauważyli, że trening oparty na procesie ma na celu stymulować istniejącą u uczestnika rezerwę poznawczą oraz oddziaływać na procesy neuroplastyczności mózgu.

Z kolei treningi oparte na usprawnieniu strategii stanowią tradycyjną metodę poprawy procesów poznawczych, która skupia się na ćwiczeniu konkretnych procedur zdaniowych. W efekcie ta forma treningu umożliwia opanowanie określonych strategii, co z kolei przyczynia się do lepszego wykonywania uprzednio ćwiczonych zadań (Kliegl i wsp., 1990; Mowoszewski i wsp., 2016; Rebok i wsp., 2007). Jedną z najpopularniejszych strategii ćwiczonych zgodnie z tym podejściem są techniki mnemoniczne, które mają na celu ułatwiać zapamiętywanie nowych informacji poprzez odwołanie się do dobrze utrwalonych informacji (Lustig i wsp., 2009). Stosowane tu strategie mogą odwoływać się do informacji z otoczenia (tzw. strategie zewnętrzne; np. planer, telefon komórkowy) lub do procesów umysłowych (tzw. strategie wewnętrzne, czyli techniki usprawniające funkcje poznawcze poprzez optymalizację kodowania lub wydobywania informacji z pamięci; Hering i wsp., 2014).

Porównując oba mechanizmy, należy zauważyć, że treningi oparte na usprawnieniu procesu mają na celu przywrócenie, czy też swego rodzaju odbudowę, pogorszonych procesów poznawczych poprzez wielokrotne wykonywanie ćwiczeń angażujących dane funkcje umysłowe (Cameron i wsp., 2015; Karbach, 2014). Natomiast treningi poznawcze oparte na strategii skupiają się na kompensowaniu deficytów poznawczych poprzez używanie wyuczonych w trakcie treningu określonych strategii (Brehmer i wsp., 2014; Willis i Belleville, 2016). Różnice w mechanizmach leżących u podłoża działania obu tych rodzajów treningów znajdują odzwierciedlenie w efektywności obu form treningu. Literatura przedmiotu wskazuje, że osoby starsze osiągają mniejsze korzyści poznawcze z treningu opartego na strategii w porównaniu do osób młodych (Gross i wsp., 2012; Verhaeghen i Marcoen, 1996). Powyższe zjawisko tłumaczy się związanym z wiekiem deficytem w zakresie pamięci epizodycznej, a w szczególności jej asocjacyjnym komponentem, który utrudnia stosowanie trenowanych

strategii (Brehmer i wsp., 2007; Naveh-Benjamin i wsp., 2007). Należy podkreślić, że celem treningów skoncentrowanych na procesie jest usprawnienie funkcji poznawczych, co z kolei wtórnie prowadzi do polepszenia funkcjonowania w życiu codziennym, samodzielności oraz sprawczości osób starszych. Natomiast treningi skoncentrowane na strategii mają za zadanie usprawnienie codziennego funkcjonowania poprzez wdrażanie wyuczonych mechanizmów działania.

Z kolei Lövdén wraz z zespołem (2010) opracował model teoretyczny, za pomocą którego wyjaśnili mechanizmy leżące u podłoża treningów poznawczych. W swoich założeniach wprowadzili pojęcie plastyczności poznawczej osób dorosłych, która została zdefiniowana jako wtórne zmiany pojawiające się w odpowiedzi na zmiany pierwotnie zaistniałe w systemie. Zgodnie z ich koncepcją, poznawcza plastyczność pojawia się w konsekwencji długotrwałej rozbieżności pomiędzy bieżącymi możliwościami układu nerwowego, a wymaganiami środowiska (np. trudnością zadania). Uczucie się nowego zadania odzwierciedla wspomnianą rozbieżność pomiędzy zasobami a wymaganiami, natomiast wielokrotne powtarzanie tego samego ćwiczenia powoduje, że wspomniane zasoby odpowiadają na wzrastające wymogi zadania. Oznacza to, że następująca poprawa rozumiana jest jako usprawnienie układu nerwowego, starającego się sprostać wysokim wymaganiom trenowanego zadania. Nguyen i wsp. (2019) zauważają, że w takiej sytuacji następuje dopasowanie na linii ‘zasoby-wymogi’ i jednoczesne wyeliminowanie wcześniej występującej rozbieżności pomiędzy nimi. A to z kolei generuje stabilną sytuację, która nie wymaga dalszych zmian. Autorzy podkreślili, że powyższy efekt jest zgodny z wynikami badań dotyczących treningów poznawczych, które raportowały asymptotyczny wzorzec zmian. Największą poprawę na poziomie poznawczym i neuronalnym obserwowano na wczesnych etapach treningu, a w dalszych etapach osiągnano w tym zakresie stabilizację efektów (Lampit i wsp., 2015; Belleville i wsp., 2022).

1.3.4. Neuroplastyczność w wieku senioralnym

Termin „neuroplastyczność” po raz pierwszy został zdefiniowany w 1948 roku przez polskiego uczonego Jerzego Konorskiego, światowej sławy badacza mózgu z Instytutu Biologii Doświadczalnej. Przedstawił on przełomową jak na ówczesne czasy koncepcję, zgodnie z którą dowodził, że w komórkach nerwowych pod wpływem bodźców zewnętrznych dochodzi do trwałych zmian lub przekształceń funkcjonalnych w sieci neuronalnej (Demarin i wsp.,

2014). Równoległe tym zagadnieniem zajmował się również kanadyjski badacz Donald Hebb, którego to koncepcja stanowi podstawy współcześnie definiowanej neuroplastyczności (Kossut, 2019).

Obecnie zjawisko neuroplastyczności rozumiane jest jako wszelkie neurobiologiczne procesy z uwzględnieniem mechanizmów strukturalnych, funkcjonalnych oraz molekularnych, które pojawiają się w odpowiedzi na napływające z otoczenia wymagania (Smith, 2013). Wspomniane modyfikacje mogą pojawiać się na skutek: wzmacniania, osłabiania, ograniczania lub dodawania połączeń synaptycznych, a także wspierania neurogenezy (de Gobbi i wsp., 2015; Pascual-Leone i wsp., 2011).

Wenger i Kühn (2021) zwrócili uwagę, że przez długi czas mechanizmy neuroplastyczności traktowano jako zjawisko występujące wyłącznie u osób w młodym wieku, natomiast mózg osoby dorosłej traktowano jako stosunkowo statyczną strukturę, która nie była podatna na reorganizację w wyniku zewnętrznych wpływów. Jednakże kolejne badania prowadzone na zwierzętach wskazywały na obecność neuronalnej reorganizacji u dorosłych osobników szczurów (Aguilar i wsp., 2011; Praag i wsp., 2000). Szczury przebywające we wzbogaconym środowisku i doświadczające dzięki temu pozytywnych, wzrostowych zmian w mózgu na poziomie morfologicznym, lepiej i szybciej wykonywały zadania poznawcze polegające na orientacji w labiryncie. Powyższy efekt udało się potwierdzić w wielu badaniach, które różniły się czasem ekspozycji na wzbogacone warunki środowiskowe, rodzajem stymulacji sensorycznej, czy też wiekiem szczurów (Diamond, 1993; Paban i wsp., 2006, Vance i wsp., 2010).

Dalszy rozwój technik badawczych umożliwił poszukiwanie podobnych efektów u ludzi przy użyciu nieinwazyjnej metody obrazowania za pomocą rezonansu magnetycznego (MRI). Jedno z najbardziej znanych badań mechanizmów neuroplastyczności osób dorosłych dotyczy londyńskich taksówkarzy i kierowców autobusów (Maguire i wsp., 2000; Maguire i wsp., 2006). Autorzy wykorzystali obowiązujące w Londynie zasady, zgodnie z którymi kierowcy taksówek musieli przejść trening trwający od dwóch do czterech lat, w trakcie którego uczyli się topografii miasta i przyswajali sobie układ 25000 londyńskich ulic. W odróżnieniu od nich, kierowcy autobusów nie uczestniczyli w tak intensywnym treningu i uczyli się jedynie tras przejazdów autobusów. W ten sposób powstał paradygmat badawczy, w ramach którego kierowcy taksówki reprezentowali bogate w informacje i złożone środowisko, a kierowcy autobusów reprezentowali mniej skomplikowane, standardowe środowisko, stanowiąc w ten sposób swoistą grupę kontrolną. Porównanie obrazów anatomicznych uzyskanych w badaniu

z wykorzystaniem rezonansu magnetycznego wykazało, że w porównaniu do kierowców autobusów, u kierowców taksówek po ukończeniu obowiązkowego szkolenia zmieniła się struktura hipokampu – mieli oni powiększoną jego tylną część. Co więcej, kierowcy z dłuższym stażem wykonywania zawodu taksówkarza charakteryzowali się większym hipokampem niż kierowcy z krótszym doświadczeniem zawodowym. Powyższe wyniki potwierdzają hipotezę, że rodzaj i intensywność zastosowanej stymulacji sensorycznej generuje trwałe zmiany na poziomie struktur mózgu.

Jak podkreśla Kossut (2019), współczesny stan wiedzy pozwala stwierdzić, że u osób dorosłych występuje zjawisko neuroplastyczności, jednak zachodzi ono z mniejszą intensywnością niż w przypadku rozwijającego się mózgu osoby młodej. Co więcej, Zolyniak i wsp. (2014) podkreśla, że w kontekście starzenia poznawczego mechanizmy neuroplastyczności nie prowadzą do poprawy w zakresie wykonania testów behawioralnych, a raczej pozwalają utrzymać aktualny poziom funkcjonowania poznawczego lub wtórnie usprawniać funkcje poznawcze, które uległy pogorszeniu ze względu na następujące wraz z wiekiem zmiany.

Boyke i wsp. (2008) badali mechanizm neuroplastyczności w grupie osób starszych, w której średnia wieku wynosiła 60 lat. Osoby badane miały za zadanie nauczyć się żonglować trzema piłeczkami, co udało się jedynie 25% uczestnikom badania. Porównując skany mózgu wykonane za pomocą rezonansu magnetycznego pomiędzy *posttestem* a *pretestem*, autorzy zauważyli powiększenie hipokampa oraz jądra półleżącego u osób, które opanowały żonglowanie. Jedynie 23% osób starszych poddanych treningowi żonglowania opanowało tę umiejętność w porównaniu do wszystkich trenujących uczestników z grupy osób młodych. Należy jednak zauważyć, że seniorzy, którzy nauczyli się żonglować wykazywali istotny przyrost objętości istoty szarej w przyśrodkowych obszarach kory skroniowej, która jest powiązana z wizualnym przetwarzaniem ruchu. Dodatkowo, badanie neuroobrazowe przeprowadzone w ramach oceny odroczonej po trzech tygodniach od zakończenia treningu wskazało na wycofanie powyżej opisanych zmian strukturalnych. Wykazane zależności sugerują konieczność stałej kontynuacji treningu w celu podtrzymania jego efektów. Co więcej, w opisanym badaniu również wykazano u osób starszych przyrost objętości hipokampa oraz jądra półleżącego, który nie był widoczny u osób młodych. Różnice te wskazują na zaangażowanie różnorodnych regionów mózgu w to samo zadanie w zależności od wieku.

Przytoczone powyżej badania dobitnie wskazują, że mechanizmy neuroplastyczności występują u seniorów z różnym natężeniem i nie są zjawiskiem, które zachodzi zawsze. Istotne więc wydaje się aktywne wzmacnianie procesów neuroplastyczności mózgu poprzez

odpowiednio prowadzoną stymulację. Literatura przedmiotu wskazuje na ogromne znaczenie aktywności fizycznej jako czynnika promującego neuroplastyczność poznawczą (Hötting i Röder, 2013; Phillips, 2017). Ważne są tu również inne aspekty, takie jak: odpowiednia dieta (Murphy i wsp., 2014; Witte i wsp., 2009), sen (Guzman-Marin i McGinty, 2006; Joo i wsp., 2014) oraz redukcja stresu (Kaliman i wsp., 2014).

Literatura przedmiotu wskazuje, że szczególnie istotnym czynnikiem pobudzającym procesy neuroplastyczności u osób starszych są treningi poznawcze (Bherer i wsp., 2015; Brehmer i wsp., 2014; Kelly i wsp., 2014). Jedną z hipotez zakłada, że mają one wyraźny wpływ na działanie sieci mózgowej (Taya i wsp., 2015). Interesujący, dualny aspekt neuroplastyczności w kontekście treningów poznawczych wyróżniają Kim i Kim (2014). Klasyfikują ją oni na procesy stymulacji oraz kompensacji. Neuroplastyczna stymulacja rozumiana jest przez nich jako zmiana pojawiająca się na poziomie neuronalnym w odpowiedzi na codzienne doświadczenie życiowe czy też stałe wykorzystywanie określonych funkcji poznawczych. Oznacza to, że przyczyną zachodzących zmian neuroplastycznych jest środowiskowa (tzw. zewnętrzne bodźce) i stanowi swoisty bodziec dostarczany do układu nerwowego. Wspomniane bodźce podlegają nieustannej konkurencji. Czynniki o charakterze negatywnym wzmacniają procesy degeneracji funkcji poznawczych rywalizując z pozytywnymi bodźcami prowadzącymi do poprawy funkcji umysłowych. Powyższy aspekt stymulacji w kontekście neuroplastyczności wskazuje, że zdolność mózgu do zmiany jest zależna od rodzaju odpowiedzi na otrzymane z otoczenia bodźce. Z kolei neuroplastyczna kompensacja odnosi się do zdolności adaptowania się mózgu przy pozostałych zasobach. W odpowiedzi na zaistniałe uszkodzenie lub procesy neuronalnej degeneracji, a więc własne zasoby (tzw. wewnętrzne bodźce), mózg aktywnie wprowadza zmiany reorganizujące neuronalne szlaki lub zmieniające funkcje jego określonych obszarów. Podsumowując, autorzy wyróżniają dwie koncepcje: neuroplastyczność wzmacniającą (stymulacja), pojawiającą się w odpowiedzi na bodźce środowiskowe (zewnętrzne) oraz neuroplastyczność adaptacyjną (kompensacja), która jest konsekwencją uszkodzeń lub degeneracji mózgu. Powyższe rozróżnienie jest istotne z punktu widzenia metod rehabilitacyjnych, ponieważ dopasowanie adekwatnych strategii ćwiczeń terapeutycznych do rodzaju zachodzących zmian pozwala na zmaksymalizowanie benefitów zastosowanych metod rehabilitacji.

1.3.5. Efektywność treningów poznawczych

Badania behawioralne

Wiele dotychczas przeprowadzonych badań wskazuje na skuteczność treningów poznawczych jako narzędzia usprawniającego funkcjonowanie osób starszych (Basak i wsp., 2020; Corbett i wsp., 2014; Golino i wsp., 2017; Kelly i wsp., 2014; Martin i wsp., 2011; Mewborn i wsp., 2017; Roheger i wsp., 2020). Na podstawie metaanalizy 21 badań, Kueider wraz z zespołem (2012) wskazali, że treningi skoncentrowane na usprawnieniu określonych procesów poznawczych są skuteczne i poprawiają funkcjonowanie w zakresie: tempa przetwarzania informacji, czasów reakcji, funkcji wzrokowo-przestrzennych, uwagi, pamięci oraz funkcji wykonawczych.

W 2018 r. opublikowano pracę, której celem był systematyczny przegląd i ocena skuteczności treningów poznawczych w zakresie prewencji związanego z wiekiem pogorszenia funkcji poznawczych oraz chorób otępiennych (Butler i wsp., 2018). Do metaanalizy włączano zarówno artykuły poświęcone populacji zdrowych seniorów, jak również badania dedykowane osobom ze zdiagnozowanymi łagodnymi zaburzeniami poznawczymi (ang. *mild cognitive impairment*, MCI). Istotnym kryterium włączenia danej pracy do tego przeglądu było przyznanie przez autorów metaanalizy niskiego lub średniego poziomu ryzyka błędu. Z wyodrębnionych 35 artykułów, łącznie metaanalizie poddano 6 prac dotyczących osób zdrowych oraz 5 badań uwzględniających pacjentów z MCI. Na podstawie uzyskanych wyników, autorzy potwierdzili, że u zdrowych osób w wieku senioralnym treningi poznawcze usprawniają funkcje poznawcze, jednak poprawie ulegają wyłącznie bezpośrednio trenowane funkcje umysłowe. W szczególności zwrócono uwagę na skuteczność programów treningowych w kontekście polepszenia tempa przetwarzania informacji. Nie uzyskano wyników wskazujących na poprawę funkcji poznawczych, które nie podlegały bezpośredniemu treningowi. Należy dodać, że wyniki dotyczące osób badanych ze zdiagnozowanymi łagodnymi zaburzeniami poznawczymi były niejednoznaczne, a w trzech na pięć prac nie wykazano statystycznie istotnych efektów treningu (Butler i wsp., 2018). Warto podkreślić, że powyższa metaanaliza wskazuje na skuteczność treningów poznawczych jako metody usprawniającej funkcje poznawcze wyłącznie u osób zdrowych, tzn. bez zaburzeń neurologicznych i psychicznych. Jednocześnie zebrane dane były niewystarczające, aby jednoznacznie odpowiedzieć na pytanie, czy treningi poznawcze redukują ryzyko wystąpienia zespołów otępiennych. Na podstawie opisanych wyników należy podkreślić

istotność włączenia treningów poznawczych na odpowiednim etapie zmian neurodegeneracyjnych, tj. przed wystąpieniem objawów zespołów otępiennych.

Interesujące wnioski podaje również artykuł przeglądowy opublikowany w 2017 r. przez Chiu i jej zespół. Autorzy poddali metaanalizie 31 badań, które dotyczyły zdrowo starzejących się seniorów. Kryteria włączenia uwzględniały publikacje, w których paradygmat badawczy dotyczył zdrowych osób powyżej 65. roku życia przy jednoczesnym wykluczeniu występowania u nich łagodnych zaburzeń poznawczych. Wyniki uzyskane przy pomocy analizy wielkości efektu potwierdziły skuteczność treningów poznawczych: w przypadku funkcji wykonawczych wykazano średni efekt, natomiast w zakresie innych domen poznawczych, tj. pamięci, uwagi oraz funkcji wzrokowo-przestrzennych udokumentowano niewielki efekt. Dodatkowo, warto zwrócić uwagę na przeprowadzoną analizę porównawczą podgrup utworzonych na podstawie różnych cech analizowanych treningów. W tym przypadku skupiono się na ocenie wpływu czasu trwania zajęć i ich ilości na skuteczność prowadzonych treningów. Otrzymane wyniki wskazały, że lepsza efektywność treningów poznawczych była powiązana z podjęciem treningów w odpowiednio długim wymiarze czasu. Większe benefity poznawcze odnotowano u osób badanych, które uczestniczyły w treningu przynajmniej 3 razy w tygodniu, jednocześnie czas trwania zajęć wynosił minimum 8 tygodni, a łącznie odbyły się co najmniej 24 spotkania treningowe. Mniejsza częstotliwość treningów wiązała się z uzyskaniem mniej efektywnej poprawy funkcji poznawczych (Chiu i wsp., 2017). Uzyskane wyniki stanowią istotne wytyczne dotyczące planowania czasu trwania oraz intensywności zajęć w celu zmaksymalizowania możliwych benefitów wynikających z udziału w treningach poznawczych.

Badania neuroobrazowe

O skuteczności treningów poznawczych świadczą także obserwowane zmiany strukturalne oraz funkcjonalne mózgu weryfikowane za pomocą technik neuroobrazowych.

W odniesieniu do zmian strukturalnych, w badaniu przeprowadzonym przez Engvig'a i wsp. (2010) seniorzy zostali poddani 8-tygodniowemu treningowi pamięci, który skutkował polepszeniem pamięci kontekstualnej (jest to element pamięci długotrwałej, rozumianej jako pamięć kontekstu przyswojenia informacji, np. czasu lub miejsca jej nabycia). Powyższa poprawa na poziomie behawioralnym została powiązana z zaobserwowanym przyrostem grubości kory mózgowej w prawym zakręcie wrzecionowatym oraz w prawej bocznej korze oczodołowo-czołowej. Warto również odnotować, że w przypadku treningu poznawczego

polegającego trzymiesięcznej nauce żonglowania kilkoma piłeczkami, autorzy zaobserwowali ogólny przyrost objętości istoty szarej u zdrowych osób w wieku senioralnym (Boyke i wsp., 2008).

Baykara i wsp. (2021) za kolejny aspekt wskazujący na zmiany występujące w strukturze mózgu uznali stopień integralności istoty białej (ang. *white matter integrity*), a więc ilość połączeń pomiędzy strukturami mózgu. Lövdén i wsp. (2010) przeprowadzili badania dotyczące wielomodalnego treningu usprawniającego skupiającego się na usprawnieniu pamięci roboczej i epizodycznej a także tempa przetwarzania informacji. Z kolei Takeuchi i wsp. (2010) skoncentrowali się wyłącznie na treningu pamięci roboczej. Chociaż oba powyższe badania różniły się formą zastosowanego treningu (trening wielomodalny vs. trening jednomodalny), uzyskane wyniki są spójne. Oba zespoły wykazały związany z przeprowadzonymi treningami wzrost integralności istoty białej w rejonach zaangażowanych w procesy pamięci roboczej.

Warto nadmienić, że szerokie spektrum doniesień o zmianach neuronalnych związanych z treningami poznawczymi dotyczy w znacznym stopniu zmian funkcjonalnych. Belleville i wsp. (2011) wykazali przy pomocy badania fMRI zwiększoną obustronną aktywację czołowych oraz ciemieniowych obszarów mózgu zaangażowanych w procesy pamięci oraz obu hipokampów w efekcie sześciotygodniowego, grupowego treningu pamięci. Co ciekawe, powyższe zmiany zauważano zarówno w grupie zdrowych osób w wieku senioralnym, a także w grupie badanych ze zdiagnozowanymi łagodnymi zaburzeniami poznawczymi. U zdrowych seniorów za pomocą metody obrazowania fMRI zaobserwowano także obustronnie zwiększenie aktywacji kory przedczołowej. Powyższa zmiana była następstwem ćwiczenia w tzw. paradygmacie podwójnego zadania. Oznacza to, że uczestnikom badania prezentowano w tym samym czasie dwa pojedyncze zadania, wymagające różnych reakcji. W tym przypadku osoby badane miały reagować poprzez przyciśnięcie odpowiedniego przycisku na prezentowany kolor (zielony lub żółty), jednocześnie wybierając adekwatny przycisk reakcji w odpowiedzi na aktualnie prezentowaną literę („B” lub „C”; Erickson i wsp., 2007). Z kolei Nyberg wraz z zespołem (2003) przeprowadzili trening oparty na mnemotechnicznej metodzie zapamiętywania słów opartej na prezentowanych wskazówkach wizualnych. Wykorzystując w powyższym badaniu pozytonową tomografię emisyjną (ang. *positron emission tomography*, PET), wykazano, że u osób badanych w efekcie treningu nastąpiło zwiększenie aktywności w obszarach kory ciemieniowo-potylicznej.

Raportowano także zmiany w zakresie działania różnorodnych sieci mózgowych. Jako przykład może posłużyć badanie dotyczące wielomodalnego treningu, który obejmował różne aspekty funkcjonowania poznawczego (m.in. pamięć, rozumowanie, strategie rozwiązywania problemów). W ramach prowadzonego treningu badani ukończyli 24 sesje ćwiczeniowe, które odbyły się w ciągu 12 tygodni. Każde zajęcia trwały 60 minut. Na podstawie analiz aktywacji sieci spoczynkowych (ang. *resting state*) u osób badanych stwierdzono zwiększoną lateralizację sieci czołowo–ciemieniowej w lewej półkuli mózgu. Na tej podstawie otrzymane wyniki zinterpretowano jako zwiększenie efektywności przetwarzania informacji (Luo i wsp., 2016). Z kolei analiza połączeń funkcjonalnych (ang. *functional connectivity*) wskazała na zwiększenie ich ilości pomiędzy korą tylnego zakrętu obręczy (ang. *posterior cingulate cortex*, PCC) a innymi obszarami sieci stanu spoczynkowego (ang. *default mode network*, DMN; Cao i wsp., 2016; De Marco i wsp., 2016).

Przedstawione powyżej wyniki badań przeprowadzonych z zastosowaniem fMRI mogą się wydawać fragmentaryczne. Jednak ze względu na obszerność zagadnienia nie sposób opisać je szczegółowo. Dlatego też skoncentrowałam się na przykładowych badaniach mających odniesienie do mojej pracy doktorskiej. Jednocześnie, istotnym celem było zaprezentowanie złożoności tematu oraz wskazanie ogromnego znaczenia treningów poznawczych jako metody usprawniającej funkcje poznawcze osób w wieku senioralnym. Jak wskazują przytoczone badania, zmiany powstałe w wyniku treningów poznawczych można zaobserwować na poziomie neuroanatomicznym, widoczne są także różnice w zakresie aktywacji obszarów zaangażowanych w określoną funkcję poznawczą. Wykazano również zmiany w zakresie działania sieci funkcjonalnych.

Dodatkowo, na interesujący fakt zwrócili uwagę Baykara i wsp. (2021) w metaanalizie badań dotyczących neuroobrazowych predyktorów skuteczności treningów poznawczych, skupiając się na sprzecznościach w zakresie wyników otrzymanych przez różnych autorów. W przeciwieństwie do wcześniej zaprezentowanych badań, których rezultaty wskazywały na wzrost aktywacji mózgu (Belleville i wsp., 2012; Erickson i wsp., 2007; Nyberg i wsp., 2007), niektórzy badacze zaobserwowali odwrotny efekt, a więc obniżenie aktywacji mózgu w wyniku zastosowania treningu poznawczego u osób starszych. Brehmer i wsp. (2011) badali zmiany funkcjonalne mózgu zachodzące pod wpływem intensywnego treningu pamięci roboczej u osób starszych. W ramach badania uczestnicy przeszli pięciodniowy, adaptacyjny trening zawierający siedem różnych zadań angażujących pamięć roboczą. Badani uczestniczyli w jednej sesji dziennie przez pięć dni w tygodniu. Wyniki badania fMRI wskazały

na obniżenie aktywacji mózgu w rejonach czołowych, skroniowych oraz potylicznych, a więc obszarach kontrolujących trenowane funkcje poznawcze. Zaobserwowany spadek aktywacji zinterpretowano jako wzrost neuronalnej efektywności na skutek przeprowadzonego treningu. Oznacza to, że trening poznawczy doprowadził do takiego wyspecjalizowania w ramach ćwiczonego zadania, że do jego prawidłowego wykonania wystarczyło zaangażowanie mniejszej zasobów poznawczych. Autorzy podkreślili, że otrzymane wyniki neuroobrazowe są spójne z wynikami behawioralnymi, które wskazały na znaczące zwiększenie zakresu poziomu pamięci roboczej osób badanych. Podobny kierunek zmian zaobserwowano w badaniu dotyczącym treningu podzielności uwagi u osób w wieku senioralnym (Belleville i wsp., 2014). Dwutygodniowy trening polegający na wielokrotnym powtarzaniu zadania angażującego powyższy rodzaj uwagi również skutkowało obniżeniem aktywacji, w tym przypadku obustronnie w dolnych oraz środkowych zakrętach czołowych. Podobnie jak w poprzednio omówionym badaniu, Belleville i wsp. (2014) konkludują, że w wyniku treningu doszło do wyspecjalizowania określonych umiejętności, a w konsekwencji wzrostu efektywności zaangażowanych w zadanie rejonów mózgu. Skutkowało to zaobserwowaną redukcją aktywacji mózgowej.

Podsumowując, należy zwrócić uwagę, że przeciwstawny kierunek obserwowanych w badaniach zmian (wzrost *vs.* spadek mózgowych aktywacji) może odpowiadać dynamice zmian towarzyszącej treningom poznawczym. Baykara i wsp. (2021) hipotetyzują, że w pierwszej kolejności stymulacja w postaci treningu poznawczego prowadzi do zwiększonej aktywności mózgu. W dalszych etapach dochodzi do spadku aktywacji mózgowej w wyniku automatyzacji niektórych procesów poznawczych lub wzrostu neuronalnej efektywności. Oznacza to, że powyższe zależności mogą mieć wpływ na otrzymywane wyniki badań neuroobrazowych, ponieważ charakter obserwowanych zmian (wzrost *vs.* spadek aktywacji) może wynikać z punktu czasowego, w którym wykonana została diagnoza potreningowa.

Zaprezentowane powyżej wyniki różnych badań i ich odmienny kierunek (wzrost *vs.* spadek mózgowych aktywacji) wskazują na ogromne znaczenie wykonywania wielokrotnych pomiarów diagnostycznych w trakcie oraz po zakończeniu treningu poznawczego w celu lepszego zrozumienia czasowej dynamiki zachodzących zmian na poziomie neuronalnym (Baykara i wsp., 2021).

Zmiany związane z dynamiką działania sieci neuronalnej w wyniku zastosowania procedur treningowych testowano również w badaniach elektroencefalograficznych (EEG). Przede

wszystkim należy odnieść się do badań dotyczących potencjałów wywołanych (ang. *event-related potential*, ERP). Warto nadmienić, że to podejście badawcze jest rzadziej stosowane w porównaniu do badań z wykorzystaniem fMRI, a literatura przedmiotu jest uboższa. Jednym z kluczowych powodów ograniczenia stosowania metody EEG w tego typu badaniach może być jej znacznie mniejsza rozdzielczość przestrzenna w porównaniu do metody fMRI. Niemniej, badania elektrofizjologiczne dostarczają interesujących wyników, a w ostatnim czasie zyskują także popularność w badaniach dotyczących efektywności treningów poznawczych u osób w wieku senioralnym. Dodatkowo, ogromnym walorem tej metody obrazowania pracy mózgu jest jej wysoka rozdzielczość czasowa, a więc umożliwia ona obserwację dynamiki działania sieci neuronalnych.

Zendel wraz z zespołem (2016) poddali osoby starsze treningowi kontroli uwagowej (ang. *attentional control*). Jest ona definiowana jest jako zdolność do zorientowania i modulowania uwagi w celu wyboru najbardziej efektywnej strategii, a w efekcie ukończenia zadania poznawczego z sukcesem (Baddeley i Hitch, 1974). Wiele dotychczasowych badań dotyczy potencjału N200. Na podstawie dotychczas opublikowanej literatury uznaje się, że potencjał N200 jest związany z kontrolą uwagi (Van Gaal i wsp., 2011). Natomiast Donkres i Boxter, (2004) wskazali także, że jest to wskaźnik powiązany z monitorowaniem sytuacji konfliktowych. Na podstawie powyższej interpretacji, sugeruje się, że potencjał N200 jest wskaźnikiem powyżej opisanej kontroli uwagowej (Zendel i wsp., 2016). W omawianym artykule osoby badane w wieku od 60 do 85 lat zostały losowo przypisane do jednej z trzech grup różniących się poziomem zaangażowania wspomnianej kontroli uwagowej. W efekcie przeprowadzonego treningu, wyłącznie u osób badanych z grup wymagających treningu podzielności uwagi, gdzie badani symultanicznie ćwiczyli dwa różne zadania, zaobserwowano zwiększoną amplitudę potencjału N200. Poprawa wyników na poziomie elektrofizjologicznym korelowała z poprawą uzyskaną na poziomie behawioralnym (Zendel i wsp., 2016).

Kolejne badania literaturowe koncentrują się na potencjale P300. Przeprowadzono badania nad skutecznością treningu pamięci roboczej z wykorzystaniem zadania *n*-wstecz (Pergher i wsp., 2018; opis procedury badawczej typu *n*-wstecz zawiera Podrozdział 3.2.2.1., str. 84). Celem autorów była ocena efektywności tej formy treningu poznawczego w odniesieniu do poprawy w zakresie trenowanej domeny, tj. pamięci roboczej oraz domen poznawczych niepoddanych bezpośredniemu treningowi (uwaga, pamięć przestrzenna oraz inteligencja płynna). Oprócz badań behawioralnych, wykorzystano procedurę elektrofizjologiczną w paradygmacie badania *n*-wstecz. Za elektrofizjologiczny wskaźnik pamięci roboczej uznaje się potencjał P300 (Gevins

i wsp., 1993; Scharinger i wsp., 2017; Steiner i wsp., 2013). Powyższe badanie potwierdziło na poziomie behawioralnym skuteczność treningu pamięci roboczej jako metody skutecznie usprawniającej tę funkcję poznawczą, zarówno u osób młodych jak i starszych. Dodatkowo, w obu grupach wiekowych, badania elektrofizjologiczne wykazały podwyższoną amplitudę potencjału P300 po ukończeniu kolejnych sesji treningowych. Gajewski i Falkenstein (2018) porównali skuteczność treningu poznawczego oraz treningu aktywności fizycznej jako metod usprawniających pamięć roboczą. W badaniu wzięło udział 141 osób w wieku od 65 do 88 lat, a treningi trwały cztery miesiące z częstością dwóch sesji w tygodniu. W odniesieniu do wyników skupiających się na skuteczności treningu poznawczego, autorzy wykazali zwiększenie amplitudy potencjału P300. Badacze interpretują otrzymane wyniki jako relokację zasobów poznawczych w kierunku zadań związanych z pamięcią roboczą. W kolejnym badaniu (Küper i wsp., 2017) skupiono się na ocenie poprawy funkcji wykonawczych po ukończeniu wielomodalnego treningu, który również trwał cztery miesiące. Ćwiczenia zostały podzielone na dwa etapy. W pierwszej części seniorzy w grupie treningu poznawczego poddani zostali klasycznemu treningowi typu papier-ołówek. Ćwiczone w ten sposób zadania skupiały się na nauce strategii pamięciowych oraz usprawnianiu: tempa przetwarzania informacji, uwagi selektywnej, zakresu pamięci krótkotrwałej, fluencji werbalnej a także zdolności rozumowania. Po upływie 4 tygodni w następnej kolejności badani rozpoczęli trening komputerowy, którego zadania miały na celu polepszenie szybkości przetwarzania informacji, uwagi selektywnej oraz pamięci. Jako neuronalny korelat analizowanych różnic wskazano m.in. potencjał P300, rozumiany jako wskaźnik relokacji zasobów poznawczych. Co interesujące, w omawianym badaniu w wyniku dwuetapowego treningu poznawczego wykazano istotne obniżenie amplitudy potencjału P300 na czołowo-centralnych elektrodach. Według autorów powyższy wynik może wskazywać na zachodzące mechanizmy kompensacji w obszarach czołowych mózgu (Küper i wsp., 2017).

Warto podkreślić, że również w przypadku badań elektrofizjologicznych obserwowany jest rozbieżny charakter uzyskanych danych. Zarówno wyniki wskazujące na zwiększenie amplitud analizowanych potencjałów (Gajewski i Falkenstein, 2018; Pergher i wsp., 2018; Zendel i wsp., 2016) jak i wyniki świadczące o obniżeniu amplitud potencjałów wywołanych (Küper i wsp., 2017) mogą potwierdzać skuteczność stosowanych treningów poznawczych. Podobne rozbieżności zaobserwowano w opisanych powyżej badaniach z zastosowaniem funkcjonalnego rezonansu magnetycznego (por. str. 43–45).

Reasumując, chociaż efektywność treningów poznawczych dedykowanych osobom w wieku senioralnym nie budzi dziś wątpliwości, należy podkreślić, że wyniki dotyczące zmian behawioralnych lub zmian w działaniu sieci neuronalnej w efekcie zastosowanych interwencji treningowych są niespójne (Nguyen i wsp., 2019; Owen i wsp., 2010; Rabipour i wsp., 2019). W istocie, literatura przedmiotu nie podaje jednoznacznej odpowiedzi na pytanie, jakie zmiany w działaniu sieci neuronalnej mogą być neuronalnym wskaźnikiem usprawnienia funkcji poznawczych, które jest weryfikowane na poziomie behawioralnym. Mowszowski i wsp. (2010) zwracają uwagę, że możliwość uogólnionego wnioskowania o efektywności treningów poznawczych dedykowanych seniorom jest ograniczona ze względu na różnice w metodologii prowadzonych badań, zastosowanym schemacie badawczym, czy też specyfiki wykorzystanego treningu. Podkreśla się również nieścisłości w zakresie uzyskiwanych wyników, które mogą być związane z wielkością analizowanej próby czy sposobem prowadzonych treningów (tj. treningi indywidualne vs. grupowe). Autorzy podnoszą także, że stosowanie rygorystycznych kryteriów kwalifikacji może powodować, iż do badania włączone zostaną osoby bardziej odporne na procesy starzenia poznawczego niż tzw. ‘typowy senior’. W związku z tym zachodzi prawdopodobieństwo, że badani spełniający surowe kryteria rekrutacji mogą nie odczuwać wyraźnych zmian pogorszonego funkcjonowania poznawczego. Dodatkowo, warto podkreślić znaczenie różnic indywidualnych jako kolejnego czynnika wpływającego na efektywność treningów poznawczych. Literatura przedmiotu wskazuje na znaczenie motywacji (Jaeggi i wsp., 2014; Katz i wsp., 2014), statusu socjoekonomicznego (Segretin i wsp., 2014) oraz osobowości (Studer-Luethi i wsp., 2012; Studer-Luethi i wsp., 2016) jako czynników oddziałujących na skuteczność podjętych interwencji treningowych. Wpływ różnic indywidualnych wymaga dalszych i poszerzonych badań, które mogą zaowocować bardziej dopasowanymi algorytmami protokołów treningowych, co z kolei będzie skutkowało ich większą efektywnością.

Chociaż kontrolowanie wszystkich opisanych powyżej czynników byłoby bardzo trudne, mając na uwadze powyższe argumenty, w wykonanych przeze mnie badaniach zastosowano wyrównany poziom funkcjonowania poznawczego osób włączonych do treningów (por. Podrozdział 3.1.2., str. 65).

1.3.5.1. Transfer bliski i daleki jako miara skuteczności treningów poznawczych

Z treningami poznawczymi jest związany nierozzerwalnie transfer poprawy. Zakłada on, że umiejętności nabyte w trakcie treningu zostają zgeneralizowane i wykorzystane do skutecznego wykonywania innych zadań, które nie podlegały bezpośredniej interwencji treningowej (Laker, 1990). Literatura przedmiotu wyróżnia dwa podstawowe wymiary transferu poprawy: transfer bliski oraz transfer daleki (Jaeggi i wsp., 2014; Karbach i Kray, 2009; Matysiak i Brzezicka; 2017; Olfers i Band, 2018; Zelinski, 2009). Jak wskazała Bednarek i wsp. (2021), transfer bliski rozumiany jest jako osiągnięcie poprawy w zadaniu, które nie było bezpośrednio trenowane, natomiast należy do tej samej domeny poznawczej. Z kolei transfer daleki oznacza usprawnienie funkcji poznawczych, które nie podlegały bezpośredniemu treningowi, a więc wyćwiczenie określonej domeny poznawczej generuje poprawę w zakresie innych, nietrenowanych funkcji umysłowych.

Transfer bliski jest powszechnie uznanym zjawiskiem i nie budzi wątpliwości. Zjawisko transferu bliskiego obserwuje się m.in. w domenie pamięci roboczej, pamięci krótkotrwałej, pamięci epizodycznej, uwagi, tempa przetwarzania informacji czy też funkcji wzrokowo-przestrzennych (Berry i wsp., 2010; Borella i wsp., 2010; Bottiroli i Cavallini, 2009; Bugos i wsp., 2007; Fairchild i Scogin, 2010; Mahncke i wsp., Mozolic i wsp., 2010; Tranter i Koutstaal, 2006). Natomiast występowanie transferu dalekiego stanowi źródło dyskusji, gdyż niektórzy badacze sugerują, że brak obecności transferu dalekiego jest fundamentalną cechą ludzkiego umysłu (Sala i Gobet, 2017; Simons i wsp., 2016). Według nich specyficzne umiejętności nabyte podczas treningu oddziałują właśnie na trenowaną domenę poznawczą, ale rzadko uogólniają się na inne funkcje poznawcze (Sala i wsp., 2019). W odniesieniu do teorii wspólnych elementów (ang. *common elements theory*; Thorndike i Woodworth ze stopniem, w jakim cecha źródłowa i cecha docelowa są ze sobą powiązane. Oznacza to, że przewiduje się częste wystąpienie transferu bliskiego (ze względu na przynależność do tej samej domeny poznawczej) oraz stosunkowo rzadką możliwość zaistnienia transferu dalekiego, jako zjawiska zachodzącego pomiędzy dwiema różnymi funkcjami poznawczymi, które zgodnie z teorią Thorndike'a i Woodworth'a nie współdzielą dostatecznie dużo wspólnych cech (Sala i wsp., 2019). Część doniesień jest jednak bardziej optymistyczna i wskazuje na występowanie transferu dalekiego. Richmond wraz z zespołem (2011) po treningu pamięci roboczej zaobserwowali poprawę w zakresie kontroli hamowania oraz uwagi. Natomiast Karbach i Kray (2009) zastosowali specyficzny trening funkcji

wykonawczych, wykorzystując paradygmat przełączania zadania (ang. *task-switching*). W powyższym badaniu wykazali transfer daleki z trenowanej domeny na pamięć roboczą oraz inteligencję płynną.

Warto podkreślić, że poznanie mechanizmów transferu dalekiego odegrałoby fundamentalną rolę w dziedzinie edukacji, a także w obszarach związanych z treningami poznawczymi. Wiedza o tym, jak umiejętności nabyte w ramach jednej domeny poznawczej można generalizować na inne obszary, umożliwiłaby uczestnikom treningu rozwinięcie szerokiego wachlarza umiejętności w wielu różnych dziedzinach w sposób bardziej efektywny (Sala i wsp. 2019). Cytując Nichols i wsp. (2021), „transfer daleki uznaje się za Świętego Graala treningów poznawczych”.

W metaanalizie dotyczącej efektywności treningów poznawczych ustosunkowano się również do zagadnienia transferu poprawy (Kelly i wsp., 2014). Autorzy konkludują, że w przypadku większości badań zaobserwowano poprawę w zadaniach angażujących tę samą domenę poznawczą, której dotyczył trening. Należy jednak dodać, że niektórym badaczom udało się osiągnąć także efekt transferu dalekiego i wykazano usprawnienie funkcji poznawczych, które nie były bezpośrednio ćwiczone podczas treningu. Co interesujące, Kelly i wsp. (2014) podkreślają, że prawdopodobieństwo wystąpienia transferu dalekiego zwiększa się, jeśli trening jest adaptacyjny i powtarzalny, a więc wielokrotnie wykonywane jest to samo ćwiczenie.

Matysiak i Brzezicka (2017) dokonały interesującego przeglądu literatury w odniesieniu do skuteczności treningów poznawczych u osób w wieku senioralnym. W powyższej metaanalizie skategoryzowano treningi na podstawie następujących kryteriów:

- mechanizmów leżących u podstaw treningu (oparty na strategii vs. oparty na procesie);
- liczby ćwiczonych domen poznawczych (jednomodalny vs. wielomodalny);
- sposobu przeprowadzenia treningu (tradycyjny vs. komputerowy);
- charakteru zajęć (indywidualne vs. grupowe).

Do powyższego przeglądu warto odnieść się w kontekście omówionej przez autorki skuteczności treningów poznawczych z perspektywy transferu poprawy. Matysiak i Brzezicka (2017) zwróciły uwagę, że ćwiczenia oparte na strategii generują benefity poznawcze wyłącznie w postaci transferu bliskiego, natomiast treningi oparte na procesie (por. Podrozdział 1.3.3., str. 35) mają znacznie większy potencjał do uzyskania transferu dalekiego. Treningi jednomodalne niemal zawsze skutkują poprawą w zakresie ćwiczzonego zadania, ale stosunkowo rzadko skutkują transferem dalekim. Natomiast treningi wielomodalne częściej

powodują poprawę w zakresie ogólnej sprawności umysłowej uczestników. Wskazano także, że w przypadku treningów komputerowych siła transferu jest większa niż w podejściu tradycyjnym wykorzystującym treningi typu ‘papier-ołówek’ (Kueider i wsp., 2012). Co więcej, treningi grupowe i wynikająca z nich aktywizacja społeczna również może przyczynić się do zwiększenia efektywności w porównaniu z treningami indywidualnymi (Lampit i wsp., 2014). Podsumowując, można stwierdzić, że prowadzenie grupowego, wielomodalnego i komputerowego treningu opartego na procesie wydaje się być najskuteczniejszą formą zajęć usprawniających funkcje poznawcze u osób w wieku senioralnym.

1.4. Mechanizm kompleksowych oddziaływań treningu percepcji czasu na funkcjonowanie poznawcze

1.4.1. Percepcja czasu

Definicja percepcji czasu

Jak wskazali Matthews i Meck (2014) czas i jego percepcja jest nieodłącznym oraz fundamentalnym elementem życia człowieka. Natomiast Szelaąg i wsp. (2002) podkreślili, że to właśnie czasowy aspekt przetwarzania informacji odgrywa kluczową rolę w reprezentacji bodźców napływających ze środowiska. Co więcej, percepcja czasu była jednym z pierwszych zagadnień zgłębianych przez psychologię eksperymentalną i od ponad stu lat podlega dalszym, intensywnym badaniom (Matthews i Meck, 2014).

Termin percepcja czasu (ang. *time perception*) może być zamiennie stosowany z pojęciem czasowego opracowywania informacji (ang. *temporal information processing*). Zjawisko to rozumiane jest jako aktywny odbiór, analiza oraz interpretacja zjawisk w odniesieniu do własnej wiedzy o świecie (Fraisse, 1967).

Modele teoretyczne

To właśnie Fraisse (1963, 1984) w latach sześćdziesiątych XX wieku opracował koncepcję wyróżniającą trzy różne aspekty związane z percepcją czasu: następstwo, trwanie oraz orientację. Poniżej scharakteryzowano każdy z wymienionych aspektów.

Następstwo związane jest z określeniem czasowej kolejności bodźców w przedziale poniżej 100 ms. Percepcja trwania utożsamiana jest ze spostrzeganiem określonego zjawiska oraz różnicowaniem interwałów pomiędzy dwoma różnymi zdarzeniami w przedziale do 2 sekund. Z kolei orientacja w czasie odnosi się do umiejętności przypisania zachodzącego zjawiska w odniesieniu do zmian endogennych w organizmie, takich jak sen czy czuwanie, lub zmian egzogennych, np. rytmy dobowe lub pory roku.

W późniejszym czasie ta koncepcja została rozbudowana przez niemieckiego neuropsychologa Ernsta Pöppela. Zaproponował on hierarchiczny model percepcji czasu (Pöppel, 1994, 1997), w którym odniósł się do dwóch różnych mechanizmów przeżywania czasu. W swojej koncepcji Pöppel wyróżnił: czas obiektywny rozumiany jako czas upływający we Wszechświecie w rozumieniu fizyki oraz czas subiektywny, będący specyficznym doświadczeniem każdego człowieka. Pierwszy z wymienionych płynie niezależnie od biegnących zdarzeń, natomiast drugi, odbierany jest w sposób indywidualny przez narządy zmysłów i zależny od mechanizmów mózgowych.

Koncepcja modelu percepcji czasu Pöppela (1987, 1989; Pöppel i wsp., 1998) uwzględnia pięć podstawowych poziomów przeżywania czasu: jednoczesność, niejednoczesność, następstwo, terażniejszość i trwanie. Zaproponowany przez badacza model opiera się na założeniu, że kolejne zjawiska są ze sobą hierarchicznie powiązane, a więc wystąpienie zjawiska z wyższego szczebla zakłada istnienie zjawiska z niższego poziomu (Pöppel, 1989, 1997; Szelaąg i wsp., 2002; Szelaąg i wsp., 2010). Co więcej, według Pöppela poszczególne poziomy operują na specyficznych neuronalnych mechanizmach w określonych oknach czasowych (Pöppel i Logothetis, 1986).

Podstawowym zjawiskiem w modelu Pöppela jest percepcja jednoczesności vs. niejednoczesności zdarzeń, zgodnie z którą przyjmuje się założenie, że jeśli interwał pomiędzy dwoma zdarzeniami będzie bardzo krótki, to subiektywnie zostaną one zaklasyfikowane jako jeden bodziec (Pöppel 1987, 1994; Wittmann, 1999). W celu zobrazowania tego fenomenu warto odnieść się do badań percepcji słuchu. Jak wskazały Szelaąg i Kowalska (1998) w przypadku prezentowania osobom badanym dwóch prostych dźwięków ich percepcja będzie zależała od długości przerwy pomiędzy nimi. W przypadku interwału trwającego poniżej 2–3 ms bodźce słuchowe spostrzegane są jako jednoczesne, natomiast wydłużenie przerwy do 5 ms pozwala na percepcję zaprezentowanych dźwięków jako dwóch różnych bodźców. Warto nadmienić, że długość interwału czasowego pomiędzy bodźcami niezbędna do ich prawidłowego wyodrębnienia jest różna dla poszczególnych narządów

zmysłów. W przypadku bodźców wzrokowych przerwa ta wydłuża się do 20–30 ms (Pöppel, 1989).

Kolejnym poziomem w hierarchicznym modelu percepcji czasu jest następstwo, a więc oprócz spostrzeżenia zjawiska jednoczesności lub niejednoczesności, występuje spostrzeżenie prawidłowej kolejności dwóch następujących po sobie bodźców. Powyższy poziom to tzw. Próg Postrzegania Kolejności (PPK; ang. *Temporal-Order Threshold*) i definiuje się go jako minimalną długość przerwy pomiędzy dwoma bodźcami, jaka jest niezbędna do określenia ich poprawnej sekwencji. Szereg dotychczasowych badań wskazuje, że próg ten jest podobny dla różnych modalności i zawiera się w przedziale od 20 do 60 ms (Fink i wsp., 2005; Hirsh, i Sherrick, 1961; Kanabus i wsp., 2002; Szeląg i wsp., 2011, Szeląg i wsp., 2018; von Steinbuchel i wsp., 1996)

Następnym zjawiskiem wyodrębnionym omawianym modelu jest terażniejszość, która jest nierozzerwalnie związana z tzw. mechanizmem integrującym, operującym w zakresie 2–3 sekund (Pöppel i wsp., 1998; Szeląg i wsp., 2002). Działanie tego mechanizmu polega na łączeniu sukcesywnie następujących po sobie zdarzeń w większe jednostki, tzw. 3-sekundowe okna, które są świadomie odbierane i przetwarzane przez człowieka. Pozwalają one również na utworzenie subiektywnego poczucia terażniejszości, co z kolei generuje możliwość utrzymywania informacji w pamięci (Pöppel, 2004; Szeląg, 1997). W tym miejscu należy dodać, że szereg badań eksperymentalnych udokumentował i potwierdził istnienie 3-sekundowych okien czasowych występujących w trakcie przetwarzania informacji sensorycznej przez umysł człowieka. Jedną z metod stosowanych w badaniu percepcji czasu na poziomie kilku sekund jest metoda reprodukcji interwałów (ang. *temporal reproduction*), która ocenia zdolność szacowania czasu trwania prezentowanego bodźca (Szeląg i Kowalska, 1998). Uzyskane wyniki wskazują, że bodźce o długości 2–3 sekund były reprodukowane stosunkowo dokładnie, niezależnie od modalności zastosowanych wzorców. Z kolei bodźce krótsze niż 2–3 sekundowe zawyżano, natomiast dłuższe wzorce były niedoszacowane (Kagerer i wsp., 2002; Pöppel, 2009; Szeląg i wsp., 2004). Posegmentowany na okna czasowe rytm zachowania człowieka możemy zaobserwować również w mowie płynnej, gdzie co 2–3 sekundy następuje naturalna pauza (Szeląg i Kowalska, 1998). Warto nadmienić, że ten charakterystyczny rytm wypowiedzi jest niezależny od języka, jakim posługuje się rozmówca (Turner i Pöppel, 1983; Vollrath i wsp., 1992). Czasową segmentację zachowania obserwujemy również w twórczości kompozytorów muzyki klasycznej, języku migowym oraz kulturowo

wyuczonych wzorcach ruchowych, jak np. podanie ręki na powitanie (Schleidt, 1988; Szelağ i Kowalska, 1998).

Ostatnim poziomem uwzględnionym przez Pöppela w hierarchicznym modelu percepcji czasu jest trwanie, rozumiane jako poczucie ciągłości upływu czasu, a więc percepcja wydarzeń w czasie. Przeżywanie trwania jest możliwe dzięki działaniu mechanizmu integracyjnego z niższego poziomu, który konsoliduje kolejne zdarzenia w postaci 2–3 sekundowych okien czasowych. W efekcie człowiek łączy szereg kolejnych okien czasowych i odczuwa trwanie w czasie (Pöppel, 1994; 2004).

Zaproponowany przez Pöppela model w swojej koncepcji kolejnych poziomów nie uwzględnia mechanizmu sekwencjonowania operującego na poziomie kilkuset milisekund, który powiązany jest za kontrolę sekwencyjnych ruchów celowych (Wittmann i wsp., 2001).

Biologiczne podłoże percepcji czasu

Ze względu na obszerność zagadnienia, modele zostaną zaprezentowane w sposób skrótowy w celu przedstawienia podstawowych informacji. Oroń (2016) w swojej pracy przeglądowej dokonała interesującego zestawienia modeli teoretycznych dotyczących biologicznego podłoża percepcji czasu.

W latach 60. XX wieku wprowadzono model zegara wewnętrznego (ang. *internal clock*), który zakłada, że za opracowywanie czasowych aspektów informacji odpowiada scentralizowany mechanizmu czasowy, tzw. „zegar wewnętrzny”. Na wspomniany zegar składa się generator rytmu wysyłający impulsy (wewnętrzne jednostki czasu) w ściśle określonym tempie, które są rejestrowane przez tzw. licznik pulsów. Koncepcja zegara wewnętrznego przyjmuje założenie, że upływ czasu następuje w jednostkach, które można sumować oraz liniowo porównywać (Karmarkar i Buonomano, 2007; Treisman, 1963; Wittmann, 1999). Pomimo ogromnej popularności modelu zegara wewnętrznego, m.in. ze względu na możliwość operacjonalizacji zmiennych (Lewandowska i wsp., 2017), koncepcja ta bywa coraz częściej podważana. Krytycy zwracają uwagę na brak wyników badań neuroobrazowych, którym udałoby się potwierdzić obecność wewnętrznego zegara (Buhusi i Meck, 2005).

Oroń (2016) podkreśliła, że część badaczy zwraca się w stronę modeli wskazujących na rozproszoną reprezentację czasu w mózgu wskutek aktywowania wielu populacji neuronów. Wśród nich wymienia się m.in. model narastającej aktywności (ang. *climbing model*), którą obserwuje się w rejonach mózgu odpowiedzialnych za przewidywanie wystąpienia bodźca

(m.in. obszary kory przedczołowej; Durstewitz, 2003; Reutimann i wsp., 2004). Zwraca się również uwagę na model wielu generatorów oscylacji (ang. *multiple oscillator model*), gdzie przyjmuje się założenie, że kodowanie czasu odbywa się w populacjach neuronów oscylujących w różnych częstotliwościach (Matell i Meck, 2004). Wiele uwagi poświęcono również modelowi opartemu na sieciach neuronalnych (ang. *state dependent networks*, SDN), który zakłada, że kodowanie czasu następuje w oknie kilkuset milisekund poprzez specyficzne wzbudzenie sieci neuronalnej (Karmarkar i Buonomano, 2007; Yamazaki i Tanaka, 2005). Precyzując, model ten zakłada, że czas jest reprezentowany w synaptycznych właściwościach sieci neuronalnej. Dla tego modelu znaczenie ma nie tylko wzbudzenie określonego neuronu lub grupy neuronów, ale również potencjał spoczynkowy błony komórkowej. Należy również podkreślić, że model SDN nie uwzględnia żadnych odrębnych bądź niezależnych reprezentacji czasu, jego odczuwanie jest ściśle powiązane i zależne od zmian i wzorców aktywności sieci neuronalnych (Spencer i wsp., 2009).

Brak zgodności w stosunku do teoretycznego modelu percepcji czasu zaowocował nowym, interdyscyplinarnym podejściem, które łączy w sobie elementy modeli zegarów wewnętrznych oraz sieci neuronalnych. Gu wraz z zespołem (2015) przedstawili nowy, wielokierunkowy model, który dodatkowo uwzględnia nieodłączone powiązanie i współzależności pomiędzy percepcją czasu a funkcjami poznawczymi (Pöppel, 2009; Szeląg i wsp., 2004; Wittmann, 2011). Autorzy zaproponowali model łączący czasowe opracowywanie informacji oraz pamięć roboczą (ang. *excitatory and inhibitory oscillation model*). Opiera się on na założeniu, że oba powyższe procesy bazują na identycznych oscylacjach neuronalnych w obwodzie: kora przedczołowa–prążkowie–hipokamp (Gu i wsp., 2015).

1.4.2. Percepcja czasu a wiek

Powszechnie wiadomo, że wraz z wiekiem zmienia się percepcja czasu. Osoby w wieku senioralnym często skarżą się na odczucie znacznie szybszego upływu czasu niż miało to miejsce w ich młodości (Wittmann i Lehnhoff, 2005).

Powyższe zjawisko odnajduje swoje odzwierciedlenie w wynikach badań prowadzonych nad percepcją czasu. Wykorzystując paradygmat oceniający zdolność do prawidłowego postrzegania dwuelementowych sekwencji (ang. *Temporal Order Judgement*), którego efektem jest wyznaczenie opisanego wcześniej Progu Postrzegania Kolejności (PPK; str. 51), badacze

wskazali na uzyskiwanie wyższego PPK przez osoby starsze w porównaniu do osób młodych. Oznacza to, że osoby w wieku senioralnym potrzebują dłuższej przerwy pomiędzy dwoma szybko następującymi bodźcami, aby poprawie rozróżnić ich kolejność w porównaniu do osób młodych (Fitzgibbons i Gordon-Salant, 2004; Fink i wsp., 2005; Szymaszek i wsp., 2009; Szelağ i wsp., 2010).

Warto podkreślić, że powyższe zmiany u osób starszych nie są monolitem, a związane z wiekiem pogorszenie w zakresie percepcji czasu jest zależne od wielu czynników, m.in. od fizycznych właściwości prezentowanych bodźców (Fink i wsp., 2005; Szymaszek i wsp., 2006). Dodatkowo, badania przeprowadzone w naszej Pracowni miały na celu porównanie w grupie seniorów w wieku od 62 do 78 lat dwóch odmiennych metod prezentacji bodźców dźwiękowych (prezentacja rozdzielności vs. prezentacja obuuszną; powyższe procedury szczegółowo opisano w Podrozdziale 3.2.1.1., str. 67). W efekcie, zależnie od sposobu ekspozycji bodźców, uzyskano odmienne rozkłady danych. Chociaż oba paradygmaty badawcze testują rozdzielność czasową w tym samym zakresie milisekund, otrzymane wyniki wskazały stosowanie odmiennych strategii powiązanych z rodzajem prezentowanych bodźców oraz zastosowaną procedurą (Szelağ i wsp., 2018).

Z kolei Nowak i wsp. (2016) na podstawie badań wykonanych w grupie seniorów w wieku od 65 do 78 lat wykazała, że różnice w zakresie czasowego opracowywania informacji są powiązane z poziomem funkcji wykonawczych. Otrzymane wyniki wskazały, że lepsze wykonanie zdania mierzącego sprawność funkcji wykonawczych jest powiązane ze sprawniejszą percepcją czasu. Autorzy konkludują, że powyższa zależność może być związana ze wspólnym mechanizmem leżącym u podłoża zarówno czasowego opracowywania informacji, jak i funkcji wykonawczych i obie wymienione funkcje stanowią swoistą matrycę neuronalną umożliwiającą sprawne funkcjonowanie poznawcze (Nowak i wsp., 2016).

Najnowsze badanie naszej Pracowni dotyczące zakresu bieżącej tematyki również skoncentrowało się na zależnościach pomiędzy percepcją czasu a funkcjami wykonawczymi. W niniejszej pracy uwzględniono planowanie jako aspekt reprezentujący funkcje wykonawcze. Należy nadmienić, że planowanie rozpatrywano jako proces dwuetapowy, wyróżniając: etap planowania wstępnego (ang. *preplanning*) oraz etap właściwego wykonania (ang. *execution phase*). W tym przypadku skupiono się na porównaniu zależności pomiędzy grupą osób młodych (19–29 lat) oraz seniorów (61–77 lat). Otrzymane wyniki wskazały, że wyłącznie u osób młodych lepsza rozdzielność czasowa generuje skuteczniejszy poziom planowania wskutek wydłużonego czasu planowania wstępnego. Autorzy wskazali, że etap planowania

wstępnego umożliwia segmentację operacji umysłowych w mniejsze jednostki w obrębie których integrowana jest informacja. Pozwala to na efektywniejsze opracowywanie i optymalizację przetwarzania informacji. Taki mechanizm segmentujący można uważać za pewną analogię do opisanego powyżej scalania 3–sekundowych okien czasowych, leżących u podłoża subiektywnego poczucia terażniejszości wg hierarchicznego modelu percepcji czasu Pöppela. Oznacza to, że wydłużony czas planowania wstępnego umożliwia osobom młodym stworzyć bardziej efektywną strategię działania. Z kolei w przypadku osób starszych zaobserwowano skrócony czas planowania wstępnego, co skutkowało implementacją mniej wydajnych metod działania (Jabłońska i wsp., 2022).

Przedstawiona literatura przedmiotu jasno wskazuje, że wraz z wiekiem percepcja czasu ulega pogorszeniu. Jednak na podstawie zaprezentowanych powyżej badań, które wykonano m.in. w Pracowni Neuropsychologii, należy podkreślić, że proces ten jest niejednorodny i zależy od wielu czynników. Liczne uwarunkowania wpływające na poziom czasowego opracowywania informacji sugerują, że jest to zjawisko, które można w pewien sposób modyfikować.

1.4.3. Percepcja czasu i jej związek z innymi funkcjami poznawczymi

Wyniki badań wskazujące na występowanie czasowej segmentacji zachowania (por. Podrozdział 1.4.1., str. 51) zainspirowały badaczy do stworzenia nowej taksonomii funkcji poznawczych, która umożliwiła ich podział na dwie podstawowe kategorie (von Steinbüchel i Pöppel, 1993). Jak wskazały Szelaąg i Szymaszek (2016), wieloletnie badania doprowadziły do wyróżnienia funkcji: kontekstowych oraz logistycznych.

Funkcje kontekstowe odpowiadają za istotę naszej aktywności umysłowej. Rozumiane są jako wszelkie operacje mentalne, które kształtują kontekst, czyli treść naszych indywidualnych doznań percepcyjnych. Za funkcje kontekstowe uznaje się procesy percepcji i przetwarzania bodźców, spostrzegania, procesy pamięciowe, uczenie się, mowę oraz zdolności komunikacji językowej, ekspresję oraz recepcję emocji. Jak widać, kategoria ta jest szeroka i obejmuje szereg różnych procesów, których wspólnym mianownikiem jest bazowanie na kontekście naszych zindywidualizowanych wrażeń. Z tego też względu funkcje te opisuje się także jako funkcje typu „CO” (ang. „*WHAT*” functions; Szelaąg i Szymaszek, 2016; von Steinbüchel i Pöppel, 1993).

W powyższej taksonomii von Steinbüchel i Pöppel (1993) uznali, że funkcje logistyczne stanowią matrycę dla funkcji kontekstowych, a więc są swoistą bazą neuronalną i systemem odpowiedzialnym za logistykę wszelkich operacji umysłowych. Dlatego też funkcje logistyczne nazywane są także funkcjami typu „JAK” („*HOW*” *functions*). Zwracając uwagę na obserwowaną czasową segmentację zachowania, zakłada się, że percepcja czasu jest przykładem funkcji logistycznych. Uznaje się, że jest ona odpowiedzialna za kształtowanie procesów należących do funkcji kontekstowych, a więc procesów: percepcji, spostrzegania, pamięciowych, językowych i emocjonalnych (Szeląg i Szymaszek, 2016).

W odniesieniu do literatury przedmiotu Szeląg i Skolimowska (2012) podkreśliły, że czasowe przetwarzanie informacji stanowi matrycę kształtującą inne procesy poznawcze. Wobec przytoczonej propozycji nowej taksonomii funkcji poznawczych, należy przyjąć, że percepcja czasu jako funkcja logistyczna organizuje naszą aktywność umysłową. Powyższe rozważania stanowią punkt wyjścia do propozycji nowej formy treningu poznawczego, który skupia się na polepszaniu funkcji poznawczych poprzez usprawnianie funkcji logistycznych (Szeląg i Skolimowska, 2012). Powyższy związek można przyrównać do usprawniania skomplikowanego mechanizmu, którego działanie zależy od sprawności elementów składowych. Przysłowiowe dokręcenie poluzowanej śrubki, która jest symbolem funkcji logistycznych, spowoduje poprawę działania całego mechanizmu, jakim są funkcje kontekstowe.

Wyniki dotychczas przeprowadzonych badań wskazały, że usprawnienie czasowego opracowywania informacji w przedziale dziesiątek milisekund może generować poprawę funkcji językowych (Merzenich i wsp., 1996; Tallal i wsp., 1996). Rezultaty te były punktem wyjścia rozważań, zakładających, że usprawnienie percepcji czasu w zakresie kilkudziesięciu milisekund, które odzwierciedlają poziom następstwa w hierarchicznym modelu percepcji czasu Pöppela, pozwoli osiągnąć poprawę w zakresie wielu różnych funkcji poznawczych. Pierwszy raz to założenie sprawdziły Szeląg i Skolimowska (2012), udowadniając, że trening percepcji czasu *Fast ForWord* przyczynia się do poprawy uwagi oraz pamięci krótkotrwałej. Prowadzona w Pracowni Neuropsychologii kontynuacja badań dotyczących percepcji czasu wykazała skuteczność treningu percepcji czasu jako metody rehabilitacji pacjentów z występującą poudarową afazją (Szymaszek, 2008; Oroń, 2013). Jednocześnie udowodniono, że trening oparty na usprawnieniu czasowego opracowywania informacji może stanowić skuteczną metodę usprawniania funkcji językowych oraz innych procesów poznawczych u dzieci z występującymi specyficznymi zaburzeniami rozwoju mowy i języka (ang. *Specific*

Language Impairment; Dacewicz, 2018). Badania przeprowadzone z zastosowaniem wstępnej wersji treningu *Dr Neuronowski*[®], który zawiera wbudowany komponent percepcji czasu (dokładny opis programu treningowego zawiera Podrozdział 3.3.1., str. 97) wykazały, że jest to skuteczne narzędzie umożliwiające poprawę funkcji poznawczych u zdrowych seniorów. Benefity dotyczyły: percepcji czasu, pamięci krótkotrwałej oraz roboczej, uwagi, a także funkcji wykonawczych (Nowak, 2016).

2. CELE I HIPOTEZY BADAŃ WŁASNYCH

2.1. Cel badań własnych

Opisany we Wstępie aktualny stan wiedzy wskazuje, że poznawcze starzenie jest złożonym i wielowymiarowym procesem, który dotyka różnych aspektów funkcjonowania człowieka. Badania zaprezentowane w niniejszej rozprawie doktorskiej są kontynuacją oraz rozszerzeniem badań prowadzonych w Pracowni Neuropsychologii Instytutu Biologii Doświadczalnej im. M. Nenckiego PAN. Głównym celem badania przedstawionego w niniejszej rozprawie doktorskiej jest weryfikacja skuteczności komputerowego treningu poznawczego *Dr Neuronowski*[®] opartego na percepcji czasu.

W odniesieniu do wyników dotychczasowych badań (Nowak, 2016), w niniejszych badaniach parametry ekspozycji bodźców oraz protokół treningu *Dr Neuronowski*[®] zostały zmodyfikowane w celu zwiększenia poziomu trudności gier terapeutycznych oraz optymalizacji długości trwania interwencji, a w konsekwencji maksymalizacji korzyści poznawczych dla uczestnika.

Nowością wykonanych przeze mnie badań była weryfikacja efektów treningu przy równoległym zastosowaniu dwóch rodzajów metod:

- behawioralnych – wykorzystano testy neuropsychologiczne w celu oceny sprawności w zakresie: percepcji czasu, pamięci, uwagi oraz funkcji wykonawczych;
- elektrofizjologicznych – skupiono się na badaniach z wykorzystaniem potencjałów związanych ze zdarzeniem w celu poznania neurofizjologicznych korelatów zmian działania sieci neuronalnej, które mogą wystąpić w wyniku zastosowanej interwencji.

Ze względu na zastosowanie dwóch rodzajów metod, celem pracy było również poszukiwanie związków pomiędzy behawioralnymi wskaźnikami pamięci krótkotrwałej a elektrofizjologicznymi wskaźnikami pamięci roboczej. Wykazanie takich zależności odzwierciedlałoby integracyjną działalność mózgu w różnych zadaniach związanych z pamięcią krótkotrwałą oraz pamięcią roboczą a także podkreśliłoby, że uzyskane wyniki są niezależne od zastosowanej metody badawczej i osadzone w trwałych zmianach działania sieci neuronalnej w wyniku zastosowanej terapii.

2.2. Hipotezy badawcze

Oczekiwane zmiany po zastosowaniu treningu percepcji czasu:

H1. W wyniku zastosowanego treningu percepcji czasu w porównaniu z treningiem edukacyjnym wystąpi poprawa w zakresie: percepcji czasu, pamięci krótkotrwałej werbalnej oraz przestrzennej, pamięci roboczej, podzielności i utrzymania uwagi, zdolności planowania i kontroli hamowania.

- Oczekiwana poprawa percepcji czasu będzie efektem zastosowania programu *Dr Neuronowski*[®] usprawniającego tę funkcję, a więc nastąpi bliski transfer poprawy w zakresie trenowanej domeny poznawczej.
- Percepcja czasu leży u podłoża szerokiego spektrum funkcji poznawczych, dlatego oczekiwano transferu poprawy z domeny czasowej na domeny poznawcze, które nie podlegały bezpośrednim ćwiczeniom w zastosowanym programie terapeutycznym (wystąpi daleki transfer poprawy).

H2. Po treningu percepcji czasu oczekiwana poprawa funkcjonowania poznawczego w zakresie czasowego opracowywania informacji, pamięci krótkotrwałej werbalnej oraz przestrzennej, pamięci roboczej, podzielności i utrzymania uwagi, zdolności planowania i kontroli hamowania będzie stabilna w czasie i utrzyma się 8 tygodni po zakończeniu treningów.

H3. Po treningu percepcji czasu, obserwowanej na poziomie behawioralnym poprawie funkcji poznawczych w zakresie czasowego opracowywania informacji, pamięci krótkotrwałej werbalnej oraz przestrzennej, pamięci roboczej, podzielności i utrzymania uwagi, zdolności planowania i kontroli hamowania będą towarzyszyć zmiany w działaniu sieci neuronalnej weryfikowane na poziomie elektrofizjologicznym.

- W zadaniu Słuchowej pamięci roboczej nastąpi skrócenie latencji oraz wzrost amplitudy potencjału P300.
- W zadaniu Porównywanie długości trwania bodźców słuchowych nastąpi skrócenie latencji oraz wzrost amplitudy potencjału MMN (ang. *Mismatch Negativity*) oraz N200.

Zmiany na poziomie neurofizjologicznym wystąpią wyłącznie po treningu percepcji czasu jako efekt usprawnienia tej funkcji.

Oczekiwane związki pomiędzy badaniami behawioralnymi i elektrofizjologicznymi

H4. U osób w wieku senioralnym wystąpi przesunięcie topografii potencjału P300 z obszarów ciemieniowych w okolice czołowe.

Hipotezę tę sformułowano na podstawie dotychczasowych badań wskazujących na obniżenie u osób starszych sprawności funkcjonowania poznawczego w zakresie pamięci roboczej (Nyberg i wsp., 2012; Park i wsp., 2002) oraz na obserwowane u nich przemieszczenie topografii potencjału P300 w stronę obszarów czołowych (Lubitz i wsp., 2017). Wykazanie takiej zależności wskazałoby na wystąpienie mechanizmu kompensacji deficytów poznawczych związanych z wiekiem.

H5. Po treningu percepcji czasu osoby z większą sprawnością czasowego opracowywania informacji będą charakteryzowały się mniejszym zaangażowaniem zasobów poznawczych w realizowane zadanie.

Powyższego związku można oczekiwać, ponieważ percepcja czasu leży u podłoża szerokiego spektrum funkcji poznawczych a jej sprawność nierozdzielnie wiąże się ze sprawnością innych funkcji poznawczych (Fitzgibbons i Gordon-Salant, 1998; Pöppel, 2004; Szeląg i wsp., 2009; Szeląg i wsp., 2010),

3. METODA

3.1. Osoby badane

3.1.1. Rekrutacja oraz kwalifikacja osób badanych do projektu

Badania realizowano w latach: 2016–2020. Osoby badane rekrutowano przy pomocy rekruterów z firmy zewnętrznej, a także poprzez ogłoszenia zamieszczane w Internecie i lokalnej prasie oraz w ośrodkach skupiających seniorów – m.in. uniwersytetach trzeciego wieku, lokalnych centrach aktywności, klubach seniora, ośrodkach kultury i bibliotekach. Podjęto również współpracę z panią Krystyną Lewkowicz – prezesem Ogólnopolskiego Porozumienia Uniwersytetów Trzeciego Wieku, która umożliwiła dotarcie do szerokiego grona potencjalnych badanych. W ramach nawiązanego porozumienia, prowadzono działania rekrutacyjne na Uniwersytetach Trzeciego Wieku (UTW) w okolicach Warszawy, w szczególności na UTW: Szkoły Głównej Handlowej, Politechniki Warszawskiej oraz Akademii Wychowania Fizycznego, a także w trakcie corocznie organizowanych Warszawskich Dni Seniora.

Dodatkowo, kwalifikację do projektu wspierała dr Katarzyna Broczek (Klinika Geriatrii, Warszawski Uniwersytet Medyczny), która konsultowała przypadki oraz sytuacje wzbudzające wątpliwości.

Osoby zainteresowane udziałem w projekcie wypełniały szczegółową Ankietę rekrutacyjną (Załącznik nr 3).

Zastosowano następujące kryteria włączenia badanych do projektu:

- wiek od 60 do 80 lat – weryfikacja w ankiecie rekrutacyjnej;
- język polski jako język ojczysty – weryfikacja w ankiecie rekrutacyjnej;
- praworęczność – weryfikacja w ankiecie rekrutacyjnej, w wątpliwych przypadkach wykonywano Edynburski Kwestionariusz Ręczności (Oldfield, 1971);
- prawidłowy słuch – weryfikacja na podstawie przesiewowego badania słuchu (audiometr MA33, MAICO) dla wybranych częstotliwości w zakresie od 250 do 3000

Hz, który obejmował bodźce prezentowane osobom badanym; zastosowano kryterium *pure-tone average* (Carhart, 1971; Kung i Willcox, 2007);

- brak objawów demencji – weryfikacja w Krótkiej Skali Oceny Stanu Umysłowego (ang. *Minimal State Examination*, MMSE; Folstein i wsp., 2001); wymagany wynik: 27 punktów lub więcej;
- brak objawów depresji – weryfikacja w skróconej wersji Geriatrycznej Skali Depresji (ang. *Geriatric Depression Scale*, GDS; Sheikh i Yesavage, 1986); wymagany wynik: 5 punktów lub mniej;
- brak występowania: poważnych urazów głowy w przeszłości, zaburzeń lub chorób psychicznych, chorób neurologicznych lub innych ciężkich chorób ogólnoustrojowych – weryfikacja w ankiecie rekrutacyjnej;
- niezażywanie leków wpływających na ośrodkowy układ nerwowy – weryfikacja w ankiecie rekrutacyjnej i podczas pierwszego spotkania diagnostycznego. Przypadki wzbudzające wątpliwości konsultowano z lekarzem geriatrą – dr Katarzyną Broczek;
- brak uzależnienia od alkoholu, dopuszczalne palenie poniżej jednej paczki papierosów dziennie – weryfikacja w ankiecie rekrutacyjnej;
- brak przeciwwskazań do badania metodą rezonansu magnetycznego (tj. brak metalowych elementów w ciele) – weryfikacja w ankiecie Pracowni Obrazowania Mózgu Instytutu Biologii Doświadczalnej PAN.

Wyniki neuroobrazowe uzyskane w trakcie badania w rezonansie magnetycznym nie są przedmiotem niniejszej rozprawy doktorskiej, były natomiast znaczącym elementem grantu badawczego, w ramach którego powstała niniejsza praca i miały ogromny wpływ na kryteria kwalifikacyjne.

Wszystkie osoby badane włączone do projektu spełniły wszystkie powyższe kryteria.

Zastosowanie tak rygorystycznych kryteriów miało na celu ujednoczenie badanej grupy seniorów, wykluczenie potencjalnego wpływu chorób związanych z wiekiem na uzyskane wyniki.

W ramach szeroko prowadzonej rekrutacji do udziału w projekcie wstępnie zgłosiło się ok. 350 seniorów z Warszawy i okolic. Rygorystyczne kryteria włączenia do badania pozwoliły na zakwalifikowanie 107 osób, natomiast udział w projekcie ukończyły 94 osoby (odsetek osób rezygnujących z udziału w trakcie trwania projektu kształtuje się na poziomie

ok. 12%). Główne przyczyny rezygnacji zgłaszane przez osoby badane to: wyjazd do sanatorium, zmiana miejsca zamieszkania, zbyt duża czasochłonność projektu.

3.1.2. Charakterystyka osób badanych

Niniejsza rozprawa doktorska dotyczy wybranej części większego grantu badawczego OPUS 9. W związku z tym w powyższej pracy z grupy 94 osób, które ukończyły udział w projekcie, uwzględniono grupę 69 osób badanych, które zostały przydzielone do jednej z trzech grup:

- Grupa A: eksperymentalna – osoby badane uczestniczyły w treningu percepcji czasu przy zastosowaniu autorskiego programu *Dr Neuronowski*[®] (<https://neuronowski.com/>);
- Grupa B: kontrolna aktywna – osoby badane uczestniczyły w treningu kontrolnym, który nie zawierał komponentu czasowego opracowywania informacji w domenach trenowanych w programie *Dr Neuronowski*[®];
- Grupa C: kontrolna nieaktywna – osoby badane nie uczestniczyły w żadnej formie treningu, natomiast zostały dwukrotnie poddane procedurom diagnostycznym w odstępie czasu odpowiadającym trwaniu treningów w grupach A oraz B.

Analizy wykazały brak istotnych statystycznie różnic pomiędzy grupami A, B i C w zakresie: liczebności grup (test Chi-kwadrat; $\chi^2(2, N = 69) = 0,348; p = 0,840$), wykształcenia (test Chi-kwadrat; $\chi^2(2, N = 66) = 1,244; p = 0,537$); a także wieku osób zakwalifikowanych (jednoczynnikowa analiza wariancji; $F(2, 66) = 0,062; p = 0,940; \eta^2 = 0,002$).

Natomiast kolejne analizy statystyką Chi-kwadrat wskazały nierównomierny rozkład płci i przewagę kobiet w badanej próbie 69 osób: $\chi^2(1, N = 69) = 37,696; p < 0,001$ (Tab. 1). Podobne dysproporcje wystąpiły w poszczególnych grupach:

- grupa A: $\chi^2(1, N = 25) = 14,440; p < 0,001$;
- grupa B: $\chi^2(1, N = 21) = 10,714; p = 0,001$;
- grupa C: $\chi^2(1, N = 23) = 12,565; p < 0,001$.

Powyższe dysproporcje odzwierciedlają tendencje obserwowane w populacji polskich seniorów: kobiety w wieku senioralnym chętniej i częściej angażują się w działania związane

z własnym rozwojem, dalszą edukacją i aktywnym spędzaniem wolnego czasu. Opublikowane w marcu 2019 r. najnowsze statystyki Głównego Urzędu Statystycznego dotyczące struktury słuchaczy UTW, dokumentują znaczące zainteresowanie kobiet tego rodzaju aktywnością – stanowią one 84,27% wszystkich uczestników (<https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/edukacja/edukacja/universytety-trzeciego-wieku-w-roku-akademickim-20172018,11,2.html>). Pomimo szeroko zakrojonej rekrutacji i poszukiwania osób badanych w wielu w różnorodnych miejscach, nie udało się zainteresować projektem badawczym większej liczby mężczyzn.

Tabela 1

Dane demograficzne osób badanych w podziale na poszczególne grupy.

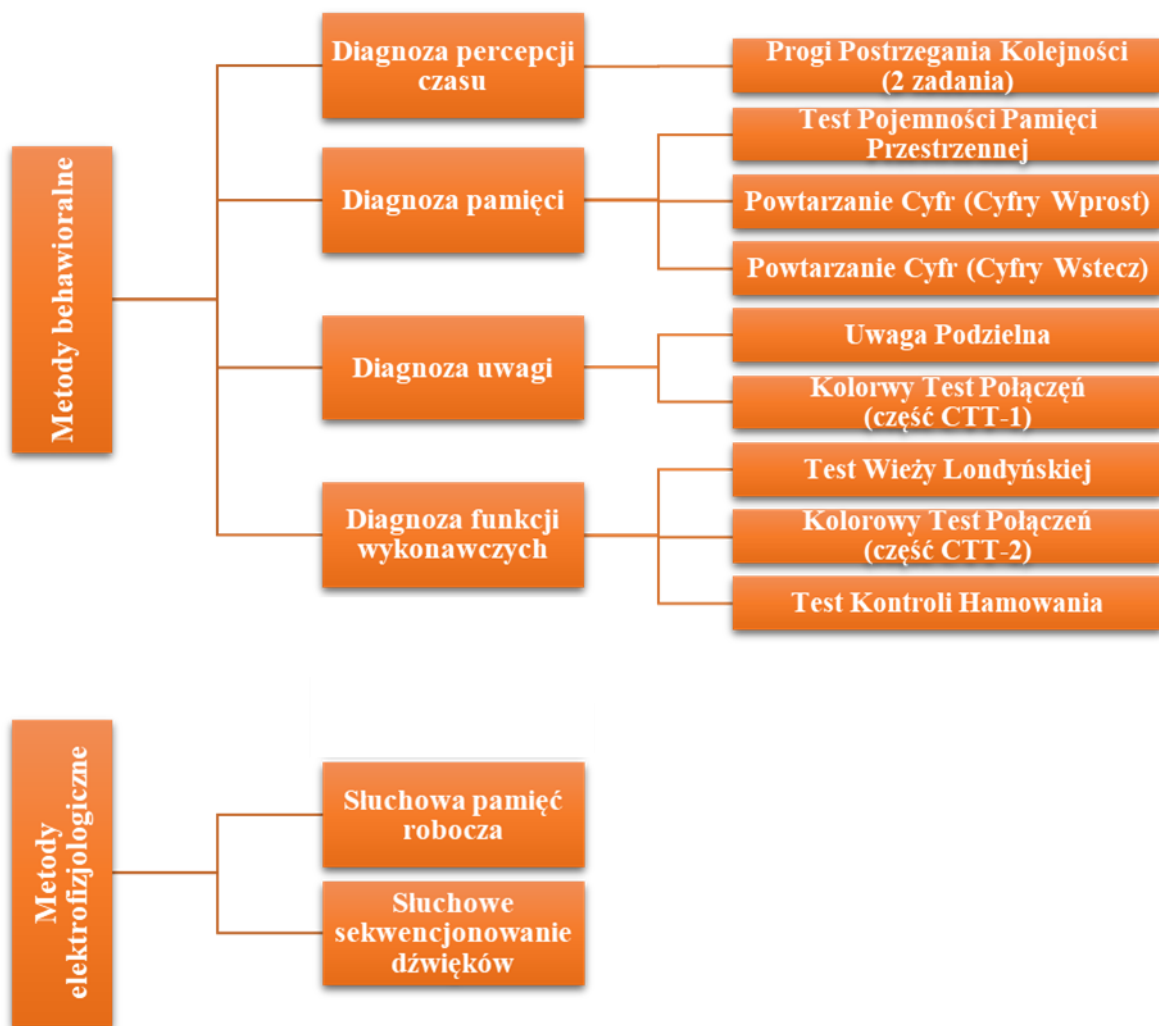
Grupa	n	Płeć		Wiek	Poziom wykształcenia	
		K	M	<i>M (SD)</i>	średnie	wyższe
A	25	22	3	68,7 (4,14)	10	15
B	21	18	3	68,5 (3,56)	8	13
C	23	20	3	68,3 (4,57)	5	15

Grupa A – eksperymentalna, Grupa B – kontrolna aktywna, Grupa C – kontrolna nieaktywna; K – kobiety, M – mężczyźni, Wiek (w latach), Poziom wykształcenia (liczba osób)

3.2. Procedury diagnostyczne

Obszerną diagnostykę funkcjonowania poznawczego wykonano z zastosowaniem metod behawioralnych – testów neuropsychologicznych oraz metod elektrofizjologicznych. Szczegółowe zestawienie tych metod przedstawiono na Ryc. 1.

Wszystkie badania zostały przeprowadzone z każdą osobą indywidualnie, w cichym i odizolowanym pomieszczeniu. Zadbano o komfort i poczucie bezpieczeństwa seniorów biorących udział w badaniu. Wszystkie badania odbywały się w Pracowni Neuropsychologii Instytutu Biologii Doświadczalnej im. M. Nenckiego PAN w Warszawie.



Ryc. 1 Zestawienie zastosowanych procedur diagnostycznych.

3.2.1. Metody behawioralne

3.2.1.1. Diagnoza percepcji czasu

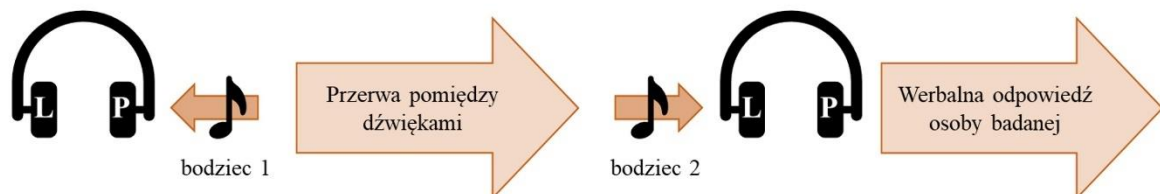
W celu oceny sprawności czasowego opracowywania informacji seniorów w domenie milisekundowej, osoby badane wykonywały dwie procedury (Zadanie 1 oraz Zadanie 2), które różniły się rodzajem zastosowanych bodźców oraz sposobem ich prezentacji. Oba zadania zostały przygotowane przez dr. Jana Churana (Human Science Centre, Uniwersytet Monachijski) oraz przekazane na użytek Pracowni Neuropsychologii.

W obu zadaniach osobom badanym prezentowano kolejno dwa dźwięki w szybkim następstwie czasowym. Długość przerwy pomiędzy dźwiękami w każdej parze odzwierciedlała bieżącą trudność zadania. Bodźce prezentowano przy użyciu słuchawek nausznych Philips SHP8500 na indywidualnie dobieranym, komfortowym dla badanego poziomie głośności. Bodźce dźwiękowe zostały wygenerowane przy użyciu sterownika: Realtek ALC3246 Waves MaxxAudio Pro software. Wskaźnikiem sprawności percepcji czasu w domenie milisekundowej w obu zadaniach były Progi Postrzegania Kolejności (PPK; por. Wstęp, Podrozdział 1.4.1., str. 53). PPK jest definiowany jako najkrótsza przerwa pomiędzy dwoma szybko następującymi po sobie bodźcami, niezbędna do określenia przez badanego ich prawidłowej kolejności na poziomie 75% poprawności (Szeląg i wsp., 2018).

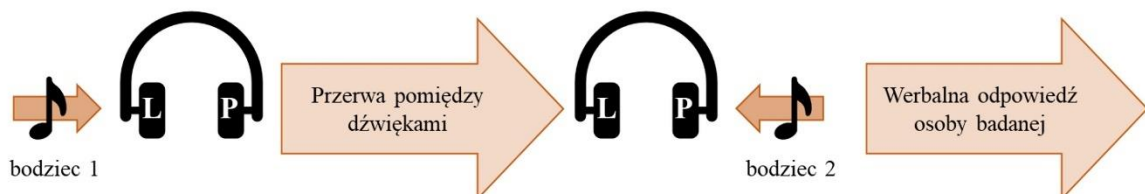
Zadanie 1: Próg Postrzegania Kolejności – prezentacja rozdzielności

W Zadaniu 1 jako bodźcami były pary identycznych, 1-milisekundowych dźwięków (klików) o prostokątnej charakterystyce fali. Bodźce prezentowano rozdzielności, tj. pierwszy dźwięk z pary prezentowany był do jednego ucha, a drugi do drugiego ucha (Ryc. 2). Jak wspomniano powyżej, bodźce w każdej parze oddzielała przerwa o zmieniającej się długości trwania. Zadaniem osoby badanej było werbalne określenie kolejności prezentowanych dźwięków, wybierając spośród dwóch możliwości: *prawy – lewy* lub *lewy – prawy*.

(A) *Sekwencja prawy – lewy*



(B) *Sekwencja lewy – prawy*

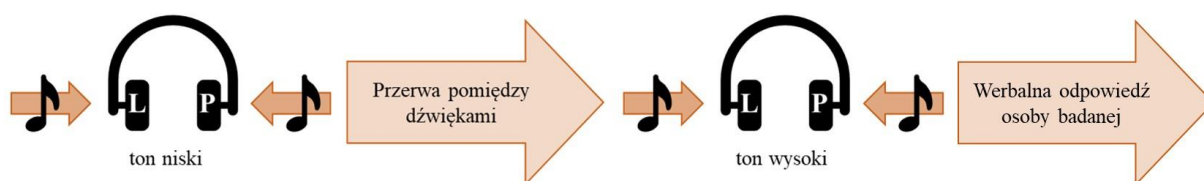


Ryc. 2 Schemat prezentacji bodźców w zadaniu rozdzielności.

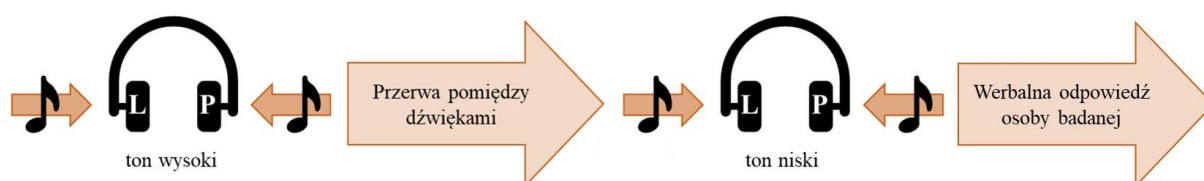
Zadanie 2: Próg Postrzegania Kolejności w wariancie obuusznym

W Zadaniu 2, bodźcami były pary dwóch 10-milisekundowych sinusoidalnych tonów różniących się częstotliwością: 400 Hz (*ton niski*) i 3000 Hz (*ton wysoki*). Każdy ton z pary był prezentowany do obu uszu jednocześnie w dwóch alternatywnych sekwencjach: *wysoki – niski* lub *niski – wysoki* (Ryc. 3). Tony w parze oddzielała przerwa o zmiennej długości trwania. Również w trakcie tej procedury, osoby badane werbalnie udzielały odpowiedzi odnośnie usłyszanej kolejności, wybierając spośród dwóch możliwości: *niski – wysoki* lub *wysoki – niski*.

(A) Sekwencja niski – wysoki



(B) Sekwencja wysoki – niski



Ryc. 3 Schemat prezentacji bodźców w zadaniu obuusznym.

Przebieg badania

Zadanie 1 i oraz Zadanie 2 wykonano wg tej samej procedury. Badania zawsze odbywały się w dźwiękoszczelnym pokoju badawczym. Aby odpowiednio ukierunkować uwagę osoby badanej, każdą parę dźwięków poprzedzał sygnał ostrzegawczy prezentowany obuusznie 1000 ms przed pierwszym bodźcem z każdej pary.

Przed przystąpieniem do badania właściwego, podawano werbalną instrukcję, po której następowała sesja wstępna. W celu zaznajomienia osób badanych z zadaniem, w sesji wstępnej najpierw prezentowano pary dźwięków ze stosunkowo długą przerwą pomiędzy bodźcami w parze (adekwatnie do Zadania 1 lub Zadania 2). Po udzieleniu przez badanego odpowiedzi o kolejności bodźców w parze, podawano informację zwrotną dotyczącą poprawności odpowiedzi. Po upewnieniu się, że badany zrozumiał instrukcję i poprawnie wykonywał

zadanie, rozpoczynano badanie właściwe, w trakcie którego osoby badane nie otrzymywały informacji zwrotnej o poprawności wykonania.

Etapy badania właściwego

Wynik w obu zadaniach mierzących sprawność czasowego opracowywania informacji był szacowany na podstawie adaptacyjnego algorytmu opartego na metodzie maksymalnego prawdopodobieństwa (Treutwein, 1997). Procedura ta obejmowała dwa etapy:

Etap I: osobie badanej prezentowano 20 par dźwięków o określonej długości przerwy pomiędzy bodźcami w parze. W pierwszych 10 próbach przerwa skracała się, a w kolejnych 10 próbach wzrastała.

W zadaniu rozdzielnościowym przerwa pomiędzy dźwiękami w parze zmieniała się w zakresie od 160 ms do 1 ms. W pierwszych 10 próbach skracała się o 18 ms, a w pozostałych 10 próbach wzrastała kolejno o 18 ms.

W zadaniu obuusznym stosowano przedział pomiędzy dźwiękami w parze w zakresie od 240 ms do 1 ms. Każda para dźwięków skracała się (pierwsze 10 prób) lub wzrastała (pozostałe 10 prób) kolejno o 27 ms.

Różne zakresy zastosowane w zadaniu rozdzielnościowym i obuusznym wynikają z wcześniejszych badań prowadzonych nad tym paradygmatem w Pracowni Neuropsychologii, które wykazały różnorodny poziom wykonania tych dwóch zadań przez osoby starsze (Szelaąg i wsp., 2018).

Na podstawie poprawności odpowiedzi w 20 zaprezentowanych próbach w etapie I, algorytm wyznaczał długość przerwy pomiędzy dźwiękami w pierwszej próbie etapu II.

Etap II: osobie badanej prezentowano 50 par dźwięków, a długość przerwy pomiędzy bodźcami w parze zmieniała się adaptacyjnie: w przypadku poprawnej odpowiedzi skracała się, natomiast po błędnej odpowiedzi wydłużała się. W pierwszym przypadku długość przerwy skracała się o 0,5–5% długości przerwy w stosunku do poprzedniej próby. Natomiast w przypadku błędnej odpowiedzi, wzrastała o 10–20% w porównaniu do poprzedniej próby. Dokładne wartości były losowane przez algorytm z powyżej wyznaczonych przedziałów procentowych.

Na podstawie łącznie 70 prób z obu etapów (tj. 20 etapu I i 50 z etapu II), algorytm wyznaczał wartość PPK dla każdej osoby badanej.

Pomiar PPK w obrębie obu zadań: rozdzielności i obuusznego wykonano dwukrotnie w trakcie odrębnych sesji diagnostycznych przeprowadzonych w kilkudniowym odstępie. W trakcie analiz statystycznych zastosowano średnią z obu pomiarów uzyskanych dla Zadania 1 oraz Zadania 2.

WSKAŹNIKI WYKONANIA:

Próg Postrzegania Kolejności w zadaniu rozdzielności (PPK-R)

Próg Postrzegania Kolejności w zadaniu obuusznym (PPK-O).

3.2.1.2. Diagnoza procesów pamięciowych

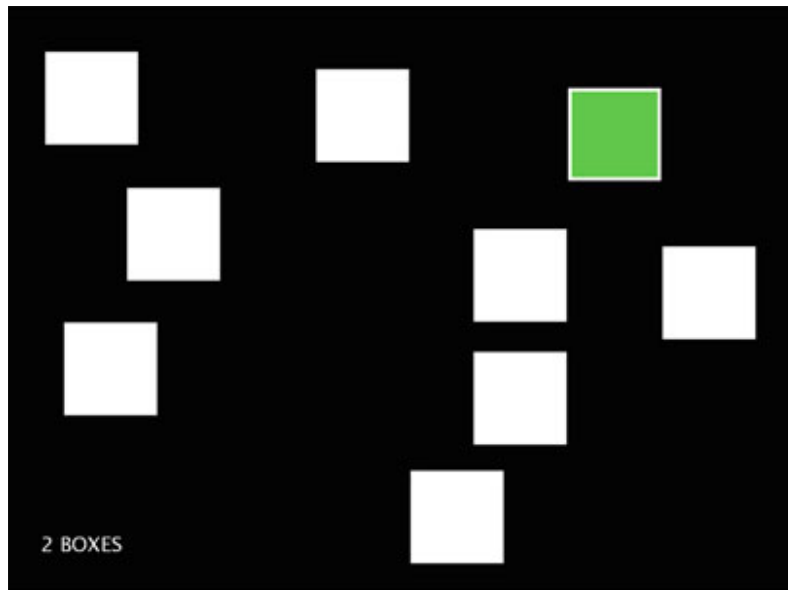
Aby ocenić poziom funkcjonowania pamięci osób badanych, wykorzystano następujące testy:

- Test Pojemności Pamięci Przestrzennej (ang. *Spatial Span*, SSP) z baterii Cambridge Neuropsychological Test Automated Battery, CANTAB, 2014);
- Test Powtarzania Cyfr ze Skali Inteligencji Wechslera dla Dorosłych – WAIS-R (PL) (Brzeziński i wsp., 2011).

Test Pojemności Pamięci Przestrzennej (SSP)

SSP pozwala ocenić pojemność pamięci krótkotrwałej i jest zmodyfikowaną oraz skomputeryzowaną wersją klasycznego testu Klocki Corsiego (Corsi, 1972).

Zadaniem osoby badanej było zapamiętanie i poprawne odtworzenie kolejności prezentowanych bodźców wzrokowych. Test przeprowadzono na laptopie z ekranem dotykowym. Osobom badanym prezentowano na ekranie matrycę 9 białych kwadratów, która nie zmieniała się w kolejnych próbach (por. Ryc. 4). W danej próbie część kwadratów podświetlała się kolejno w intensywnym kolorze (np. zielonym lub fioletowym), tworząc w ten sposób sekwencję, którą należało zapamiętać. Następnie, sygnał dźwiękowy informował osoby badane o zakończeniu prezentowania sekwencji. Po usłyszeniu sygnału, osoby badane miały za zadanie poprawnie odtworzyć zapamiętaną wcześniej sekwencję poprzez dotknięcie kwadratów na ekranie w odpowiedniej kolejności.



Ryc. 4 Przykład planszy testowej prezentowanej osobom badanym w Teście Pojemności Pamięci Przestrzennej (źródło: CANTAB, Cambridge Cognition, 2014).

Testowanie rozpoczynano od sekwencji złożonej z dwóch kwadratów. W przypadku udzielenia poprawnej odpowiedzi przez osobę badaną, kolejna próba była trudniejsza – liczba podświetlanych kwadratów zwiększała się o jeden. W lewym dolnym rogu ekranu wyświetlana była informacja o liczbie kwadratów do zapamiętania w bieżącej sekwencji. Udzielenie 3 kolejnych błędnych odpowiedzi w zadaniu o danym poziomie trudności (tj. o tej samej liczbie kwadratów w sekwencji do odtworzenia) skutkowało automatycznym zakończeniem testowania. Właściwe wykonanie testu poprzedzała werbalna instrukcja połączona z sesją wstępną, w trakcie której osoba badana mogła zapoznać się z zasadami testu i sposobem udzielania odpowiedzi.

WSKAŹNIK WYKONANIA:

Pojemność Pamięci Przestrzennej – liczba kwadratów, których kolejność odtworzono poprawnie w ostatniej próbie.

Powtarzanie Cyfr (Skala Inteligencji Wechslera dla Dorosłych)

Test Powtarzanie Cyfr służy do oceny sprawności pamięci krótkotrwałej oraz roboczej. Test obejmuje dwa podtesty: Cyfry Wprost (ocena pojemności pamięci krótkotrwałej) oraz Cyfry Wstecz (ocena pojemności pamięci roboczej).

Cyfry Wprost

Podtest Cyfry Wprost pozwala ocenić zakres pamięci krótkotrwałej werbalnej. Zadaniem osoby badanej jest zapamiętanie sekwencji cyfr, które odczytuje prowadzący badanie, a następnie powtórzenie ich w prawidłowej kolejności. Test rozpoczyna się od sekwencji 3-elementowych, a najdłuższe sekwencje mają 9 elementów.

Cyfry Wstecz

Podtest Cyfry Wstecz bada zakres pamięci roboczej. Osoba badana ma za zadanie zapamiętać sekwencję odczytywanych przez prowadzącego badania cyfr, a następnie powtórzyć ją w kolejności odwrotnej do przeczytanej (tj. cyfry odczytane w sekwencji: 3–5–8 zostaną poprawnie powtórzone w kolejności: 8–5–3). Zadanie rozpoczynano od sekwencji 2-elementowych, a najdłuższe sekwencje składały się 8 cyfr.

Oba podtesty przeprowadzano wg tego samego schematu, zgodnie z instrukcją. Każdy z podtestów zawierał po 14 sekwencji cyfr – po 2 sekwencje przypadły na próby o takiej samej liczbie elementów do zapamiętania. Za każdą poprawnie odtworzoną sekwencję osoba badana otrzymywała 1 punkt. Test kończono w momencie, w którym badany błędnie odtworzył sekwencje cyfr z 2 kolejnych prób o takiej samej liczbie elementów.

WSKAŹNIKI WYKONANIA:

Pojemność Pamięci Krótkotrwałej – liczba cyfr w ostatniej poprawnie odtworzonej sekwencji w podteście Cyfry Wprost;

Pojemność Pamięci Roboczej – liczba cyfr w ostatniej poprawnie odtworzonej sekwencji w podteście Cyfry Wstecz.

3.2.1.3. Diagnoza procesów uwagowych

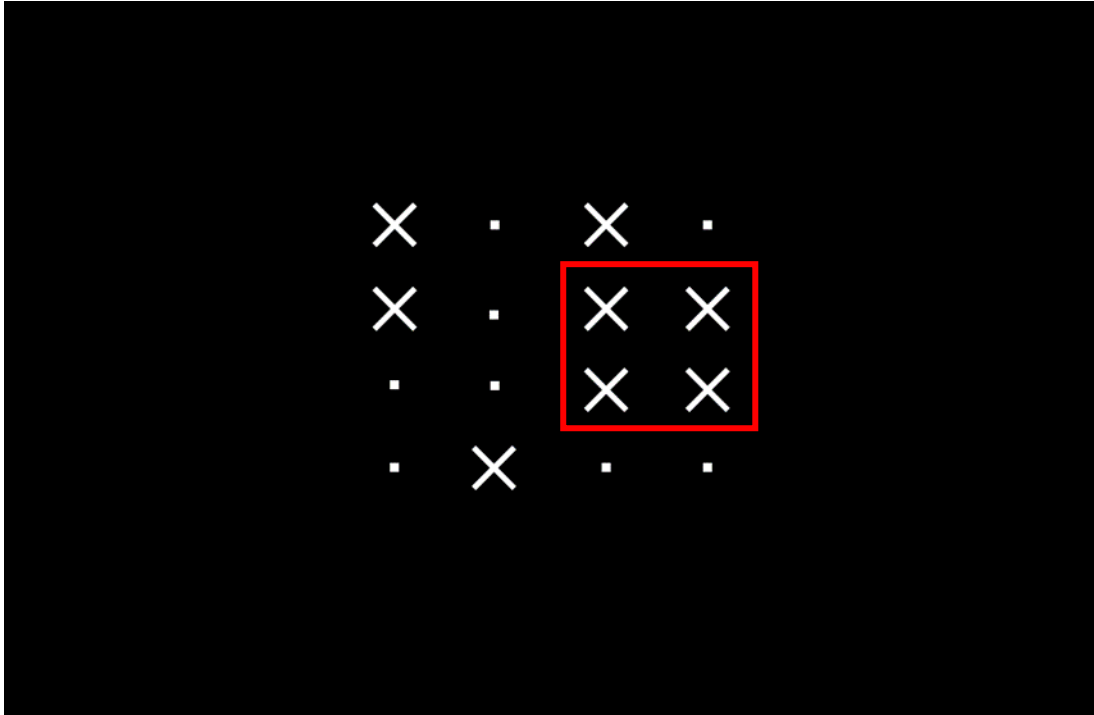
Do diagnozy uwagi posłużyły dwa narzędzia:

- Test Podzielności Uwagi (ang. *Divided Attention*) z baterii Test of Attentional Performance (TAP; Zimmermann i Fimm, 2007)
- Kolorowy Test Połączeń wersja dla dorosłych (część CTT-1; Łojek i Stańczak, 2012).

Test Podzielności Uwagi

Test mierzy zdolność do podzielności uwagi przy zastosowaniu bodźców o różnej modalności. Badanemu prezentowano jednocześnie bodźce wzrokowe oraz słuchowe. W przypadku bodźców wzrokowych wyświetlano planszę, na której zmieniało się położenie krzyżyków, które mogły pojawiać się w każdym z wykropkowanych miejsc prezentowanej matrycy (Ryc. 5). Jednocześnie, w czasie prezentacji bodźców wzrokowych, badany słyszał dwa tony – wysoki i niski, które były prezentowane naprzemiennie (tj. w kolejności *wysoki–niski–wysoki–niski–...*). Zadaniem osoby badanej było jak najszybsze wciśnięcie przycisku reakcji za każdym razem, gdy:

- zauważył, że cztery znajdujące się obok siebie krzyżyki tworzą kwadrat (Ryc. 5);
- usłyszał kolejno dwa takie same tony (tj. *wysoki–wysoki* lub *niski–niski*).



Ryc. 5 Przykładowy schemat planszy z bodźcami wzrokowymi w Teście Podzielności Uwagi. W trakcie testowania nie wyświetlano czerwonej ramki wskazującej docelowy kwadrat, na który należy zareagować – ramka została dodana w powyższym schemacie, aby właściwie zobrazować zadanie.

Właściwe wykonanie testu poprzedzała werbalna instrukcja. Następnie badanemu demonstrowano najpierw bodźce wzrokowe, a następnie bodźce słuchowe. Po zapoznaniu badanego z bodźcami obu modalności, przeprowadzano sesję wstępną, w trakcie której badany zapoznawał się z procedurą. W dalszym etapie następowało badanie właściwe.

WSKAŹNIKI WYKONANIA:

Liczba błędów popełnionych w przypadku bodźców wzrokowych – liczba pominięć (badany nie zareagował na utworzony z krzyżyków kwadrat);

Czas reakcji na bodźce wzrokowe – mediana czasu poprawnych reakcji;

Liczba błędów popełnionych w przypadku bodźców słuchowych – liczba pominięć (badany nie zareagował na zaprezentowane pod rząd dwa takie same tony);

Czas reakcji na bodźce słuchowe – mediana czasu poprawnych reakcji.

Kolorowy Test Połączeń (część CTT-1)

Kolorowy Test Połączeń (CTT) składa się z dwóch części: CCT-1 oraz CTT-2¹. CTT-1 umożliwia diagnozę utrzymywania oraz przerzutności uwagi. Test zawiera papierowy arkusz z dwoma ponumerowanymi od 1 do 25 zestawami pól (w dwóch kolorach: żółtym i różowym). Zadaniem osoby badanej było jak najszybsze połączenie liczb od 1 do 25 w kolejności rosnącej. Badanego informowano, aby łączył liczby w odgórnie ustalonym kolorze (na arkuszu testowym jest zaznaczone różowe lub żółte pole z liczbą 1, od którego osoba badana rozpoczyna wykonywanie testu). Badany był instruowany, aby w trakcie łączenia liczb nie odrywać ołówka od kartki.

WSKAŹNIK WYKONANIA:

Czas wykonania CCT-1.

3.2.1.4. Diagnoza funkcji wykonawczych

Diagnozę funkcji wykonawczych przeprowadzono z zastosowaniem trzech narzędzi:

- Test Wieży Londyńskiej (ang. *Tower of London – Freiburg version*; TOL-F; Wiedeński System Testów; <https://www.schuhfried.com/test/TOL-F>);
- Kolorowy Test Połączeń wersja dla dorosłych (część CTT-2; Łojek i Stańczak, 2012);
- Test Kontroli Hamowania (ang. *Incompatibility*) z baterii Test of Attentional Performance (TAP; Zimmermann i Fimm, 2007)

Test Wieży Londyńskiej (TOL-F)

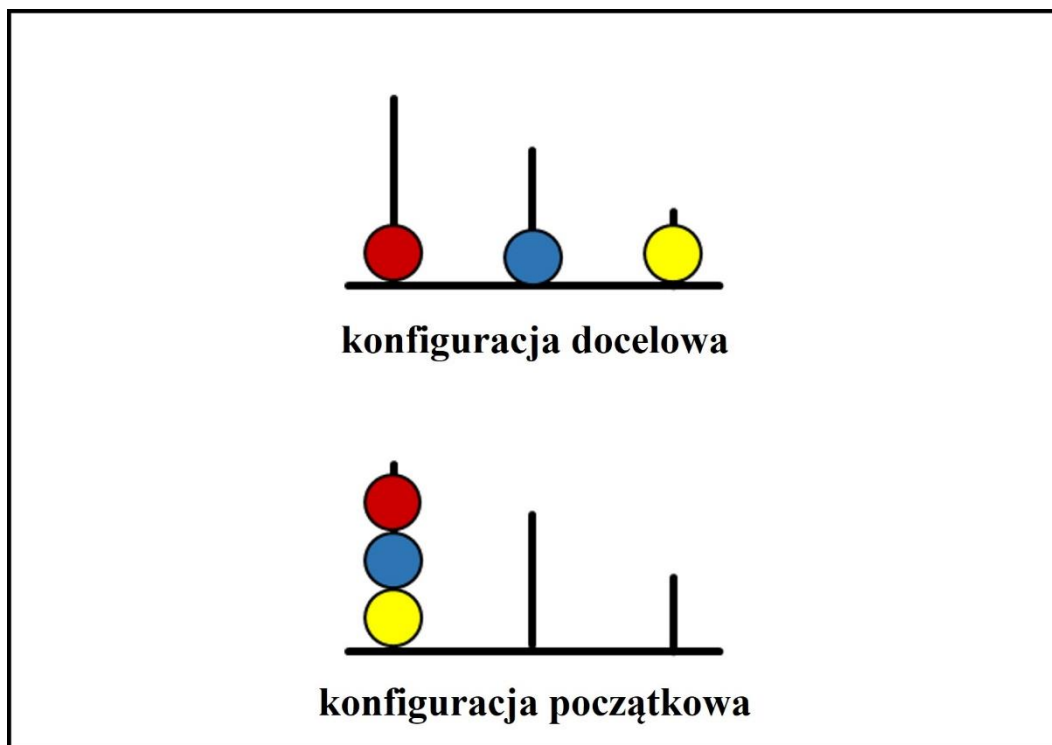
TOL-F pozwala ocenić poziom funkcji wykonawczych poprzez pomiar zdolności planowania. Test składa się z 24 zadań kolejno wykonywanych przez badanego. Poszczególne zadania wyświetlano na ekranie laptopa: w dolnej części prezentowano badanemu konfigurację początkową, a w górnej części ekranu konfigurację docelową. Zarówno schematy przedstawiające układ początkowy, jak i docelowy prezentowały trzy piłeczki w różnym

¹ por. Podrozdział 3.2.1.4., str. 78–79

kolorze (żółtym, czerwonym oraz niebieskim), a także trzy drążki różniące się wysokością, na których umieszczone były piłeczki (Ryc. 6). Zadaniem osoby badanej było przełożenie piłeczek w minimalnej liczbie ruchów z konfiguracji początkowej do konfiguracji docelowej. W trakcie wykonywania poszczególnych zadań proszono badanych o przestrzeganie następujących reguł:

- w bieżącym momencie można przekładać tylko jedną piłeczkę;
- piłeczek nie wolno umieszczać w przestrzeni poza drążkami;
- każdy drążek mieści określoną liczbę piłeczek: najwyższy mieści trzy piłeczki, pośredni dwie, a najniższy drążek mieści tylko jedną piłeczkę.

Test składał się z trzech części o wzrastającym poziomie trudności, który definiowała minimalna liczba ruchów, w ilu można było poprawnie wykonać zadanie. Każda z części zawierała 8 zadań. Zadania łatwe wymagały minimalnie 4 ruchów, zadania średnio trudne 5 ruchów, a zadania trudne wymagały 6 ruchów, aby optymalnie wykonać zadanie.



Ryc. 6 Schemat układu pojedynczego zadania na przykładzie zadania średnio trudnego.

Właściwe wykonanie testu poprzedzone było instrukcją oraz sesją wstępną, w trakcie której upewniano się, że osoby badane rozumieją instrukcję oraz reguły testu. Badanych instruowano, aby:

- zawsze planować swoje ruchy przed przystąpieniem do ich wykonania;
- zadania rozwiązywać możliwie jak najszybciej;
- starać się rozwiązywać zadania w minimalnej liczbie ruchów.

Limit czasu dla każdego zadania wynosił 1 minutę. Po przekroczeniu limitu czasu, program automatycznie rozpoczynał kolejne zadanie. Przekroczenie limitu czasu w trzech kolejnych zadaniach skutkowało automatycznym zakończeniem testowania.

W ramach TOL–F wyróżnia się dwie możliwości rozwiązania zadań:

- zadania rozwiązane poprawnie i ukończone w minimalnej liczbie ruchów;
- zadania rozwiązane poprawnie i ukończone w nadmiarowej liczbie ruchów.

WSKAŹNIKI WYKONANIA:

Zdolność planowania – liczba zadań wykonanych poprawnie w minimalnej liczbie ruchów;

Poprawność wykonania – liczba zadań wykonanych poprawnie zarówno w minimalnej liczbie ruchów, jak i w nadmiarowej liczbie ruchów;

Czas planowania – średni czas ze wszystkich poprawnie wykonanych zadań, liczony od zaprezentowania bieżącego zadania do wykonania pierwszego ruchu przez badanego;

Czas wykonania – średni czas ze wszystkich poprawnie rozwiązanych zadań, liczony od wykonania przez badanego pierwszego ruchu do osiągnięcia stanu docelowego.

Kolorowy Test Połączeń (część CTT–2)

CTT–2 pozwala ocenić funkcje wykonawcze w kontekście elastyczności poznawczej oraz kontroli hamowania (Rakoczy, 2015). Na test składa się papierowy arkusz z dwoma

ponumerowanymi od 1 do 25 zestawami pól (w kolorze żółtym i różowym). Zadaniem osoby badanej jest jak najszybsze połączenie liczb w kolejności rosnącej przy jednoczesnym zachowaniu naprzemiennej kolorystyki kolejnych liczb. Osoba badana jest instruowana, aby w trakcie łączenia liczb nie odrywać ołówka od kartki.

WSKAŹNIK WYKONANIA:

Czas wykonania CCT-2.

Test Kontroli Hamowania

Test pozwala ocenić zdolność do wyhamowania reakcji poprzez wywołanie sytuacji konfliktowej. Osobie badanej prezentowano ekran z umieszczonym na środku punktem fiksacji wzroku.

Bodźcami prezentowanymi w trakcie testu były dwie strzałki:

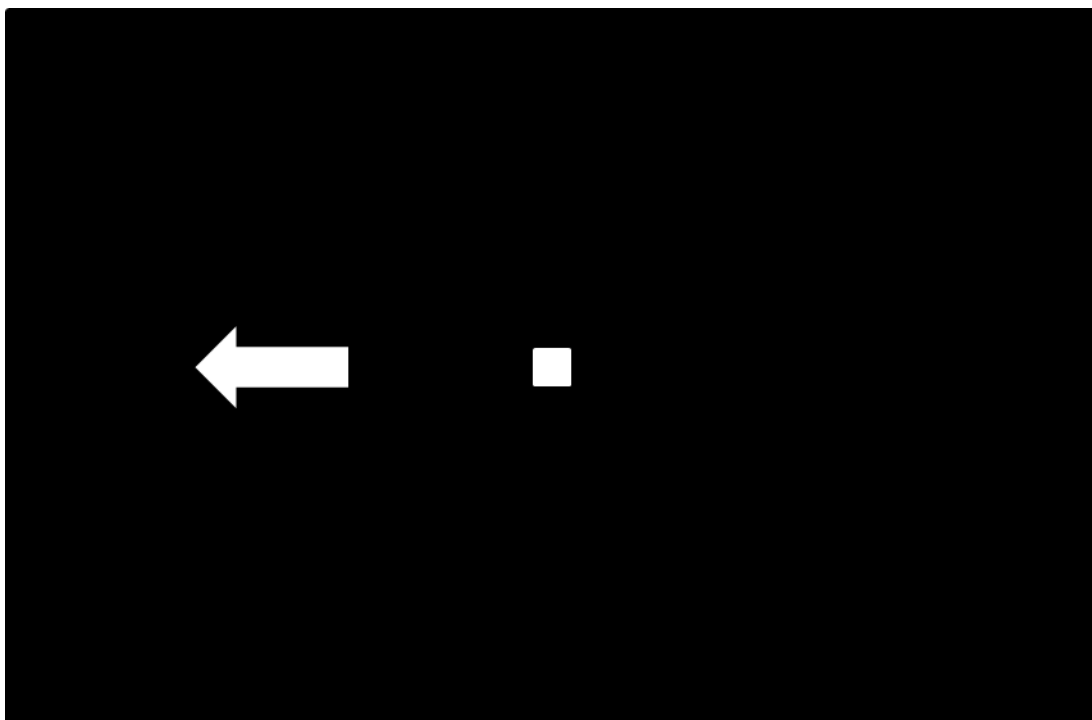
- strzałka zwrócona grotem w lewo;
- strzałka zwrócona grotem w prawo.

W trakcie testowania każdorazowo w prawej lub lewej części ekranu pojawiała się jedna strzałka. Możliwe były 4 konfiguracje:

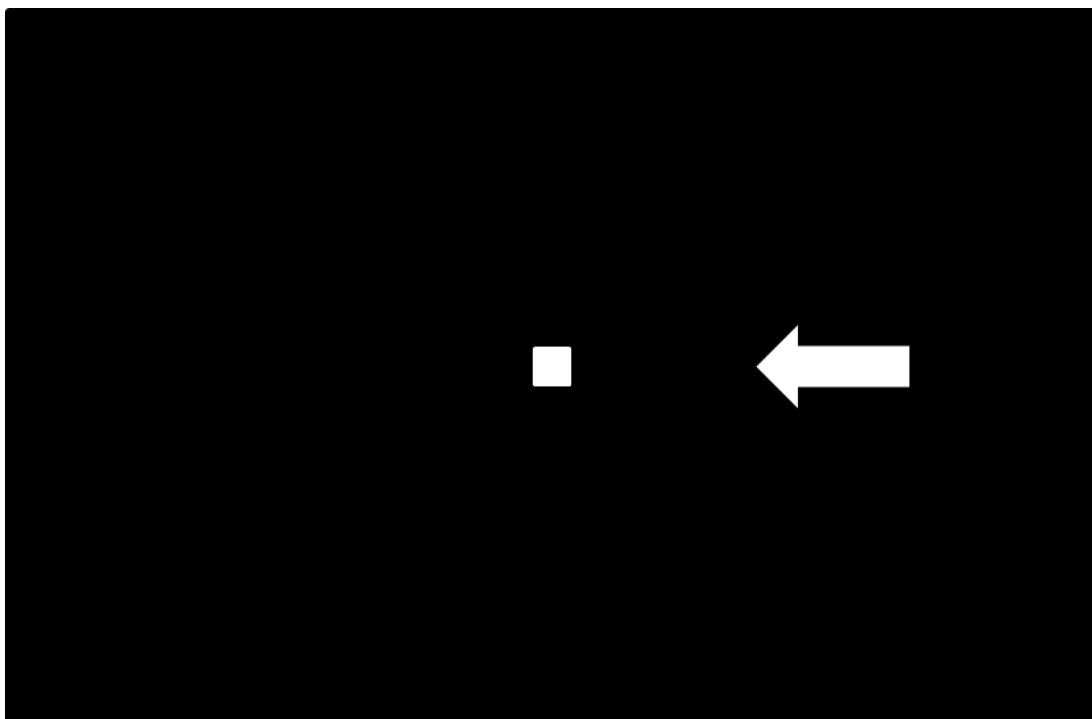
- strzałka zwrócona grotem w lewo w lewej części ekranu;
- strzałka zwrócona grotem w lewo w prawej części ekranu;
- strzałka zwrócona grotem w prawo w prawej części ekranu;
- strzałka zwrócona grotem w prawo w lewej części ekranu.

Osoba badana miała do wyboru dwa przyciski: lewy (naciskany lewą dłonią) oraz prawy (naciskany prawą dłonią). Zadaniem badanego było zareagowanie, tj. naciśnięcie przycisku reakcji zgodnie ze zwrotem prezentowanej strzałki (np. jeśli strzałka zwrócona w lewo pojawiła się w lewej lub prawej części ekranu, osoba badana powinna wcisnąć lewą dłonią lewy przycisk reakcji, por. Ryc. 7A, 7B).

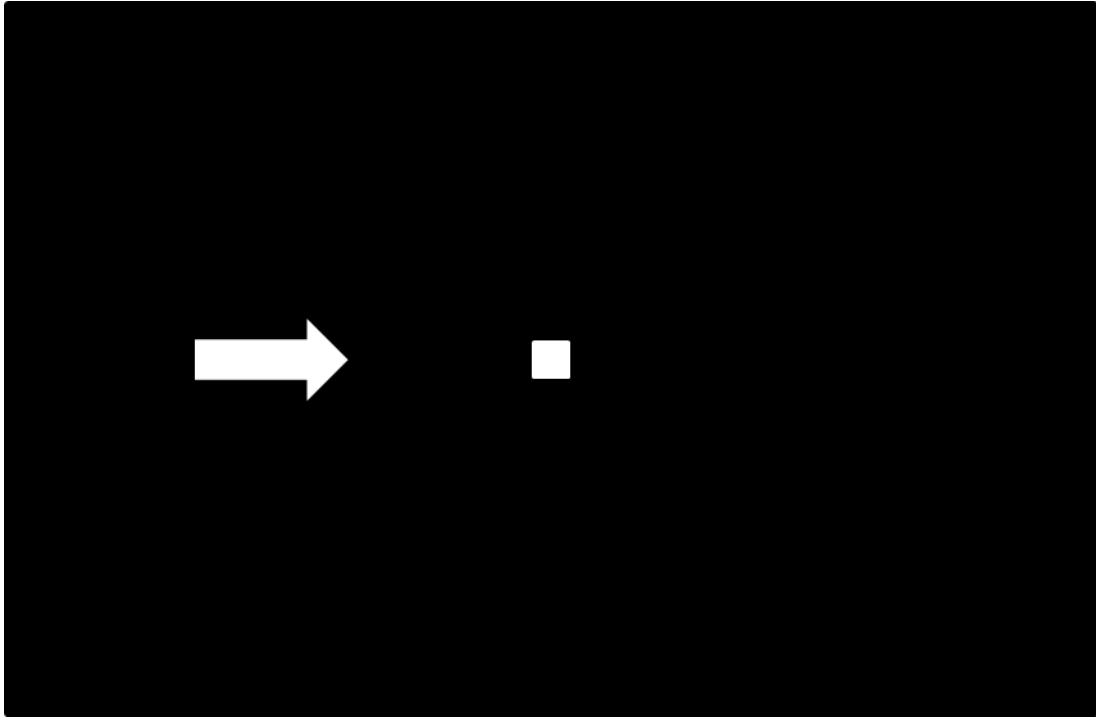
(A)



(B)



Ryc. 7 Schematy prezentowania bodźców w Teście Kontroli Hamowania.



Ryc. 8 Schemat prezentowania bodźców w sytuacji konfliktowej w Teście Kontroli Hamowania. Konflikt wywołany został sytuacją, w której grot strzałki skierowany jest w prawo, natomiast strzałka prezentowana jest w lewej części ekranu.

Docelową reakcję hamowania wywoływała sytuacja konfliktowa, tj. prezentacja strzałki zwróconej w stronę przeciwną do strony ekranu, na której się pojawiała (np. prezentacja strzałki zwróconej w prawo w lewej części ekranu, por. Ryc. 8).

Właściwe wykonanie testu poprzedzała werbalna instrukcja, a także sesja wstępna.

WSKAŹNIKI WYKONANIA:

Reakcje niekompatybilne lewostronne – liczba poprawnych reakcji w sytuacji konfliktowej prezentowanej w lewym polu widzenia;

Reakcje niekompatybilne prawostronne – liczba poprawnych reakcji w sytuacji konfliktowej prezentowanej w prawym polu widzenia;

Czas reakcji niekompatybilnych lewostronnych – mediana czasu poprawnych reakcji w sytuacji konfliktowej prezentowanej w lewym polu widzenia;

Czas reakcji niekompatybilnych prawostronnych – mediana czasu poprawnych reakcji w sytuacji konfliktowej prezentowanej w lewym polu widzenia.

3.2.1.5. Podsumowanie wskaźników stosowanych w diagnozie neuropsychologicznej

Tabela. 2 Podsumowanie zmiennych

Diagnozowana funkcja poznawcza	Zastosowany test	Miara wykonania
Percepcja czasu	Pomiar Progu Postrzegania Kolejności w wariancie rozdzielnościowym	Pomiar Progu Postrzegania Kolejności w zadaniu rozdzielnościowym
	Pomiar Progu Postrzegania Kolejności w wariancie obuusznym	Pomiar Progu Postrzegania Kolejności w zadaniu obuusznym
Pamięć	Test Pojemności Pamięci Przestrzennej	Pojemność Pamięci Przestrzennej
	Powtarzanie Cyfr – Cyfry Wprost	Pojemność Pamięci Krótkotrwałej
	Powtarzanie Cyfr – Cyfry Wstecz	Pojemność Pamięci Roboczej

Uwaga	Test Podzielności Uwagi	Liczba błędów w przypadku bodźców wzrokowych
		Czas reakcji na bodźce wzrokowe
		Liczba błędów w przypadku bodźców słuchowych
		Czas reakcji na bodźce słuchowe
Funkcje wykonawcze	Kolorowy Test Połączeń (część CTT-1)	Czas wykonania CCT-1
	Test Wieży Londyńskiej	Zdolność planowania
		Poprawność wykonania
		Czas planowania
		Czas wykonania
	Kolorowy Test Połączeń (część CTT-2)	Czas wykonania CCT-2
	Test Kontroli Hamowania	Reakcje niekompatybilne lewostronne
		Reakcje niekompatybilne prawostronne
		Czas reakcji niekompatybilnych lewostronnych
		Czas reakcji niekompatybilnych prawostronnych

3.2.2. Metody elektrofizjologiczne

Badanie elektroencefalograficzne (EEG) jest jedną z metod stosowanych w badaniach nad funkcjonowaniem mózgu. EEG jako bezinwazyjna metoda umożliwia monitorowanie zmian aktywności elektrycznej kory mózgowej w wysokiej rozdzielczości czasowej, co z kolei pozwala dokładnie śledzić przebieg zachodzących procesów poznawczych. W niniejszej pracy zastosowano metodę EEG w celu sprawdzenia, czy obserwowanym efektem treningów na poziomie behawioralnym, towarzyszą zmiany na poziomie neuronalnym.

Zastosowano więc metodę potencjałów wywołanych związanych ze zdarzeniem (ang. *Event Related Potentials*, ERP), czyli rejestrowano i analizowano krótkotrwałe bioelektryczne zmiany aktywności kory mózgu, które pojawiają się w reakcji na prezentowane bodźce. W niniejszej rozprawie doktorskiej zastosowano dwie różne procedury badawcze, które miały na celu poznanie neurofizjologicznych korelatów zmian pracy mózgu w wyniku zastosowanego treningu. Skoncentrowano się na badaniu pamięci roboczej oraz percepcji czasu.

3.2.2.1. Procedura 1 – Słuchowa pamięć robocza (zadanie *n*–wstecz)

W badaniu zastosowano i zaadaptowano procedurę *n*–wstecz (Kirchner, 1958; Jaeggi i wsp., 2010), która służy ocenie pamięci roboczej. W zadaniu *n*–wstecz prezentowany jest ciąg bodźców o określonej modalności, a osoba badana musi ocenić, czy aktualnie prezentowany bodziec, jest taki sam jak *n* bodźców wcześniej.

Materiał

Przy użyciu słuchawek dousznych Pioneer-SE-CL621TV badanym prezentowano 30 sylab złożonych z następujących spółgłosek: b, d, g, l, m, z oraz samogłosek: a, e, o, u, y. Długość każdej sylaby wynosiła 300 ms. Bodźce prezentowano na stałym poziomie głośności, który wynosił 80 dB (SPL). Pomiar głośności przeprowadzono z wykorzystaniem sztucznego ucha firmy Brüel & Kjær (Artificial Ear Type 4153).

Wszystkie zastosowane bodźce mogły być zarówno bodźcami docelowymi jak i dystrakcyjnymi. O charakterze bodźca w danej sytuacji decydowało jego położenie w sekwencji prezentowanych sylab (Ryc. 9).

Procedura

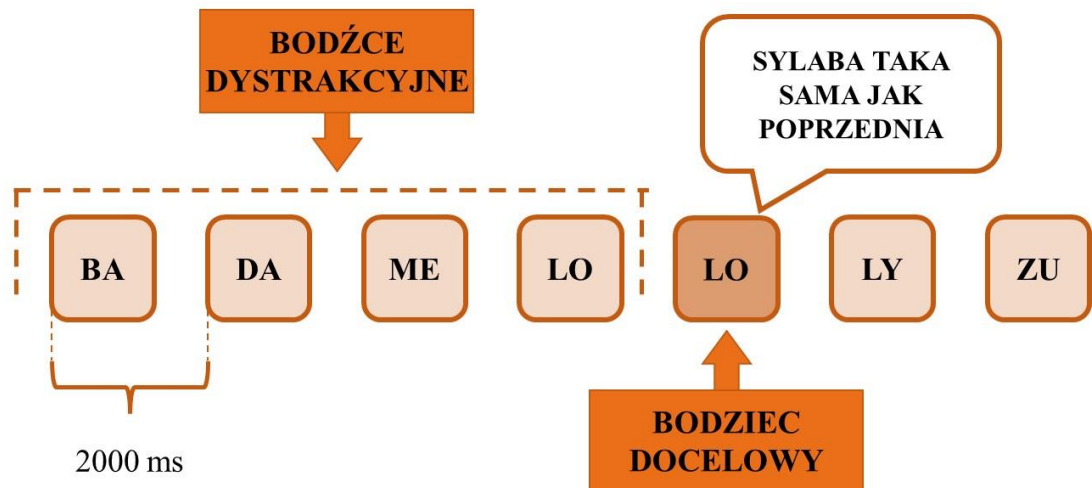
Sylaby prezentowano przy pomocy programu Presentation Software v. 4.19 (Neurobehavioural Systems, Inc.). Interwał czasowy pomiędzy bodźcami (ang. *Stimulus Onset Asynchrony*, SOA), tj. przedział czasu mierzony od początku danego bodźca do początku prezentacji kolejnego bodźca, wynosił 2000 ms.

W badaniu zastosowano 2 warunki zadania o różnych stopniach trudności (Ryc. 9):

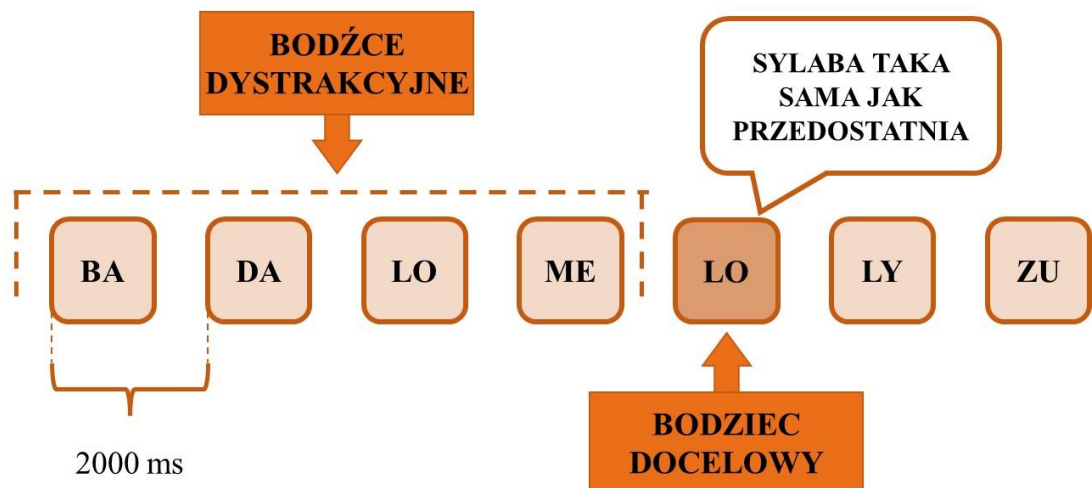
- warunek 1–wstecz (łatwy) – bodziec docelowy był taki sam, jak poprzedni prezentowany w sekwencji;

- warunek 2-wstecz (trudny) – bodziec docelowy był taki sam, jak przedostatni prezentowany w sekwencji.

Warunek 1-wstecz:



Warunek 2-wstecz:



Ryc. 9 Schemat procedury *n*-wstecz zastosowanej w badaniu EEG.

Badanie składało się z 4 serii bloków (2 bloki dla zadania 1-wstecz oraz 2 bloki dla zadania 2-wstecz). Każdy blok trwał 6 minut i zawierał 180 bodźców. Występowało w nim 30 bodźców docelowych, wymagających reakcji osoby badanej (naciśnięcia przycisku) oraz 150 bodźców dystrykcyjnych. Łącznie w badaniu zaprezentowano:

- 120 bodźców docelowych (60 w warunku 1–wstecz oraz 60 w warunku 2–wstecz);
- 600 bodźców dystrykcyjnych (300 w warunku 1–wstecz oraz 300 w warunku 2–wstecz).

Procedura badawcza trwała ok. 24 minuty.

Zadaniem osoby badanej było naciśnięcie przycisku na konsoli CEDRUS za każdym razem, gdy wystąpił bodziec docelowy w aktualnie prezentowanym warunku zadania.

Osoby badane zostały poinstruowane, aby w trakcie prezentacji bodźców słuchowych nie wykonywać ruchów głową oraz koncentrować wzrok na punkcie fiksacji (biały symbol „+”), który był wyświetlany na ciemnoszarym ekranie przez cały czas trwania badania. Miało to na celu minimalizację artefaktów ruchowych.

Aby zbalansować wykonanie zadania i wykluczyć wpływ kolejności prezentowanych bloków, zaprojektowano 2 scenariusze eksperymentalne, które różniły się kolejnością prezentowanych warunków:

- Scenariusz A: *1–wstecz – 2–wstecz – 1–wstecz – 2–wstecz*;
- Scenariusz B: *2–wstecz – 1–wstecz – 2–wstecz – 1–wstecz*.

Scenariusz prezentowany każdej osobie badanej wybierany był losowo.

Przed wykonaniem właściwego badania, osoby badane przechodziły sesję wstępną, w trakcie której próbnie wykonywały zadania w warunkach 1–wstecz oraz 2–wstecz. Po upewnieniu się, że badany rozumie instrukcję do obu warunków, przystępowano do właściwego pomiaru.

BEHAVIORLANE WSKAŹNIKI WYKONANIA:

Poprawne reakcje – liczba poprawnych naciśnień na bodźce docelowe (osobno dla warunków 1– i 2–wstecz);

Czas poprawnych reakcji – mediana czasu reakcji mierzonego od momentu wystąpienia bodźca do momentu naciśnięcia przycisku (osobno dla warunków 1– i 2–wstecz);

Liczba fałszywych alarmów – mediana sytuacji, w których osoba badana nacisnęła przycisk na bodziec dystrakcyjny i błędnie zakwalifikowała go jako bodziec docelowy (osobno dla warunków 1– i 2–wstecz).

ELEKTROFIZJOLOGICZNE WSKAŹNIKI WYKONANIA:

Potencjały wywołane na bodźce docelowe.

3.2.2.2. Procedura 2 – Porównywanie długości trwania bodźców słuchowych

Material

Jako bodźce zastosowano pojedyncze sinusoidalne tony o częstotliwości 1000 Hz, różniące się długością trwania. Zastosowano bodźce o następującej długości: 100 ms, 110 ms, 120 ms, 140 ms i 160 ms. Tony utworzono przy użyciu oprogramowania Adobe Audition 3.0. Natężenie bodźców wynosiło 75 dB (SPL). Pomiar głośności przeprowadzono z wykorzystaniem sztucznego ucha firmy Brüel & Kjær (Artificial Ear Type 4153).

Bodźcem standardowym był ton o długości 100 ms, natomiast bodźcami wyróżnionymi były tony o długości: 110 ms, 120 ms i 160 ms. Ponadto, ton o długości 140 ms stanowił dodatkowy bodziec kontrolny (Jacobsen i wsp., 2013).

Podobnie jak w procedurze badającej pamięć roboczą, zastosowano słuchawki douszne Pioneer-SE-CL621TV.

Procedura

Tony prezentowano przy użyciu programu Presentation Software v. 4.19 (Neurobehavioural Systems, Inc.). Interwał czasowy (SOA; tj. przedział czasu mierzony od początku danego bodźca do początku prezentacji kolejnego bodźca) pomiędzy kolejnymi prezentowanymi tonami wynosił 600 ms.

Badanie przeprowadzono w paradygmacie *oddball*, polegającym na prezentacji serii jednakowych bodźców (tzw. bodźców standardowych), w trakcie której z nieregularną częstotliwością pojawiają się bodźce wyróżnione, różniące się określoną cechą (w przypadku tego badania bodźce różniły się długością trwania). Stosunek bodźców standardowych do wyróżnionych wynosił 80% do 20%.

Badanie składało się z trzech warunków eksperymentalnych o różnym poziomie trudności:

- „warunek łatwy”:
 - bodziec standardowy: ton o długości 100 ms;
 - bodziec wyróżniony: ton o długości 160 ms;
- „warunek średniotrudny”:
 - bodziec standardowy: ton o długości 100 ms;
 - bodziec wyróżniony: ton o długości 120 ms;
- „warunek trudny”:
 - bodziec standardowy: ton o długości 100 ms;
 - bodziec wyróżniony: ton o długości 110 ms.

Dodatkowo, wprowadzono „warunek kontrolny”, w którym w losowej kolejności prezentowano pojedynczo 5 bodźców o różnej długości (100 ms, 110 ms, 120 ms, 140 ms i 160 ms). Każdy z bodźców w warunku kontrolnym występował z tą samą częstością. Częstość występowania każdego z pięciu bodźców była taka sama i stanowiła 20% wszystkich tonów.

Wprowadzenie „warunku kontrolnego” pozwalało na zaprezentowanie badanym bodźców wyróżnionych z warunków eksperymentalnych w neutralnej sytuacji i następnie w toku analiz na uzyskanie tzw. fali odjętej (por. Podrozdział 3.2.2.4.2., str. 94) poprzez eliminację pobudzenia wywołanego fizycznymi właściwościami bodźców.

Badanie składało się z 8 bloków (każdy z warunków: „łatwy”, „średniotrudny”, „trudny” oraz „kontrolny” występował dwukrotnie). Pojedynczy blok trwał 5 minut i zawierał 500 bodźców. W przypadku warunków eksperymentalnych na 1 blok składało się 400 bodźców

standardowych i 100 wyróżnionych. W warunku kontrolnym w obrębie jednego bloku występowało po 100 bodźców każdej z pięciu długości prezentowanych bodźców.

Łącznie zaprezentowano:

- 2400 bodźców standardowych;
- 600 bodźców wyróżnionych (po 200 bodźców wyróżnionych w każdym z 3 warunków eksperymentalnych: łatwym, średnim i trudnym);
- 1000 bodźców kontrolnych (po 200 bodźców każdej z pięciu długości prezentowanych bodźców).

Procedura badawcza trwała ok. 40 minut.

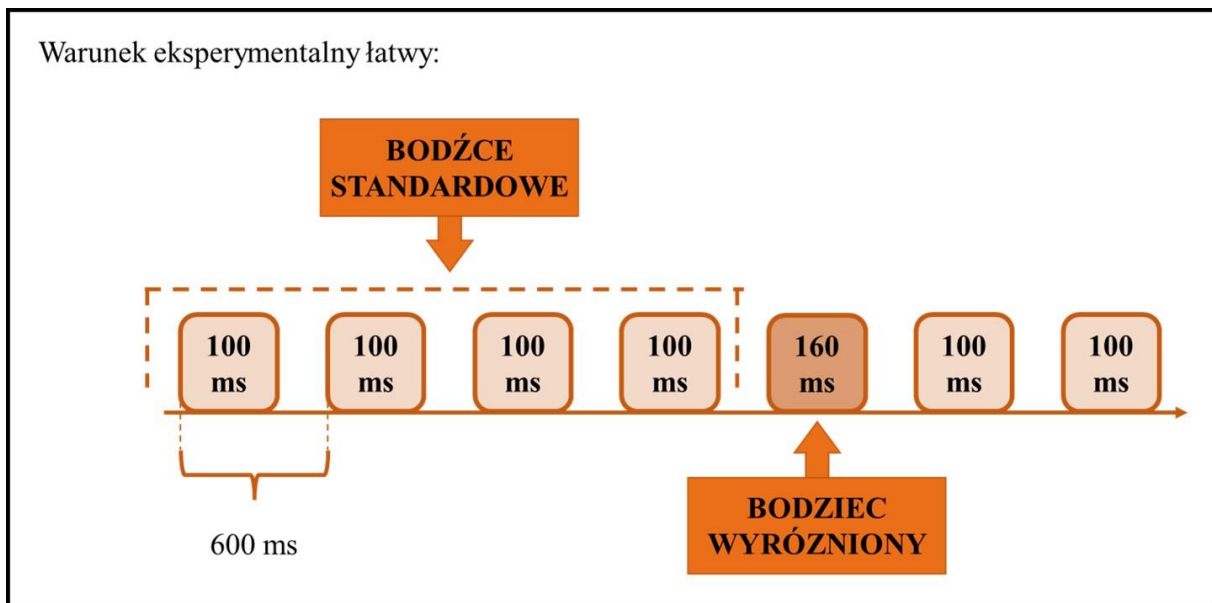
Paradygmat *oddball* wykonywano w schemacie pasywnym, co oznacza, że osoby badane instruowano, aby ignorowały prezentowane w trakcie eksperymentu bodźce słuchowe i skupiły się na oglądaniu filmu na ekranie laptopa. Film odtwarzano bez dźwięku, ale z polskimi napisami. Badanych proszono, aby w trakcie rejestracji sygnału EEG starały się nie wykonywać zbędnych ruchów. Od badanych nie wymagano żadnej reakcji behawioralnej na prezentowane bodźce słuchowe.

W celu eliminacji wpływu kolejności prezentowanych warunków na wykonanie zadania przez badanych, stworzono 4 scenariusze różniące się kolejnością prezentowanych bloków:

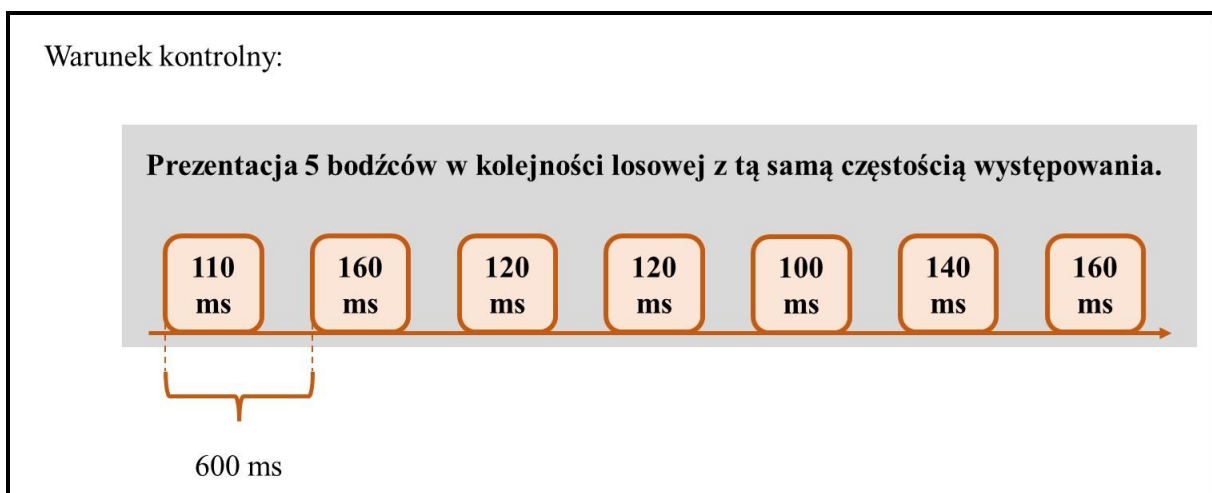
- Scenariusz A: *warunek trudny – warunek średniotrudny – warunek łatwy – warunek kontrolny – warunek średniotrudny – warunek trudny – warunek kontrolny – warunek łatwy*;
- Scenariusz B: *warunek łatwy – warunek kontrolny – warunek trudny – warunek średniotrudny – warunek kontrolny – warunek łatwy – warunek średniotrudny – warunek trudny*;
- Scenariusz C: *warunek średniotrudny – warunek trudny – warunek kontrolny – warunek łatwy – warunek trudny – warunek średniotrudny – warunek łatwy – warunek kontrolny*;
- Scenariusz D: *warunek kontrolny – warunek łatwy – warunek średniotrudny – warunek trudny – warunek łatwy – warunek kontrolny – warunek trudny – warunek średniotrudny*.

Scenariusz prezentowany każdej osobie badanej wybierany był losowo.

(A)



(B)



Ryc. 10 Schemat prezentacji bodźców w paradygmacie *oddball* w warunku łatwym (A) oraz w warunku kontrolnym (B).

ELEKTROFIZJOLOGICZNE WSKAŹNIKI WYKONANIA:

Potencjały wywołane na bodźce standardowe – uśredniona odpowiedź na ton o długości 100 ms.

Potencjały wywołane na bodźce dystrykcyjne – uśredniona odpowiedź na tony o długości: 110, 120 i 160 ms.

3.2.2.3. Rejestracja sygnału EEG

Pomiar EEG obu procedur wykonano przy pomocy 64–kanałowej aparatury firmy Brain Products w międzynarodowym systemie 10–20. Rejestrację wykonywano w czepku EasyCap, do którego podpięto 64 elektrody. Pomiar sygnału EEG miał charakter ciągły i został zarejestrowany przy pomocy programu *BrainVision Recorder*[®] v.1.10. Sygnał rejestrowano w odniesieniu do elektrody FCz. W trakcie rejestracji impedancję elektrod utrzymywano na poziomie poniżej 10 k Ω . Częstotliwość próbkowania wynosiła 1000 Hz. Sygnał był filtrowany w trakcie rejestracji (*online*) w paśmie od 0,1 do 1000 Hz. Analiza zarejestrowanego sygnału EEG została przeprowadzona *offline* – po zakończeniu badania. Podsumowanie parametrów technicznych związanych z rejestracją badania przedstawiono w Tabeli 3.

Tabela 3 Dane techniczne dotyczące rejestracji sygnału EEG.

Parametry techniczne rejestrowanego sygnału EEG	
Wzmacniacz	64-kanałowy BrainAmp
Czepek	EasyCap
Liczba elektrod	64
Rozmieszczenie elektrod	międzynarodowy system 10-20
Częstotliwość próbkowania	1000 Hz
Filtrowanie sygnału	0,1 – 1000 Hz
Impedancja	poniżej 10 k Ω
Elektroda referencyjna	FCz
Oprogramowanie	Brain Vision Recorder [®]

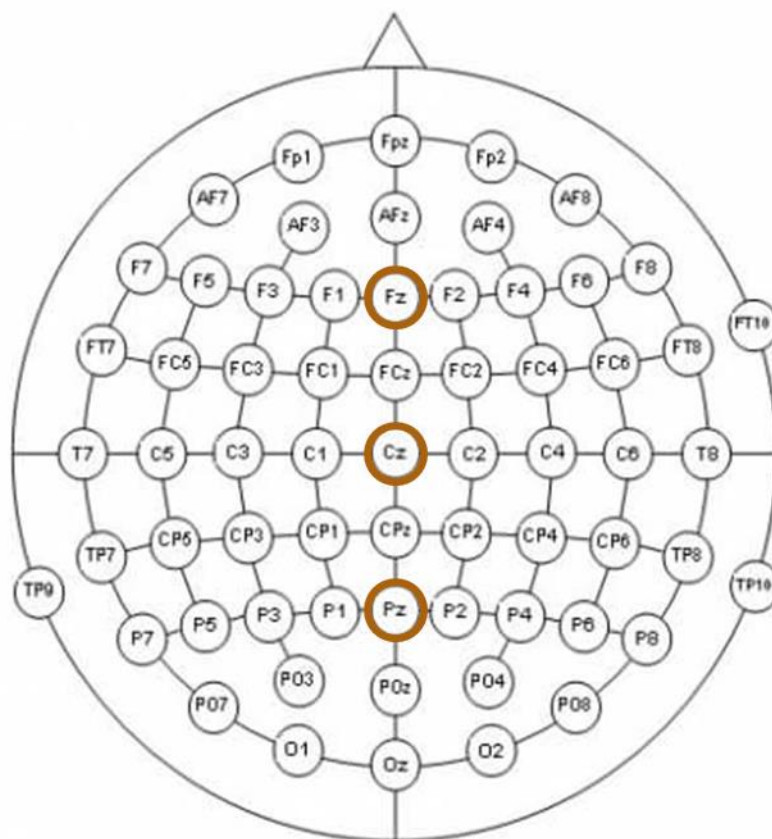
3.2.2.4. Analiza sygnału EEG metodą potencjałów wywołanych (ERP)

3.2.2.4.1. Procedura 1 – Słuchowa pamięć robocza

Analizę *offline* sygnału EEG przeprowadzono w programie *BrainVision Analyzer*[®] v.2.1.2. W pierwszej kolejności zmniejszono częstotliwość próbkowania z 1000 na 250 Hz. Następnie zastosowano typowe filtry: dolnoprzepustowy 40 Hz (24 db/oct) oraz górnoprzepustowy

0,1 Hz (24 db/oct), a także filtr eliminujący zakłócenia sieci elektrycznej (ang. *notch filter*, 50 Hz). W kolejnym kroku przeprowadzono inspekcję wzrokową sygnału otrzymanego u każdej osoby badanej, następnie skorygowano artefakty, a także interpolowano elektrody, których zapis obciążony był znaczącymi zakłóceniami. Następnie wykonano re-referencję sygnału z elektrody FCz na TP9 i TP10 przy jednoczesnej rekonstrukcji sygnału na elektrodzie FCz. Kolejnym krokiem było zastosowanie metody analizy składowych niezależnych (ang. *Independent Component Analysis*, ICA), przy pomocy której wyodrębniono i usunięto z sygnału artefakty związane m.in. z ruchami gałek ocznych, mruganiem, oraz rytmem serca. Po przeprowadzonej dekompozycji, sygnał ponownie scalono w ciągły zapis. Scalony sygnał poddano segmentacji i pocięto go na 1200 ms segmenty (ang. *epochs*), które obejmowały 200 ms sygnału przed wystąpieniem bodźca i 1000 ms po bodźcu. Segmenty o jednakowej długości wyodrębniono zarówno dla bodźców docelowych, jak i dystrakcyjnych (por. Podrozdział 3.2.2.1., str. 84). Z dalszych analiz wykluczono bodźce, na które badany zareagował błędnie (tj. pominięcie bodźca docelowego lub fałszywe rozpoznanie bodźca dystrakcyjnego jako docelowego). Następnie wykonano korektę poziomu podstawowego (ang. *baseline correction*) w zakresie od 200 ms przed rozpoczęciem bodźca do momentu jego wystąpienia. W ostatnim kroku w obrębie każdego warunku uśredniono segmenty dla każdego z rodzajów bodźców (tj. docelowych oraz dystrakcyjnych), co pozwoliło uzyskać średni przebieg fali potencjałów wywołanych w odpowiedzi na poszczególne bodźce.

Z uwagi na to, że głównym obszarem zainteresowania był potencjał P300, na podstawie literatury (Polich i Herbst, 2000) oraz inspekcji wzrokowej uzyskanych przebiegów potencjałów wywołanych, wybrano 3 elektrody (Fz, Cz i Pz, Ryc. 11), które uwzględniono w analizach statystycznych. Elektrody umieszczone w punktach Fz, Cz i Pz uznaje się za najbardziej typowe lokalizacje wykorzystywane do analiz potencjału P300 (Duncan i wsp., 2009). Głównym celem badania była analiza potencjału P300 w odpowiedzi na bodziec docelowy, który odzwierciedla aktywację sieci neuronalnej związanej z ukierunkowaniem uwagi (Wongupparaj i wsp., 2018) oraz z aktualizacją informacji w pamięci roboczej (Zhang i wsp., 2018).



Ryc. 11 Schemat rozmieszczenia 64-elektrod w czepku EasyCap wraz z zaznaczonymi elektrodami, na których były analizowane potencjały wywołane w badaniu słuchowej pamięci roboczej.

Szczegółowe informacje dotyczące okien czasowych (wybranych na podstawie literatury oraz inspekcji wzrokowej), w których wyznaczano poszczególne potencjały, przedstawione zostały w Tab. 4.

Tabela 4 Informacje dotyczące potencjałów wywołanych poddanych analizom statystycznym w zadaniu *n*-wstecz.

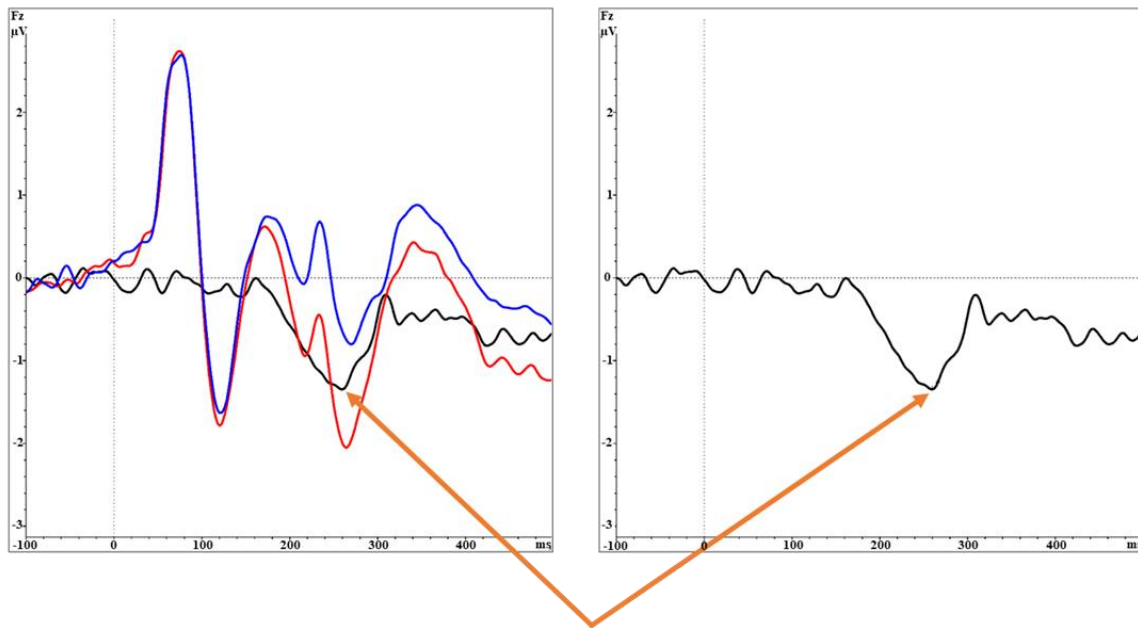
Rodzaj bodźca	Potencjał wywołany	Okno czasowe (ms)	Analizowane zmienne	Elektrody
Bodziec docelowy	P300	290 – 350	Amplituda i latencja	Fz, Cz, Pz

3.2.2.4.2. Procedura 2 – Porównywanie długości trwania bodźców słuchowych

Analizę zarejestrowanego sygnału EEG również przeprowadzono w programie *BrainVision Analyzer*[®] v.2.1.2. Ponieważ obie procedury badawcze opisywane w niniejszej rozprawie doktorskiej dotyczą analizy potencjałów wywołanych, większość etapów analizy *offline* jest taka sama jak w przypadku procedury badającej słuchową pamięć roboczą. Kolejne kroki, tj. zmiana częstotliwości próbkowania, zastosowanie filtrów, inspekcja wzrokowa, usuwanie artefaktów oraz interpolacja elektrod, a także zmiana referencji, analiza składowych niezależnych i ponowne scalenie sygnału była identyczna oraz zawierała te same parametry (por. Podrozdział 3.2.2.4.1, str. 91). Natomiast w dalszych etapach obróbki sygnału, dostosowano parametry kolejnych kroków do specyfiki zastosowanej procedury. Po dekompozycji i ponownym połączeniu sygnału EEG w ciągły zapis, w następnym kroku sygnał pocięto na segmenty o długości 600 ms, które obejmowały 100 ms przed rozpoczęciem bodźca i 500 ms po jego wystąpieniu. Segmenty o jednakowej długości zostały wyodrębnione dla każdego rodzaju prezentowanego bodźca (tj. dla bodźca standardowego, wyróżnionego oraz kontrolnego). Kolejnym krokiem w analizie była korekta sygnału do okresu referencyjnego (-100 ms do 0 ms). Następnie uśredniono sygnał dla każdego z trzech rodzajów prezentowanych bodźców. Ostatnim etapem analizy było wyznaczenie tzw. fali odjętej (ang. *difference wave*).

Fala odjęta

Uzyskanie fali odjętej było możliwe dzięki zastosowaniu opisanego w Podrozdziale 3.2.2.2. (str. 88) warunku kontrolnego, w którym bodźce wyróżnione z warunków eksperymentalnych prezentowane były z taką samą częstością występowania i stawały się w ten sposób bodźcami kontrolnymi. Zastosowanie takiej procedury było zgodne z podejściem rekomendowanym we wcześniejszych badaniach (Amenedo i Escera, 2000) i pozwala uzyskać zapis fali odjętej w następujący sposób: od fali uzyskanej w odpowiedzi na bodziec wyróżniony prezentowany w blokach *oddball*, odejmowano falę uzyskaną w odpowiedzi na bodziec kontrolny. Podstawowe znaczenie ma fakt, że oba rodzaje bodźców, tj. wyróżniony i kontrolny, miały te same właściwości fizyczne (długość trwania tonu), ale prezentowano je w różnych warunkach (eksperymentalnym i kontrolnym), więc wywoływały inną odpowiedź bioelektryczną mózgu. Procedura ta umożliwiła wyznaczenie potencjału niezgodności (ang. *Mismatch Negativity*, MMN) na powstałej fali odjętej (Ryc. 12).

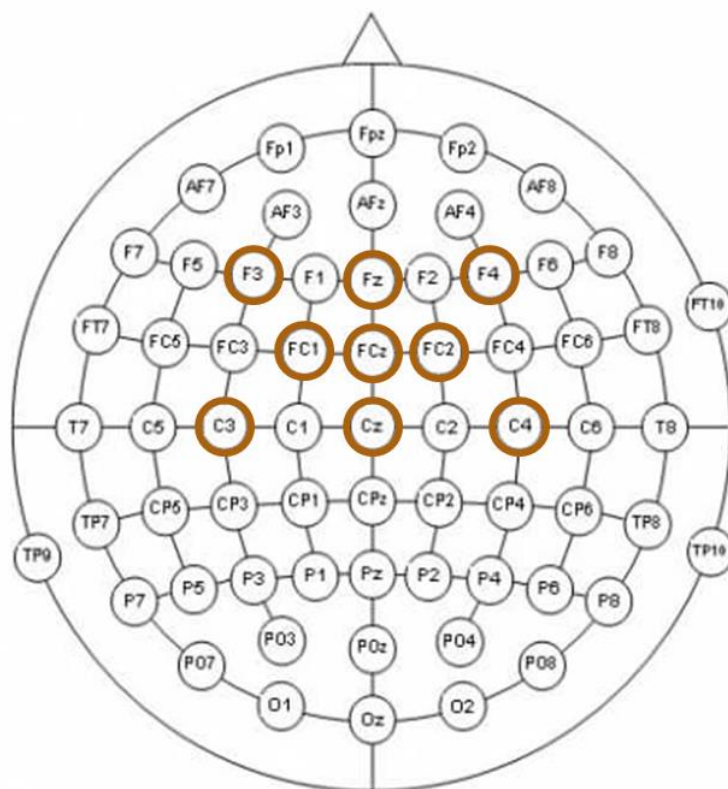


Potencjał niezgodności (MMN)

- odpowiedź na bodziec kontrolny
- odpowiedź na bodziec wyróżniony
- fala odjęta

Ryc. 12 Przedstawienie potencjału niezgodności (MMN) uzyskanego na fali odjętej na elektrodzie Fz. Schemat powstał na podstawie badań i analiz własnych.

W odniesieniu do literatury przedmiotu (Light i wsp., 2007; Paavilainen, 2013) oraz inspekcji wzrokowej uzyskanych danych, analizowano sygnał zarejestrowany na elektrodach o topografii fronto-centralnej, tj.: F3, Fz, F4, FC1, FCz, FC2, C3, Cz, C4; (Ryc. 12). Głównym celem badania była analiza potencjału niezgodności MMN na fali odjętej, który odzwierciedla automatyczne, pozauwagowe procesy obrazujące odpowiedź mózgu na niespodziewaną zmianę parametrów bodźca (Garrido i wsp., 2009; Näätänen i wsp, 2014). Dodatkowo, do analiz włączono potencjał N200 powstały w odpowiedzi na bodziec wyróżniony.



Ryc. 13 Schemat rozmieszczenia 64-elektrod w czepku EasyCap wraz z zaznaczonymi elektrodami, na których były analizowane potencjały wywołane w badaniu słuchowego sekwencjonowania dźwięków.

Szczegółowe informacje dotyczące okien czasowych (wybranych na podstawie literatury oraz inspekcji wzrokowej), w których wyznaczano poszczególne potencjały, przedstawione zostały w Tab. 5.

Tabela 5 Informacje dotyczące analizowanych potencjałów wywołanych w zadaniu słuchowego sekwencjonowania dźwięków.

Rodzaj bodźca	Potencjał wywołany	Okno czasowe (ms)	Analizowane parametry	Elektroda
Bodziec wyróżniony	N200	150 – 250	Amplituda i latencja	F3, Fz, F4, FC1, FCz, FC2, C3, Cz, C4
Fala odjęta	MMN	200 – 350	Amplituda i latencja	Fz

3.3. Procedury treningowe

W ramach prowadzonych badań zastosowano dwa rodzaje treningów:

- eksperymentalny (Grupa A) – trening percepcji czasu z wykorzystaniem programu *Dr Neuronowski*[®];
- kontrolny (Grupa B) – trening nieuwzględniający percepcji czasu w domenie zawartej w treningu eksperymentalnym.

3.3.1. Trening eksperymentalny

Dr Neuronowski[®] to komputerowy program treningowy stworzony przez prof. dr. hab. Elżbietę Szelaę oraz dr. hab. Anetę Szymaszek (2016). Został opracowany na podstawie wieloletnich badań prowadzonych w Pracowni Neuropsychologii.

Program *Dr Neuronowski*[®] opiera się na 5 założeniach koncepcyjnych:

1. Indywidualizowany program ćwiczeń terapeutycznych;
2. Adaptacyjność gier – poziom trudności każdej gry jest automatycznie dostosowany do użytkownika i aktualnego poziomu wykonania;
3. Transferowalność wyników – przeniesienie pozytywnych efektów treningu z funkcji bezpośrednio ćwiczonych na funkcje niepodlegające ćwiczeniom (tzw. transfer daleki);
4. Wielomodalna stymulacja słuchowo – wzrokowa;
5. Integracja informacji z domen wzrokowej oraz słuchowej w procesie terapeutycznym.

Trening terapeutyczny realizowany był w formie atrakcyjnych i angażujących uczestnika gier komputerowych. Struktura narzędzia opiera się na 10 różnych modułach, w skład których wchodzi 46 gier bazowych. Ogromną zaletą programu jest możliwość klonowania gier bazowych do wielu różnych gier terapeutycznych po wprowadzeniu zamian dotyczących parametrów sposobu prezentacji bodźców i procedur w poszczególnych grach. W narzędziu *Dr Neuronowski*[®] wbudowany jest unikalny komponent czasowego przetwarzania informacji w różnych domenach czasowych (tj. dziesiątek milisekund, kilkuset milisekund i sekund), który zaimplementowano w każdej grze terapeutycznej.

W ramach prowadzonych badań wykorzystano dostosowaną do potrzeb projektu wersję dla dorosłych, która składała się z 8 modułów. Każdy z nich miał na celu trening określonych aspektów percepcji czasu przy równoczesnym zaangażowaniu innych funkcji poznawczych. W celu maksymalizacji benefitów prowadzonego treningu, wykorzystano adaptacyjność parametrów poszczególnych gier poprzez manipulację: czasem ekspozycji bodźców, liczbą prezentowanych elementów, tempem prezentacji oraz poziomem złożoności prezentowanego materiału.

Trening prowadzono zgodnie z opracowanymi wytycznymi, które dostępne są w podręczniku użytkownika (Szeląg i Szymaszek, 2016), co pozwoliło zrealizować ww. założenia koncepcyjne programu *Dr Neuronowski*[®]. Ze względu na specyfikę grupy odbiorców (zdrowi seniorzy), wybrano 28 gier treningowych, które podsumowano w poniższej tabeli (Tab. 6).

Tabela 6 Podsumowanie gier terapeutycznych zastosowanych w treningu eksperymentalnym.

Moduł Nazwa modułu	Nazwy zastosowanych gier
Moduł 0 Moduł wstępny	„ <i>Nasz świat</i> ” „ <i>Muzykanci</i> ” „ <i>Nagrywamy śpiew ptaków</i> ”
Moduł 1 Wzorce dźwiękowe	„ <i>Bańki</i> ” „ <i>Pianino</i> ” „ <i>Miny</i> ” „ <i>Memo dźwiękowe</i> ”
Moduł 2 Kolejność dwóch dźwięków prezentowanych w serii	„ <i>Czereśnie</i> ” „ <i>Dzięcioły</i> ” „ <i>Budowa</i> ” „ <i>Hipopotam i kot</i> ” „ <i>Słoń i papuga</i> ” „ <i>Afrykańskie zwierzęta</i> ” „ <i>Kurza ferma</i> ” „ <i>Armaty</i> ”
Moduł 3 Sekwencje kilkuelementowe	„ <i>Pomieszanie z poplątaniem</i> ” „ <i>Jarmark różności</i> ” „ <i>Pudelka z niespodziankami</i> ”


	<i>„Jaka to melodia?”</i>
Moduł 4 Skarby i labirynty	<i>„Labirynty” „Uwaga! Przeszkoda!” „Gdzie tu iść?” „Znajdź różnicę” Skarby słowne</i>
Moduł 5 Zabawy słowne	<i>„Memo słowne”</i>
Moduł 6 Reakcje odroczone	<i>„Maestro”</i>
Moduł 7 Ocena czasu trwania bodźca	<i>„Syczące węże 1” „Syczące węże 2”</i>

3.3.1.1. Opis modułów oraz poszczególnych gier

Moduł 0 – moduł wstępny

Cel:

- zaznajomienie badanego z obsługą tabletu oraz korzystaniem z ekranu dotykowego;
- zapoznanie ze stosowanymi w trakcie treningu bodźcami słuchowymi;
- kształcenie percepcji wzorkowej oraz słuchowej;
- ćwiczenie procesów uwagowych (czujność i trwałość uwagi).

Zastosowane gry (wraz z planszą ilustrującą grę)	Opis zadania
<i>„Nasz świat”</i> 	Wysłuchanie i zapoznanie z prezentowanymi bodźcami dźwiękowymi stosowanymi w dalszej części treningu.

„Muzykanci”

Odsłuchanie dźwięku wybranego instrumentu muzycznego, a następnie dopasowanie odpowiedniego desygnatu (tj. dopasowanie obrazka przedstawiającego gitarę do dźwięku gitary).

„Nagrywamy śpiew ptaków”



Nagrywanie słyszanych dźwięków przez cały czas ich trwania. Nagrywanie (tj. wciśnięcie czerwonego przycisku) rozpoczynało się w momencie, w którym ptaki zaczęły śpiewać. Należało je skończyć (zwolnić czerwony przycisk) w momencie, w którym ptaki ucichną.

Moduł 1 – Wzorce dźwiękowe

Cel:

- kształcenie percepcji słuchowej (różnicowania dźwięków i postrzegania w nich zmian);
- ćwiczenie czujności i utrzymywania uwagi;
- trening odraczania reakcji.

Zastosowane gry

(wraz z planszą ilustrującą grę)

Opis zadania

„Bańki”



Na początku zadania prezentowano dźwięk wzorcowy, który należało zapamiętać. Zadaniem badanego była reakcja (naciśnięcie czerwonego przycisku na ekranie tabletu) na wszystkie prezentowane dźwięki poza dźwiękiem wzorcowym.

„Pianino”



Zadanie analogiczne do gry „Bańki”, jednak bodźcami w tym zadaniu były wyłącznie dźwięki instrumentów muzycznych.

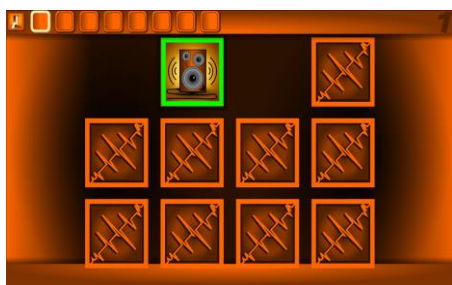
Zarówno gra „Bańki”, jak i „Pianino” wymagały od osoby badanej umiejętności rozróżniania prezentowanych dźwięków. Wraz ze wzrostem poprawności wykonania, następowało adaptacyjne utrudnienie zadania poprzez coraz szybszą prezentację dźwięków oraz skracanie czasu ich trwania.

„Miny”



Na początku zadania badanemu prezentowano wzorcowy dźwięk, który należało zapamiętać. W trakcie zadania, na całej planszy pojawiały się miny, wydające różne dźwięki. Zadaniem badanego było zaznaczenie każdej miny, która wydawała taki sam dźwięk, jak wzorcowy.

„Memo dźwiękowe”



Zadanie polegało na łączeniu w pary dwóch takich samych dźwięków, które były ukryte w kwadratach rozmieszczonych na planszy. W każdej próbie badany mógł odkryć maksymalnie dwa kwadraty.

Moduł 2 – Kolejność dwóch dźwięków prezentowanych w serii

Cel:

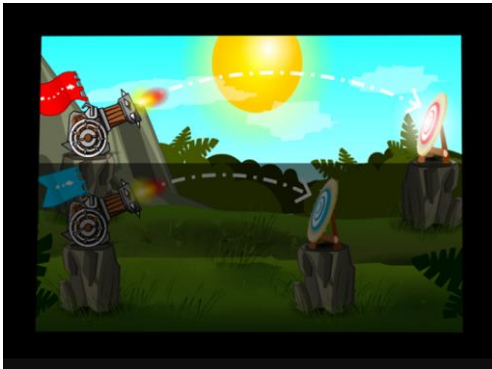
- usprawnienie rozdzielczości czasowej (tj. percepcji czasu) na poziomie milisekundowym w kontekście postrzegania sekwencji dwóch bodźców prezentowanych w szybkim następstwie.

W każdej z zastosowanych gier tego modułu badany miał za zadanie określić prawidłową kolejność dwóch dźwięków prezentowanych w szybkim następstwie czasowym. Wszystkie zadania zawierały ten sam, adaptacyjny algorytm, dobierający indywidualnie poziom trudności zadania: w przypadku udzielenia poprawnej odpowiedzi przerwa między dźwiękami w parze ulegała skróceniu, natomiast po błędnej odpowiedzi ulegała wydłużeniu.

Zastosowane gry (wraz z planszą ilustrującą grę)	Opis zadania
<p>„Czereśnie”</p> <p>„Dzięcioły”</p> <p>„Budowa”</p> 	<p>Te gry należą do pakietu „Prawy–lewy”. Badanym prezentowano rozdzielnie dwa takie same, jednomilisekundowe dźwięki (tzw. kliki) w dwóch alternatywnych możliwościach: najpierw jeden dźwięk prezentowano do prawego ucha, a drugi do lewego ucha lub kolejność prezentacji była odwrotna (pierwszy dźwięk prezentowano do ucha lewego, a drugi do prawego). Zadaniem badanego było wskazanie na tablicie usłyszanej kolejności (<i>prawy–lewy</i> lub <i>lewy–prawy</i>).</p>
<p>„Hipopotam i kot”</p> <p>„Słoń i papuga”</p> <p>„Afrykańskie zwierzęta”</p> 	<p>Te gry należą do pakietu „Wysoki–niski” i polegają na obuusznej prezentacji osobom badanym dwóch różnych dźwięków (ton wysoki i niski) w dwóch alternatywnych kolejnościach (<i>wysoki–niski</i> lub <i>niski–wysoki</i>). Badanych instruowano, aby na tablicie wskazywali usłyszaną kolejność dźwięków.</p>

„Kurza ferma”

„Armaty”

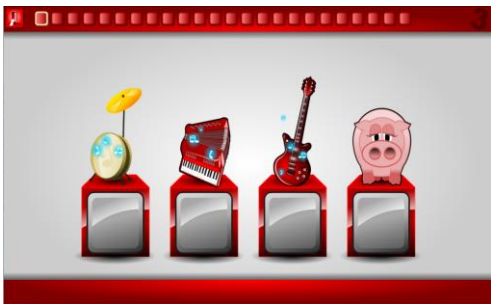


Te gry należą do pakietu „Krótki–długi”. Badanym obustronnie prezentowano alternatywne sekwencje dwóch białych szumów: krótkiego i długiego. Osoby badane miały za zadanie wskazywać na tablicy kolejność usłyszanych dźwięków spośród dwóch możliwości: *krótki–długi* lub *długi–krótki*.

Moduł 3 – Sekwencje kilkuelementowe

Cel:

- ćwiczenie percepcji czasu na poziomie milisekundowym;
- trening uwagi słuchowej i wzrokową;
- kształcenie pamięci krótkotrwałej i roboczej;
- ćwiczenie sprawności językowej.

Zastosowane gry (wraz z planszą ilustrującą grę)	Opis zadania
<p>„Jarmark różności”</p> 	<p>Badanym prezentowano w pewnej określonej kolejności dźwięki (np. instrumentów muzycznych lub zwierząt). Celem zadania było odtworzenie zaprezentowanej sekwencji poprzez zaznaczanie w odpowiedniej kolejności desygnatów tych dźwięków, tzn. postumentów, na których umieszczone były symbole prezentowanych dźwięków.</p>

<p>„Pomieszanie z poplątaniem” (plansza jw.)</p>	<p>Zadanie analogiczne do zadania „Jarmark różności” – dodatkowe utrudnienie stanowił fakt, że desygnaty na postumentach pojawiały się dopiero po pełnej prezentacji bodźców słuchowych. W trakcie prezentacji sekwencji dźwięków, na postumentach nie było widać desygnatów dźwięków – w ten sposób unikano pojawienia się podpowiedzi wzrokowej.</p>
<p>„Jaka to melodia?” (plansza jw.)</p>	<p>To kolejna gra analogiczna do „Jarmarku różności”. W przypadku tej gry, wszystkie zastosowane bodźce dźwiękowe były dźwiękami muzycznymi, jakie wydają instrumenty.</p>
<p>„Pudelka z niespodziankami” (plansza jw.)</p>	<p>Ostania gra, również analogiczna do gry „Pomieszanie z poplątaniem”. (W trakcie prezentacji sekwencji dźwięków, na postumentach nie było widać desygnatów dźwięków, co pozwalało uniknąć podpowiedzi wzrokowej).</p>

We wszystkich grach z tego modułu wraz ze wzrostem poprawności udzielanych odpowiedzi następowało utrudnienie zadania poprzez:

- zwiększenie liczby elementów w prezentowanych sekwencjach;
- skrócenie czasu ekspozycji bodźców słuchowych.

Moduł 4 – Skarby i labirynty

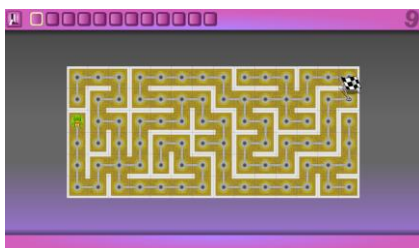
Cel:

- ćwiczenie funkcji wykonawczych oraz zdolności planowania;
- trening pamięci krótkotrwałej przestrzennej,
- ćwiczenie koncentracji oraz spostrzegawczości;

- kształtowanie monitorowania własnego działania i korygowania zachowania w odpowiedzi na zmieniające się warunki oraz wymogi zadania.

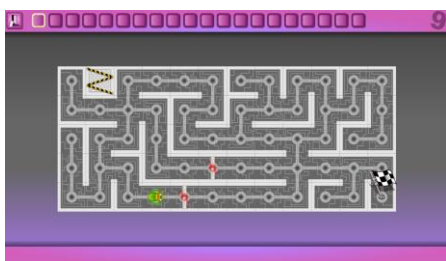
Zastosowane gry (wraz z planszą ilustrującą grę)	Opis zadania
-----------------------------------------------------	--------------

„Labirynty”



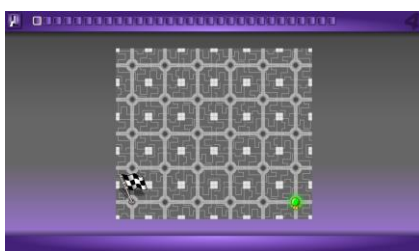
Gra polegała na przeprowadzeniu żuka od miejsca startowego do miejsca docelowego oznaczonego flagą. Droga prowadziła przez labirynt, który zawierał ślepe korytarze.

„Uwaga! Przeszkoda!”



Podobnie jak w „Labiryntach”, zadaniem badanego było doprowadzenie żuka do celu, jednak w grze pojawiały się przeszkody, które tarasowały przejście. Gra wymagała korekty działań i zaplanowanych ruchów, a następnie opracowania nowej drogi do celu.

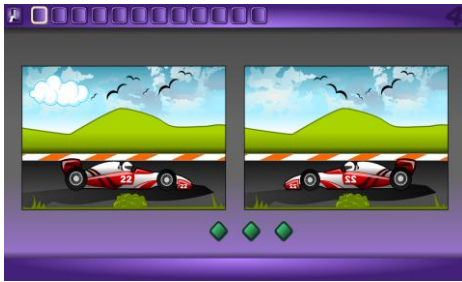
„Gdzie tu iść?”



Również w tej grze należało zaprowadzić żuka od miejsca startowego do oznaczonego celu. „Gdzie tu iść?” to gra o najwyższym stopniu trudności, ponieważ ściany labiryntu były niewidoczne. W sytuacji, w której żuk był prowadzony prawidłową trasą, miał kolor zielony. Natomiast jeśli badany, prowadząc żuka, natrafiał na ściany labiryntu lub inne przeszkody, żuk podświetlał się na czerwono – oznaczało to, że należy skorygować obraną drogę.

Dodatkowym utrudnieniem w grach: „Labirynty”, „Uwaga! Przeszkoda” oraz „Gdzie tu iść?” było zmieniające się położenie flagi (miejsce docelowego) w trakcie prowadzenia żuka do celu.

„Znajdź różnice”



Zadaniem badanego było odnalezienie wszystkich różnic pomiędzy dwoma bardzo podobnymi obrazkami.

„Skarby słowne”

Badani mieli za zadanie ułożyć trzyliterowe słowa z prezentowanych zestawów dziewięciu liter. Kolejne próby były ograniczone czasowo.

Moduł 5 – Zabawy słowne

Cel:

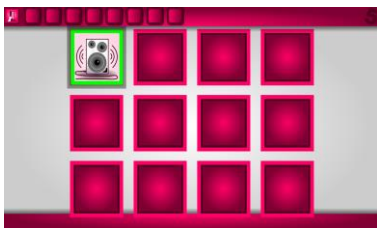
- trening pamięci roboczej;
- ćwiczenie koncentracji i przerzutności uwagi;
- kształtowanie słuchu fonematycznego.

Zastosowane gry

(wraz z planszą ilustrującą grę)

Opis zadania

„Memo słowne”



Zadanie polegało na łączeniu w pary dwóch takich samych wyrazów, które były ukryte w kwadratach rozmieszczonych na planszy. W każdej próbie, badany mógł odsłonić i odsłuchać tylko dwa kwadraty.

Moduł 6 – Reakcje odroczone

Cel:


- ćwiczenie zdolności do odraczania reakcji;
- trening hamowania pierwszej reakcji;
- ćwiczenie utrzymywania uwagi;
- kształcenie percepcji czasu na poziomie milisekundowym oraz sekundowym.

Zastosowane gry	Opis zadania
<p>„Maestro”</p>	<p>Zadaniem osoby badanej było dołączenie po wyznaczonym czasie do grającej orkiestry. Opóźnienie, po którym należało dołączyć, było podane w dolnej części ekranu. Dołączenie do orkiestry polegało na naciśnięciu czerwonego przycisku na ekranie tabletu. Gra wymagała umiejętności szacowania czasu w przedziale od kilkuset milisekund do kilku sekund oraz odraczania reakcji.</p>

Moduł 7 – Ocena czasu trwania bodźca

Cel:

- usprawnianie czasowego opracowywania informacji na poziomie milisekund oraz sekund;
- trening percepcji słuchowej.

Zastosowane gry (wraz z planszą ilustrującą grę)	Opis zadania
<p>„Syczące węże 1”</p> <p>„Syczące węże 2”</p> 	<p>Zadaniem badanego było porównywanie długości dwóch dźwięków (przedstawionych w postaci syczących węży) prezentowanych obustronnie. Badanych instruowano, aby na tablicie wskazywali, który wąż syczał dłużej. Wraz z wzrostem poprawności udzielanych odpowiedzi, następowało utrudnienie zadania i różnica w długości dwóch dźwięków ulegała skróceniu.</p>

3.3.2. Trening kontrolny

Trening kontrolny opracowano wg naszej autorskiej koncepcji. Stanowił on trening placebo, który miał na celu stworzenie podobnych warunków kontekstu społecznego, w jakich prowadzono trening eksperymentalny. Trening kontrolny polegał na oglądaniu serii dokumentów edukacyjnych. Aby mieć pewność, że badani angażują się w zajęcia i uważnie śledzą prezentowane w ramach treningu filmy popularnonaukowe, każde spotkanie było zakończone dyskusją nt. oglądanych treści oraz testem sprawdzającym wiedzę z bieżącej tematyki odcinka. Uznano, że powyższa forma aktywności, nie angażuje usprawniania percepcji czasu w domenach ćwiczonych w treningu eksperymentalnym i stanowi adekwatną formę aktywnego treningu kontrolnego.

W ramach prowadzonego treningu kontrolnego, prezentowano filmy popularnonaukowe z następujących serii dokumentalnych:

- „Życie ssaków” (10 odcinków);
- „Historia świata” (6 odcinków);
- „Historia nauki” (6 odcinków);
- Wykłady popularnonaukowe TED (ang. *Technology, Entertainment and Design – Technika, Rozrywka i Design* – 2 wystąpienia).

3.3.3. Harmonogram treningów

W przypadku obu treningów zastosowano komplementarny harmonogram spotkań: zarówno trening eksperymentalny, jak i kontrolny obejmował 24 spotkania, które odbywały się w okresie 8 tygodni, z częstotliwością trzech spotkań tygodniowo. Treningi prowadzono w formie spotkań grupowych (5–6 osób w grupie), jednak każda osoba badana pracowała samodzielnie. Każdorazowo przebieg treningu monitorowała osoba nadzorująca spotkanie.

Trening eksperymentalny prowadzono wg specjalnie opracowanego protokołu (Załącznik nr 4), który uwzględniał adaptacyjność zadań i ich utrudnienie wraz ze wzrostem poprawności wykonania. Każdy badany pracował na przydzielonym tablecie, do którego dołączone były słuchawki nauszne. Każda sesja treningowa trwała od 42 do 49 minut – średni czas jednej sesji wynosił 45 minut.

W miarę możliwości, protokół treningu kontrolnego dopasowano do protokołu zastosowanego w treningu eksperymentalnym: zajęcia prowadzono w małych grupach (5–6 osobowych), a czas trwania jednego spotkania również wynosił ok. 45 minut. Każda sesja treningowa rozpoczynała się od ok. 30-minutowej projekcji filmu dokumentalnego, następnie badani wykonywali krótki (5 pytań) test wiedzy dotyczący oglądanego materiału. Ostatnie 15 minut zajmowała dyskusja badanych związana z treściami zaprezentowanego materiału popularnonaukowego.

3.4. Schemat prowadzonych badań

Badanie rozpoczynało się od wstępnej kwalifikacji uczestników w trakcie rozmowy telefonicznej, która dotyczyła kryteriów włączenia do projektu (por. Podrozdział 3.1.1., str. 63). Osoby spełniające kryteria zaproszono do Instytutu na wstępne spotkanie, podczas którego przedstawiono informacje o przebiegu i charakterze prowadzonych badań oraz szczegóły treningu. Po zaprezentowaniu wszystkich niezbędnych informacji, badani podpisywali Świadomą Zgodę (Załącznik nr 1) na udział w projekcie. Następnie wykonywano przesiewowy pomiar słuchu oraz wykluczano objawy: demencji (MMSE), a także depresji (GDS; Podrozdział 3.1.1., str. 63).

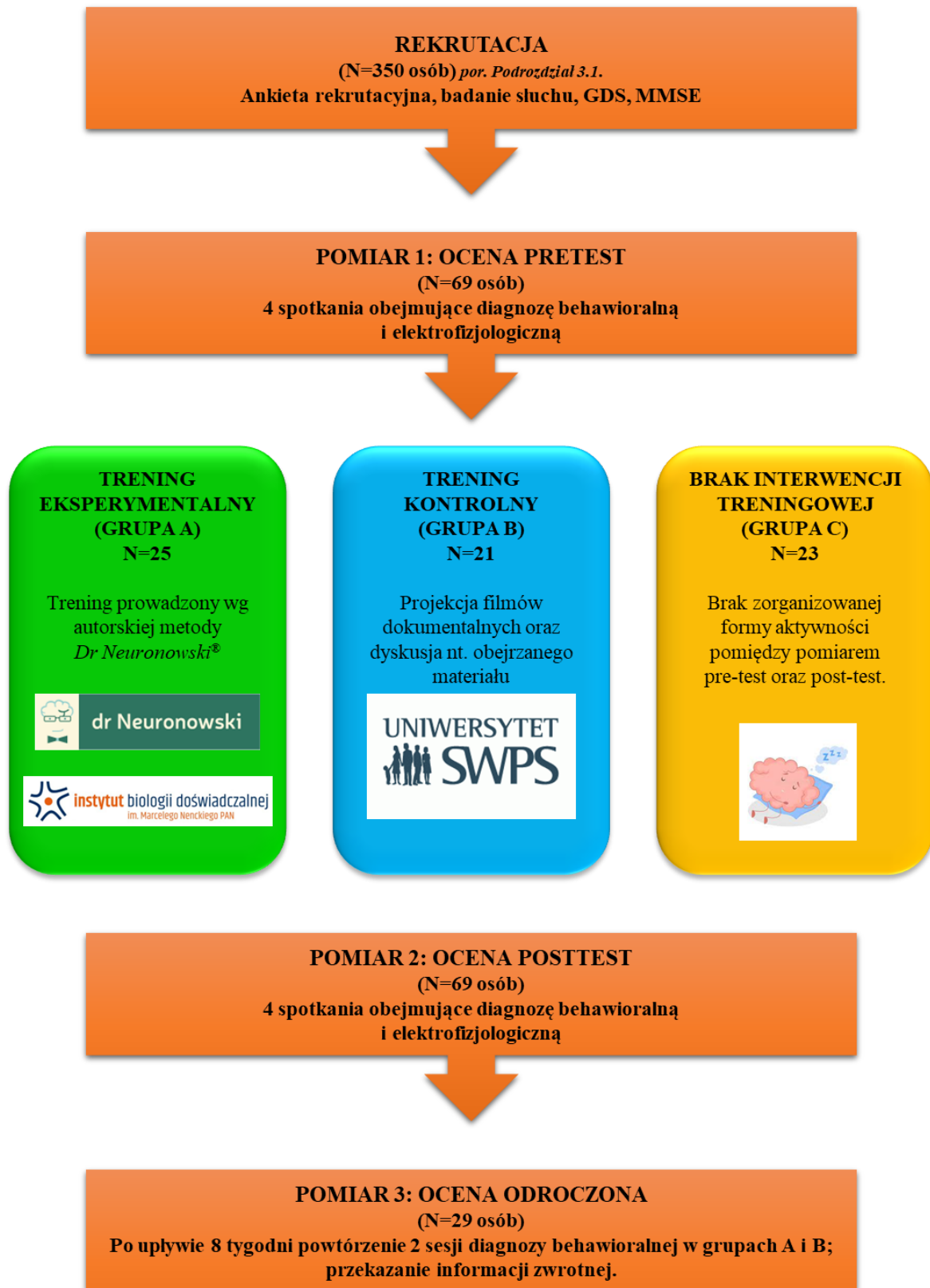
Po zakwalifikowaniu do projektu, osoby badane były przydzielane w sposób losowy do jednej z trzech grup: eksperymentalnej (Grupa A), kontrolnej aktywnej (Grupa B) lub kontrolnej nieaktywnej (Grupa C). Aby wyeliminować efekt oczekiwania i nastawienia osoby badanej, zastosowano metodę ślepej próby – badanych nie informowano o właściwym celu badania, czyli weryfikacji oczekiwanej skuteczności treningu percepcji czasu. Badani otrzymywali natomiast informację, że projekt ma na celu porównanie skuteczności dwóch treningów (eksperymentalnego i kontrolnego).

Badani ze wszystkich trzech grup brali udział w ocenie *pretest* (Pomiar 1, tj. przed interwencją treningową) oraz ocenie *posttest* (Pomiar 2, po interwencji treningowej). Zarówno na pomiar *pretest*, jak i *posttest* składały się wszystkie metody behawioralne oraz elektrofizjologiczne opisane w Podrozdziałach 3.2.1. (str. 67–83) i 3.2.2. (str. 83–90). Sesje diagnostyczne w obrębie jednego pomiaru (oceny *pretest* lub *posttest*) wykonywane były w przeciągu 4 dni. Każde spotkanie zajmowało średnio ok. 1,5–2 godzin, wyjątek natomiast stanowił pomiar EEG, który zajmował ok. 3 godzin.

Pomiędzy Pomiar 1 a Pomiar 2, badani z Grup A i B brali udział w sesjach treningowych, które obejmowały 24 spotkania, każde trwało 45 minut. Szczegółowe informacje dotyczące specyfiki treningów znajdują się w Podrozdziałach 3.3.1. oraz 3.3.2. Należy dodać, że badani z grupy kontrolnej nieaktywnej nie uczestniczyli w żadnej zorganizowanej formie aktywności terapeutycznej pomiędzy pomiarem *pretest* a *posttest* (co weryfikowano na podstawie deklaracji osób badanych z Grupy C).

Po upływie ok. 8 tygodni od zakończenia pomiaru *posttest* u badanych z obu grup treningowych (A i B) wykonywano ponowny pomiar funkcji poznawczych (pomiar odroczone) w celu weryfikacji stabilności efektów treningu. Ocena odroczone obejmowała metody behawioralne odbywała się w trakcie dwóch około 1,5-godzinnych spotkaniach.

Szczegółowy schemat prowadzonych badań przedstawia Ryc. 14.



Ryc. 14 Schemat prowadzonych badań.

3.5. Analizowane zmienne

Zbiorcze zestawienie zmiennych analizowanych w przeprowadzonych badaniach behawioralnych (Tabela 7) i elektrofizjologicznych (Tabela 8).

Tabela 7. Podsumowanie wskaźników analizowanych w badaniach behawioralnych w podziale na poszczególne domeny poznawcze.

Nazwa zadania	Wskaźniki	Mierzona funkcja
CZASOWE OPRACOWYWANIE INFORMACJI		
Zadanie 1	<ul style="list-style-type: none"> Próg Postrzegania Kolejności w zadaniu rozdzielności (PPK-R) 	Sprawność czasowego opracowywania informacji (rozdzielczość czasowa)
Zadanie 2	<ul style="list-style-type: none"> Próg Postrzegania Kolejności w zadaniu obuusznym (PPK-O) 	
PAMIĘĆ		
Test Pojemności Pamięci Przestrzennej (SSP)	<ul style="list-style-type: none"> Pojemność Pamięci Przestrzennej 	Pamięć krótkotrwała przestrzenna
Test Powtarzanie Cyfr	<ul style="list-style-type: none"> Pojemność Pamięci Krótkotrwałej Pojemność Pamięci Roboczej 	Pamięć krótkotrwała werbalna Pamięć robocza
UWAGA		
Test Podzielności Uwagi	<ul style="list-style-type: none"> Liczba błędów w przypadku bodźców wzrokowych Czas reakcji na bodźce wzrokowe Liczba błędów w przypadku bodźców słuchowych 	Podzielność uwagi

	<ul style="list-style-type: none"> • Czas reakcji na bodźce słuchowe 	
Kolorowy Test Połączeń (CTT-1)	<ul style="list-style-type: none"> • Czas wykonania 	Utrzymanie uwagi, przeszukiwanie pola wzrokowego
FUNKCJE WYKONAWCZE		
Test Wieży Londyńskiej	<ul style="list-style-type: none"> • Zdolność planowania • Poprawność wykonania • Czas planowania • Czas wykonania 	Zdolność planowania, kontrola poznawcza, stosowanie określonych reguł
Kolorowy Test Połączeń (CTT-2)	<ul style="list-style-type: none"> • Czas wykonania 	Elastyczność poznawcza, kontrola hamowania
Test Kontroli Hamowania	<ul style="list-style-type: none"> • Liczba reakcji niekompatybilnych lewostronnych • Liczba reakcji niekompatybilnych prawostronnych • Czas reakcji niekompatybilnych lewostronnych • Czas reakcji niekompatybilnych prawostronnych 	Hamowanie reakcji w sytuacji wywołanego konfliktu

Tabela 8. Podsumowanie wszystkich analizowanych wskaźników w dwóch zastosowanych procedurach elektrofizjologicznych.

Rodzaj bodźca	Wskaźniki	Miara
SŁUCHOWA PAMIĘĆ ROBOCZA		
Behawioralne wskaźniki wykonania	<ul style="list-style-type: none"> • Poprawne reakcje • Czas poprawnych reakcji • Liczba fałszywych alarmów 	Behawioralne miary poprawności wykonania

		zadania mierzącego sprawność pamięci roboczej.
Bodziec docelowy	<ul style="list-style-type: none"> • Amplituda i latencja potencjału P300 	Procesy związane z relokacją zasobów uwagi, kategoryzacją bodźca i przetwarzaniem informacji w pamięci roboczej.
PORÓWNYWANIE DŁUGOŚCI TRWANIA BODŹCÓW SŁUCHOWYCH		
Bodziec wyróżniony	<ul style="list-style-type: none"> • Amplituda i latencja potencjału N200 	Wskaźnik wykrycia zmiany, zachodzącej w trakcie regularnej stymulacji.
Fala odjęta (bodziec wyróżniony minus bodziec kontrolny)	<ul style="list-style-type: none"> • Amplituda i latencja potencjału MMN 	Wskaźnik wykrycia różnicy w długości bodźca.

3.6. Wykonane analizy statystyczne

Ze względu na obszerność wykonanych badań i wiele uzyskanych danych, poniżej przedstawiono zbiorczy schemat wykonanych analiz statystycznych w podziale na trzy obszary:

- badania behawioralne – poznanie zmian w funkcjonowaniu poznawczym po przeprowadzonych treningach;
- badanie elektrofizjologiczne – poznanie neurofizjologicznych korelatów zmian w działaniu mózgu w wyniku zastosowanych treningów;
- elektrofizjologiczne korelaty funkcjonowania poznawczego seniora – badania korelacyjne.
 - Ze względu na obszerny materiał badawczy, który udało się zebrać, przeprowadzono dodatkowe analizy eksploracyjne, które miały na celu

pogłębienie wiedzy nt. starzenia poznawczego i jego behawioralnych oraz neurofizjologicznych korelatów.

Powyższy podział miał na celu usystematyzowanie oraz ułatwienie zrozumienia kolejnych etapów wykonanych analiz statystycznych.

Analizy statystyczne wykonano w programie IBM SPSS Statistic w wersji 26. Przed przystąpieniem do wykonania analiz weryfikujących postawione hipotezy (por. Podrozdział 2.2., str. 61), przeprowadzono analizy eksploracyjne w celu ewaluacji, czy zebrane dane spełniają założenia umożliwiające wykonanie statystyk parametrycznych (test Shapiro–Wilka). Ponadto, z analiz wykluczono obserwacje wyraźnie odbiegające od obserwowanych w grupie (ang. *outlier*), które jasno wskazywały na nietypowe i nieadekwatne wykonanie danego zadania. Nieprzystające wyniki wykluczono na podstawie inspekcji wzrokowej oraz weryfikacji protokołów dokumentujących przebieg każdej sesji diagnostycznej. Szacunkowo, obserwacje odstające nieuwzględnione w analizach statystycznych stanowiły nie więcej niż 4% zebranych wyników.

Aby zweryfikować skuteczność treningu *Dr Neuronowski*[®], analizy statystyczne prowadzono dwutorowo: w przypadku spełnienia niezbędnych założeń o normalności rozkładu, wykonano analizy parametryczne, natomiast gdy rozkład danych odbiegał od rozkładu normalnego, zastosowano nieparametryczne odpowiedniki.

3.6.1. Badania behawioralne

Etap I – ocena zmian funkcjonowania poznawczego po przeprowadzeniu treningu eksperymentalnego i treningu kontrolnego:

1. Analizy parametryczne:

- a. Zastosowano dwuczynnikową analizę wariancji (ANOVA) w schemacie mieszanym z powtarzaniem pomiarem. Czynnikiem kontrolowanym wewnątrzosobniczo był pomiar (*pretest vs. posttest*), natomiast czynnikiem międzyosobniczym była przynależność do jednej z trzech grup: eksperymentalnej (Grupa A), kontrolnej aktywnej (Grupa B) lub kontrolnej nieaktywnej (Grupa C). Zmienną zależną były wyniki uzyskane w poszczególnych zadaniach behawioralnych. W przypadku uzyskania

zależności istotnych statystycznie, w kolejnym kroku zastosowano testy *post hoc* (z poprawką Bonferroni dla porównań wielokrotnych).

2. Analizy nieparametryczne:

- a. W celu poznania ewentualnych różnic pomiędzy badanymi grupami, w pierwszej kolejności wykonano wstępne porównania międzygrupowe (na wynikach *pretestu*) za pomocą testu Kruskala-Wallisa.
- b. Następnie, aby ocenić zmiany w funkcjonowaniu poznawczym w wyniku przeprowadzonych treningów, zastosowano test Wilcoxon. Osobno, dla każdej z trzech grup, wykonano porównania wewnątrzgrupowe (*pretest vs. posttest*).

Etap II – weryfikacja stabilności uzyskanej poprawy:

Aby ocenić stabilność zmian uzyskanych po treningu, wykonano analizy porównujące wyniki uzyskane przez osoby badane w pomiarze *posttest* (Pomiar 2) z wynikami pomiaru odroczonego (Pomiar 3; por. Ryc. 14. Schemat prowadzonych badań, str. 111). Porównania te zostały przeprowadzone tylko w grupach eksperymentalnej A oraz kontrolnej aktywnej B. Grupa kontrolna nieaktywna C nie brała udziału w diagnozie odroczonej. Ze względu na znacznie mniejszą liczbą osób badanych, które brały udział w diagnozie odroczonej, analizy zostały wykonane za pomocą metod nieparametrycznych (test Wilcoxon).

3.6.1.2. Zestawienie wykonanych analiz

Zbiorne zestawienie analiz wykonanych w badaniach behawioralnych dotyczące efektywności przeprowadzonych treningów (porównanie pomiarów *pretest vs. posttest*).

Tabela 9 Podsumowanie wykonanych analiz.

Badana funkcja	Zmienna zależna	Rodzaj analizy
Percepcja czasu	Pomiar Progu Postrzegania Kolejności w zadaniu rozdzielnościowym	Dwuczynnikowa ANOVA nr 1.1

	Pomiar Progu Postrzegania Kolejności w zadaniu obuusznym	Dwuczynnikowa ANOVA nr 1.2
Pamięć	Pojemność Pamięci Przestrzennej	Test Kruskala-Wallisa nr 2.1 Test Wilcoxon nr 2.2
	Pojemność Pamięci Krótkotrwałej	Test Kruskala-Wallisa nr 2.3 Test Wilcoxon nr 2.4
	Pojemność Pamięci Roboczej	Test Kruskala-Wallisa nr 2.5 Test Wilcoxon nr 2.6
Uwaga	Liczba błędów w przypadku bodźców wzrokowych	Test Kruskala-Wallisa nr 3.1 Test Wilcoxon nr 3.2
	Czas reakcji na bodźce wzrokowe	Test Kruskala-Wallisa nr 3.3 Test Wilcoxon nr 3.4
	Liczba błędów w przypadku bodźców słuchowych	Test Kruskala-Wallisa nr 3.5 Test Wilcoxon nr 3.6
	Czas reakcji na bodźce słuchowe	Test Kruskala-Wallisa nr 3.7 Test Wilcoxon nr 3.8
	Czas wykonania CCT-1	Test Kruskala-Wallisa nr 3.9 Test Wilcoxon nr 3.10
Funkcje wykonawcze	Zdolność planowania	Dwuczynnikowa ANOVA nr 4.1
	Poprawność wykonania	Dwuczynnikowa ANOVA nr 4.2
	Czas planowania	Dwuczynnikowa ANOVA nr 4.3
	Czas wykonania	Dwuczynnikowa ANOVA nr 4.4
	Czas wykonania CCT-2	Test Kruskala-Wallisa nr 5.1 Test Wilcoxon nr 5.2
	Reakcje niekompatybilne lewostronne	Test Kruskala-Wallisa nr 5.3 Test Wilcoxon nr 5.4
	Reakcje niekompatybilne prawostronne	Test Kruskala-Wallisa nr 5.5 Test Wilcoxon nr 5.6

Czas reakcji niekompatybilnych lewostronnych	Test Kruskala-Wallisa nr 5.7 Test Wilcoxona nr 5.8
Czas reakcji niekompatybilnych prawostronnych	Test Kruskala-Wallisa nr 5.9 Test Wilcoxona nr 5.10

3.6.2. Badania elektrofizjologiczne

3.6.2.1. Zadanie 1 – Słuchowa pamięć robocza

Etap I – porównawcza analiza poziomu trudności warunków 1– vs. 2–wstecz (pomiar *pretest*)

Wskaźniki behawioralne

Wykonano porównania następujących zmiennych: poprawne reakcje, fałszywe alarmy i czas reakcji. Ze względu na to, że w przypadku każdej z tych trzech zmiennych, rozkład danych odbiegał od normalnego, analizy porównawcze wykonano testem Wilcoxona. W ten sposób porównano dwa poziomy trudności zadania (warunek: 1– vs. 2–wstecz).

Wskaźniki elektrofizjologiczne

W ramach wstępnej analizy potencjałów wywołanych, przeprowadzono analizę porównawczą potencjału P300 uzyskanego w odpowiedzi na bodźce docelowe. Wykonano analizę nieparametryczną testem Wilcoxona, która pozwoliła porównać potencjał P300 pomiędzy dwoma warunkami zadania *n*–wstecz w ramach pomiaru *pretest*. Porównania wykonano osobno dla trzech elektrod: Fz, Cz, Pz.

Dodatkowo, w celu porównania amplitudy potencjału P300 na poszczególnych elektrodach (Fz, Cz, Pz) osobno dla obu warunków zadania *n*–wstecz, wykonano w pierwszej kolejności analizy testem Friedmana. W przypadku uzyskania wyników istotnych statystycznie, w kolejnym kroku przeprowadzono analizy *post hoc* z wykorzystaniem testu Wilcoxona z uwzględnieniem poprawki Bonferroniego dla porównań wielokrotnych.

Etap II – ocena zmian funkcjonowania poznawczego po przeprowadzeniu treningu eksperymentalnego i treningu kontrolnego

Wskaźniki behawioralne i elektrofizjologiczne

1. Aby ocenić, czy nie ma różnic pomiędzy badanymi grupami, wykonano wstępne porównania międzygrupowe (na wynikach *pretestu*) za pomocą testu Kruskala-Wallisa.
2. W sytuacji uzyskania wyników istotnych statystycznie, świadczących o różnicach międzygrupowych na poziomie pomiaru *pretest*, zastosowano test *post hoc* Dunna. Pozwoliło to porównać poziom wykonania danego zadania w analizowanych grupach
3. W celu oceny zmian w funkcjonowaniu poznawczym po zastosowanych treningach, wykonano docelowe porównania wewnątrzgrupowe (*pretest vs. posttest*) osobno dla każdej z trzech grup przy użyciu testu Wilcoxon.

W celu oszacowania zmian następujących po treningach, wykonano także analizę z wykorzystaniem wskaźnika zwanego obciążeniem poznawczym (ang. *mental workload*). Obciążenie poznawcze definiowane jest jako rozbieżność pomiędzy wymogami zadania, a zasobami danej osoby, pozwalającymi wykonać zadanie. Obciążenie poznawcze wzrasta wraz z trudnością/skomplikowaniem zadania (Pergher i wsp., 2019). Wskaźnik ten odzwierciedla czysty wysiłek poznawczy niezbędny do wykonania danego zadania.

Zastosowany w analizach wskaźnik Amplitudy obciążenia poznawczego obliczono w następujący sposób: od amplitudy uzyskanej w odpowiedzi na bodziec docelowy, odejmowano amplitudę uzyskaną w odpowiedzi na bodziec dystrakcyjny. Przeprowadzone badania sugerują, że metoda EEG jest czułym wskaźnikiem poziomu obciążenia poznawczego (Pergher i wsp., 2019). Wzrastający poziom trudności zadania badającego słuchową pamięć roboczą (1–wstecz oraz 2–wstecz) pozwala ocenić obciążenie poznawcze osoby badanej (Chen i wsp., 2008). Ponieważ dane spełniały niezbędne założenia, wykonano analizy parametryczne, tj. dwuczynnikowe analizy wariancji w schemacie mieszanym z powtarzaniem pomiarem, osobno dla warunku „1–wstecz” oraz „2–wstecz”. Wewnątrzosobniczo kontrolowano pomiar (*pretest vs. posttest*), a międzyosobniczo przynależność do jednej z trzech grup: eksperymentalnej A, kontrolnej aktywnej B lub kontrolnej nieaktywnej C. Zmienną zależną był wskaźnik obciążenia poznawczego.

3.6.2.2. Zadanie 2 – Porównywanie długości trwania bodźca słuchowego

Etap I – weryfikacja zastosowanych trzech poziomów trudności zadania (analiza na wynikach z pomiaru *pretest*)

W celu porównania trzech poziomów trudności wykonano jednoczynnikową analizę wariancji (zmiennymi zależnymi były 3 warunki zadania: łatwy, średniotrudny, trudny), a następnie przeprowadzono testowanie *post hoc* za pomocą testu Bonferroniego.

Etap II – ocena zmian funkcjonowania poznawczego po przeprowadzeniu treningu eksperymentalnego i kontrolnego

W ramach analiz statystycznych wykonano dwuczynnikową analizę wariancji w schemacie mieszanym z powtarzaniem pomiarem. Uwzględniono pomiar (*pretest vs. posttest*) i grupę (eksperymentalna, kontrolna aktywna i kontrolna nieaktywna) jako czynniki wewnątrzsobnicze. Za zmienne zależne przyjęto wartości amplitud i latencji uzyskanych potencjałów wywołanych.

3.6.2.3. Zestawienie wykonanych analiz

Tabela 10 Zbiorcze zestawienie analiz wykonanych w badaniach elektrofizjologicznych.

ZADANIE SŁUCHOWEJ PAMIĘCI ROBOCZEJ	
Weryfikacja poziomu trudności zadań 1– vs. 2–wstecz (wskaźniki behawioralne)	
Zmienna zależna	Rodzaj analizy
Poprawne reakcje	Test Wilcoxona nr 8.1
Fałszywe alarmy	Test Wilcoxona nr 8.2
Czas poprawnych reakcji	Test Wilcoxona nr 8.3
Porównanie poziomu potencjału P300 pomiędzy warunkami 1– vs. 2–wstecz	
Zmienna zależna	Rodzaj analizy
Amplituda potencjału P300 na elektrodzie Fz	Test Wilcoxona nr 9.1
Latencja potencjału P300 na elektrodzie Fz	Test Wilcoxona nr 9.2
Amplituda potencjału P300 na elektrodzie Cz	Test Wilcoxona nr 9.3
Latencja potencjału P300 na elektrodzie Cz	Test Wilcoxona nr 9.4
Amplituda potencjału P300 na elektrodzie Pz	Test Wilcoxona nr 9.5
Latencja potencjału P300 na elektrodzie Pz	Test Wilcoxona nr 9.6
Porównanie poziomu potencjału P300 pomiędzy elektrodami osobno dla warunków 1– i 2–wstecz	

Zmienna zależna	Rodzaj analizy
Amplitudy potencjału P300 na elektrodach Fz, Cz i Pz w warunku 1–wstecz	Test Friedmana nr 10.1
Amplitudy potencjału P300 na elektrodach Fz, Cz i Pz w warunku 2–wstecz	Test Friedmana nr 10.2
Amplitudy potencjału P300 na elektrodach Fz i Cz w warunku 1–wstecz	Test Wilcoxona nr 10.3
Amplitudy potencjału P300 na elektrodach Fz i Pz w warunku 1–wstecz	Test Wilcoxona nr 10.4
Amplitudy potencjału P300 na elektrodach Cz i Pz w warunku 1–wstecz	Test Wilcoxona nr 10.5
Amplitudy potencjału P300 na elektrodach Fz i Cz w warunku 2–wstecz	Test Wilcoxona nr 10.6
Amplitudy potencjału P300 na elektrodach Fz i Pz w warunku 2–wstecz	Test Wilcoxona nr 10.7
Amplitudy potencjału P300 na elektrodach Cz i Pz w warunku 2–wstecz	Test Wilcoxona nr 10.8
Efektywność przeprowadzonych treningów (wskaźniki behawioralne)	
Zmienna zależna	Rodzaj analizy
Poprawne reakcje w warunku 1–wstecz	Test Kruskala Wallisa nr 11.1 Test Wilcoxona nr 11.2
Poprawne reakcje w warunku 2–wstecz	Test Kruskala Wallisa nr 11.3 Test Wilcoxona nr 11.4
Fałszywe alarmy w warunku 1–wstecz	Test Kruskala Wallisa nr 11.5 Test Wilcoxona nr 11.6
Fałszywe alarmy w warunku 2–wstecz	Test Kruskala Wallisa nr 11.7 Test Wilcoxona nr 11.8
Czas poprawnych reakcji w warunku 1–wstecz	Test Kruskala Wallisa nr 11.9 Test Wilcoxona nr 11.10
Czas poprawnych reakcji w warunku 2–wstecz	Test Kruskala Wallisa nr 11.11 Test Wilcoxona nr 11.12
Efektywność przeprowadzonych treningów (wskaźniki elektrofizjologiczne)	
Zmienna zależna	Rodzaj analizy

Amplituda potencjału P300 w odpowiedzi na bodziec docelowy w warunku 1–wstecz	Test Kruskala Wallisa nr 12.1 Test Wilcoxon nr 12.2
Latencja potencjału P300 w odpowiedzi na bodziec docelowy w warunku 1–wstecz	Test Kruskala Wallisa nr 12.3 Test Wilcoxon nr 12.4
Amplituda potencjału P300 w odpowiedzi na bodziec docelowy w warunku 2–wstecz	Test Kruskala Wallisa nr 12.5 Test Wilcoxon nr 12.6
Latencja potencjału P300 w odpowiedzi na bodziec docelowy w warunku 2–wstecz	Test Kruskala Wallisa nr 12.7 Test Wilcoxon nr 12.8
Amplituda obciążenia poznawczego na elektrodzie Fz w warunku 1–wstecz	Dwuczynnikowa ANOVA nr 13.1
Amplituda obciążenia poznawczego na elektrodzie Fz w warunku 2–wstecz	Dwuczynnikowa ANOVA nr 13.2

ZADANIE PORÓWNYWANIA DŁUGOŚCI TRWANIA BODŹCÓW SŁUCHOWYCH

Weryfikacja poziomu trudności 3 warunków zadania

Zmienna zależna	Rodzaj analizy
Amplituda potencjału MMN	Jednoczynnikowa ANOVA nr 14.1

Efektywność przeprowadzonych treningów (wskaźniki elektrofizjologiczne)

Zmienna zależna	Rodzaj analizy
Latencja potencjału MMN na elektrodzie F3	Test Kruskala Wallisa nr 15.1 Test Wilcoxon nr 15.2
Latencja potencjału MMN na elektrodzie Fz	Test Kruskala Wallisa nr 15.3 Test Wilcoxon nr 15.4
Latencja potencjału MMN na elektrodzie F4	Test Kruskala Wallisa nr 15.5 Test Wilcoxon nr 15.6
Latencja potencjału MMN na elektrodzie FC1	Test Kruskala Wallisa nr 15.7 Test Wilcoxon nr 15.8
Latencja potencjału MMN na elektrodzie FCz	Test Kruskala Wallisa nr 15.9 Test Wilcoxon nr 15.10

Latencja potencjału MMN na elektrodzie FC2	Test Kruskala Wallisa nr 15.11 Test Wilcoxon nr 15.12
Latencja potencjału MMN na elektrodzie C3	Test Kruskala Wallisa nr 15.13 Test Wilcoxon nr 15.14
Latencja potencjału MMN na elektrodzie Cz	Test Kruskala Wallisa nr 15.15 Test Wilcoxon nr 15.16
Latencja potencjału MMN na elektrodzie C4	Test Kruskala Wallisa nr 15.17 Test Wilcoxon nr 15.18
Amplituda potencjału MMN na elektrodzie F3	Test Kruskala Wallisa nr 16.1 Test Wilcoxon nr 16.2
Amplituda potencjału MMN na elektrodzie Fz	Test Kruskala Wallisa nr 16.3 Test Wilcoxon nr 16.4
Amplituda potencjału MMN na elektrodzie F5	Test Kruskala Wallisa nr 16.5 Test Wilcoxon nr 16.6
Amplituda potencjału MMN na elektrodzie FC1	Test Kruskala Wallisa nr 16.7 Test Wilcoxon nr 16.8
Amplituda potencjału MMN na elektrodzie FCz	Test Kruskala Wallisa nr 16.9 Test Wilcoxon nr 16.10
Amplituda potencjału MMN na elektrodzie FC2	Test Kruskala Wallisa nr 16.11 Test Wilcoxon nr 16.12
Amplituda potencjału MMN na elektrodzie C3	Test Kruskala Wallisa nr 16.13 Test Wilcoxon nr 16.14
Amplituda potencjału MMN na elektrodzie Cz	Test Kruskala Wallisa nr 16.15 Test Wilcoxon nr 16.16
Amplituda potencjału MMN na elektrodzie C5	Test Kruskala Wallisa nr 16.17 Test Wilcoxon nr 16.18
Latencja potencjału N200 na elektrodzie F3	Test Kruskala Wallisa nr 17.1 Test Wilcoxon nr 17.2
Latencja potencjału N200 na elektrodzie Fz	Test Kruskala Wallisa nr 17.3 Test Wilcoxon nr 17.4
Latencja potencjału N200 na elektrodzie F4	Test Kruskala Wallisa nr 17.5 Test Wilcoxon nr 17.6
Latencja potencjału N200 na elektrodzie FC1	Test Kruskala Wallisa nr 17.7

	Test Wilcoxona nr 17.8
Latencja potencjału N200 na elektrodzie FCz	Test Kruskala Wallisa nr 17.9 Test Wilcoxona nr 17.10
Latencja potencjału N200 na elektrodzie FC2	Test Kruskala Wallisa nr 17.11 Test Wilcoxona nr 17.12
Latencja potencjału N200 na elektrodzie C3	Test Kruskala Wallisa nr 17.13 Test Wilcoxona nr 17.14
Latencja potencjału N200 na elektrodzie Cz	Test Kruskala Wallisa nr 17.15 Test Wilcoxona nr 17.16
Latencja potencjału N200 na elektrodzie C4	Test Kruskala Wallisa nr 17.17 Test Wilcoxona nr 17.18
Amplituda potencjału N200 na elektrodzie F3	Test Kruskala Wallisa nr 18.1 Test Wilcoxona nr 18.2
Amplituda potencjału N200 na elektrodzie Fz	Test Kruskala Wallisa nr 18.3 Test Wilcoxona nr 18.4
Amplituda potencjału N200 na elektrodzie F5	Test Kruskala Wallisa nr 18.5 Test Wilcoxona nr 18.6
Amplituda potencjału N200 na elektrodzie FC1	Test Kruskala Wallisa nr 18.7 Test Wilcoxona nr 18.8
Amplituda potencjału N200 na elektrodzie FCz	Test Kruskala Wallisa nr 18.9 Test Wilcoxona nr 18.10
Amplituda potencjału N200 na elektrodzie FC2	Test Kruskala Wallisa nr 18.11 Test Wilcoxona nr 18.12
Amplituda potencjału N200 na elektrodzie C3	Test Kruskala Wallisa nr 18.13 Test Wilcoxona nr 18.14
Amplituda potencjału N200 na elektrodzie Cz	Test Kruskala Wallisa nr 18.15 Test Wilcoxona nr 18.16
Amplituda potencjału N200 na elektrodzie C5	Test Kruskala Wallisa nr 18.17 Test Wilcoxona nr 18.18

3.6.3. Elektrofizjologiczne korelaty funkcji poznawczych

W celu sprawdzenia, czy elektrofizjologiczne wskaźniki są powiązane ze wskaźnikami behawioralnymi, wykonano analizy korelacyjne.

Analizy zostały przeprowadzone pomiędzy wielkością amplitudy potencjału P300 (Zadanie 1 – Słuchowa pamięć robocza) i wskaźnikami testów behawioralnych, a także pomiędzy wielkością amplitudy fali MMN oraz potencjału N200 (Zadanie 2 – Porównywanie długości trwania bodźca słuchowego) i wskaźnikami testów behawioralnych.

Przeprowadzono także analizę korelacji pomiędzy wartościami zmiennych behawioralnych i różnicami w amplitudzie potencjału P300 pomiędzy elektrodą Fz oraz elektrodami Cz i Pz (tj. Fz – Cz oraz Fz – Pz). Dane literaturowe wskazują na ciemieniową lokalizację potencjału P300. Natomiast uzyskane przez mnie wyniki badań elektrofizjologicznych przedstawiają czołową topografię opisywanego potencjału u zdrowych osób starszych. Zaobserwowane przesunięcie potencjału P300 z topografii typowo ciemieniowej w stronę czołową wiąże z zaangażowaniem kory czołowej jako kompensacji u osób starszych, aby sprostać wymogom zadania (Lubitz i wsp., 2017). W związku z tym, interesującym wydaje się ocenić czysty poziom zaangażowania poznawczego kory czołowej, który zdefiniowałam jako różnicę pomiędzy amplitudą potencjału na elektrodzie umieszczonej frontalnie z pozostałymi elektrodami ulokowanymi centralnie i ciemieniowo.

Przeprowadzone analizy korelacyjne wykonano z zastosowaniem testu *rho* Spearmana.

4. WYNIKI

4.1. Efektywność przeprowadzonych treningów – badania behawioralne – testowanie hipotezy H1

4.1.1. Wpływ treningu eksperymentalnego i treningu kontrolnego na percepcję czasu

Próg Postrzegania Kolejności

Statystyki opisowe zmiennych dotyczących percepcji czasu przedstawia Tabela 11.

Tabela 11 Średnie i odchylenia standardowe analizowanych zmiennych.

Grupa	n	PPK-R (ms)		n	PPK-O (ms)	
		M (SD)			M (SD)	
		pretest	posttest		pretest	posttest
Eksperymentalna A	23	78 (24)	60 (19)	20	64 (22)	44 (18)
Kontrolna aktywna B	18	74 (27)	72 (26)	17	52 (29)	50 (35)
Kontrolna nieaktywna C	21	69 (26)	67 (25)	23	47 (20)	50 (31)

Dla przypomnienia: PPK-R – Próg Postrzegania Kolejności – zadanie rozdzielności; PPK-O – Próg Postrzegania Kolejności – zadanie obuuszne.

1) Zadanie rozdzielności (PPK-R)

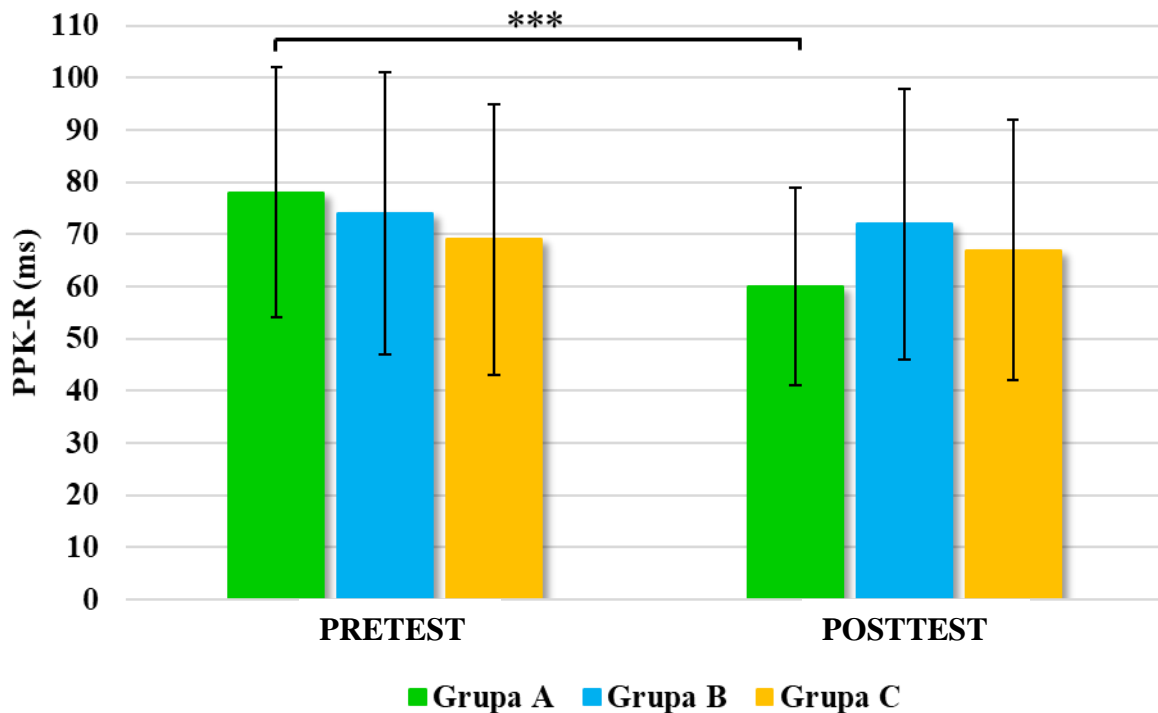
Wskaźnik testu: Próg Postrzegania Kolejności – zadanie rozdzielności

ANOVA nr 1.1: zmienna zależna PPK-R; porównanie pomiarów: *pretest vs. posttest*.

Wykazano istotny efekt główny Pomiaru: $F(1, 59) = 7,68$; $p = 0,007$; $\eta^2 = 0,115$ oraz interakcję pomiaru i grupy: $F(1, 59) = 4,103$; $p = 0,021$; $\eta^2 = 0,122$.

W pomiarach *pretest* oraz *posttest* nie wykazano istotnych różnic w pomiarze PPK-R pomiędzy trzema analizowanymi grupami (poprawka dla porównań wielokrotnych Bonferroni).

Wyłącznie w grupie eksperymentalnej wykazano istotnie niższy wynik PPK-R w pomiarze *posttest* w porównaniu do pomiaru *pretest* ($p < 0,001$). Natomiast w obu grupach kontrolnych nie wykazano istotnych statystycznie różnic pomiędzy dwoma pomiarami (grupa kontrolna aktywna: $p = 0,666$; grupa kontrolna nieaktywna: $p = 0,638$). Średnie i odchylenia standardowe uzyskane w poszczególnych pomiarach umieszczono w Tabeli 11, a graficzna prezentacja wyników przedstawiona została na Rycinie 15.



Ryc. 15 Średnie wartości PPK-R oraz odchylenia standardowe uzyskane w obu pomiarach *pretest* i *posttest* w grupach: A – eksperymentalnej; B – kontrolnej aktywnej; C – kontrolnej nieaktywnej. Istotność statystyczną obrazującą efekt interakcji: ‘pomiar x grupa’ oznaczono gwiazdkami: *** $p < 0,001$.

2) Zadanie obuuszne (PPK-O)

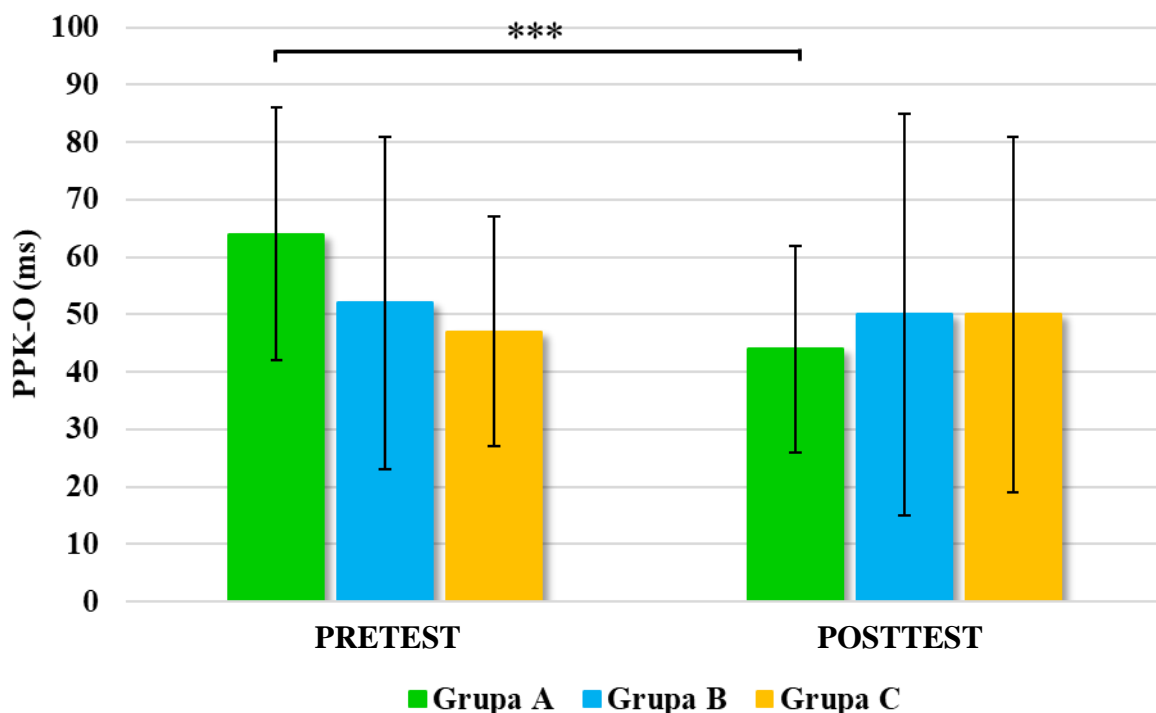
Wskaźnik testu: Próg Postrzegania Kolejności – zadanie obuuszne

ANOVA nr 1.2: zmienna zależna PPK-O; porównanie pomiarów *pretest* vs. *posttest*.

Wykazano istotny efekt główny Pomiaru: $F(1, 57) = 4,107$; $p = 0,047$; $\eta^2 = 0,067$ oraz interakcję Pomiaru i Grupy: $F(1, 57) = 3,672$; $p = 0,032$; $\eta^2 = 0,114$.

W pomiarach *pretest* oraz *posttest* nie wykazano różnic istotnych statystycznie w wartościach PPK-R pomiędzy grupami A, B i C (poprawka dla porównań wielokrotnych Bonferroniego).

Jedynie w grupie eksperymentalnej zaobserwowano istotnie niższy wynik PPK-R w pomiarze *posttest* w stosunku do pomiaru *pretest* ($p = 0,002$). Natomiast w obu grupach kontrolnych nie wykazano istotnych statystycznie różnic pomiędzy dwoma pomiarami (grupa kontrolna aktywna: $p = 0,537$; grupa kontrolna nieaktywna: $p = 0,677$). Średnie i odchylenia standardowe z poszczególnych pomiarów umieszczono w Tabeli 11, a graficzna prezentacja wyników przedstawiona została na Rycinie 16.



Ryc. 16 Średnie wartości PPK-O oraz odchylenia standardowe uzyskane w obu pomiarach *pretest* i *posttest* w grupach: A – eksperymentalnej; B – kontrolnej aktywnej; C – kontrolnej nieaktywnej. Istotność statystyczną obrazującą efekt interakcji: ‘pomiar x grupa’ oznaczono gwiazdkami: *** $p = 0,002$.

4.1.2. Wpływ treningu eksperymentalnego i treningu kontrolnego na procesy pamięciowe

1) Test Pojemności Pamięci Przestrzennej

Wskaźnik testu: Pojemność Pamięci Przestrzennej

Statystyki opisowe zmiennych dotyczących pamięci przestrzennej przedstawia Tabela 12.

Tabela 12 Statystyki opisowe (mediana, minimum, maksimum) analizowanych zmiennych.

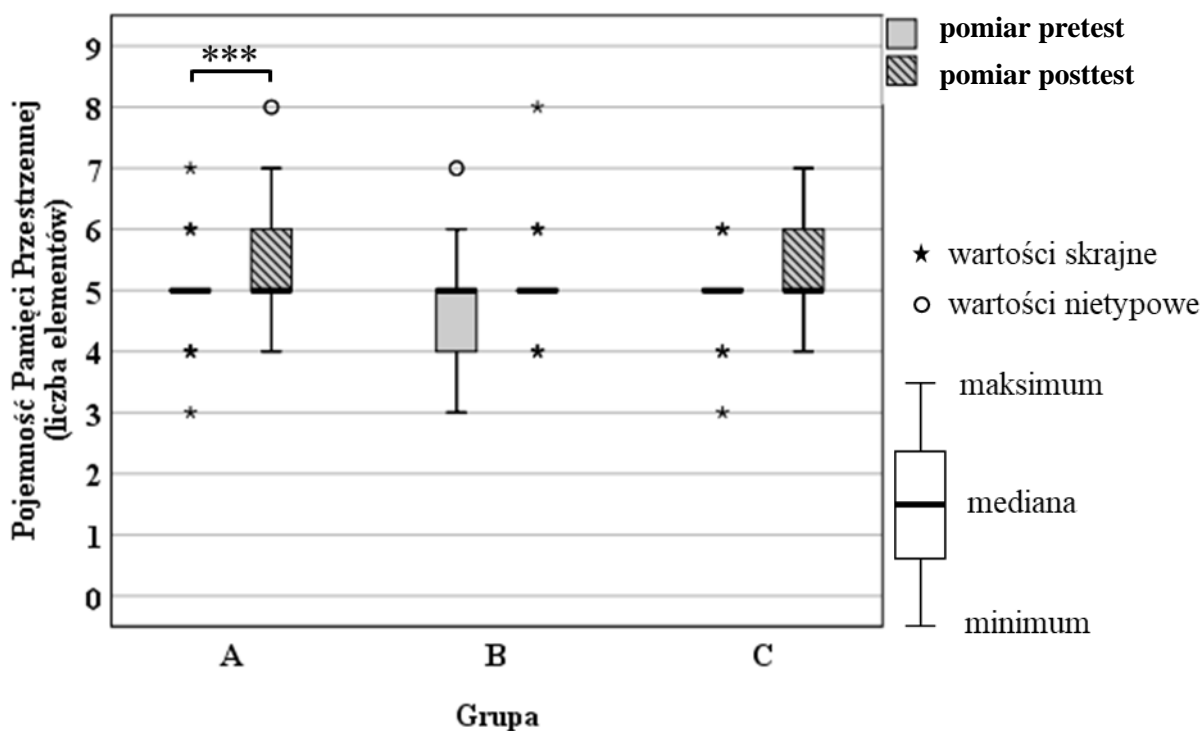
Grupa	n	Pojemność Pamięci Przestrzennej (liczba elementów)	
		<i>Me (Min–Max)</i>	
		pretest	posttest
Eksperymentalna A	24	5 (3–7)	5 (4–8)
Kontrolna aktywna B	20	5 (3–7)	5 (4–8)
Kontrolna nieaktywna C	20	5 (3–6)	5 (4–7)

Wstępne porównania międzygrupowe nr 2.1 (na podstawie wyników *pretest*)

Nie wykazano istotnych statystycznie różnic pomiędzy trzema grupami dla wskaźnika Pojemności Pamięci Przestrzennej: $H(2) = 0,450$; $p = 0,799$ (test Kruskala-Wallisa).

Porównania wewnątrzgrupowe nr 2.2 (*pretest vs. posttest*)

Porównanie wyników *pretest* z wynikami *posttest* przy użyciu testu Wilcozona wykazało istotne statystycznie różnice tylko w grupie eksperymentalnej. Tylko u badanych z tej grupy wykazano istotnie większą pojemność pamięci przestrzennej w pomiarze *posttest* ($Z = -2,430$; $p = 0,015$). W pozostałych grupach nie zaobserwowano zmian istotnych statystycznie (grupa kontrolna aktywna: $Z = -1,485$; $p = 0,138$; grupa kontrolna nieaktywna: $Z = -1,427$; $p = 0,154$). Statystyki opisowe zaprezentowano w Tabeli 12, natomiast graficzna prezentacja wyników widoczna jest na Rycinie 17.



Ryc. 17 Zestawienie wyników uzyskanych w pomiarach *pretest* i *posttest*, przedstawione osobno dla trzech grup: A – eksperymentalnej, B – kontrolnej aktywnej, C – kontrolnej nieaktywnej. Istotność statystyczną pomiędzy pomiarami *pretest* i *posttest* oznaczono gwiazdkami: *** $p = 0,015$.

OBJAŚNIENIE OZNACZEŃ WYKRESÓW SKRZYŃKOWYCH

Każda skrzynka obrazuje medianę, która jest oznaczona pogrubioną czarną kreską. Cała skrzynka odzwierciedla tzw. długość rozstępu międzykwartyłowego – obszar skrzynki mieści 50% wartości cechy pomiędzy 25 a 75 percentylem. Wąsami oznaczone jest minimum oraz maksimum, czyli wartości, które znajdują się w granicy 1,5 odległości od granicy rozstępu międzykwartyłowego. Wąsy wyznaczają minimalne lub maksymalne typowe wartości dla wyników uzyskanych w danym pomiarze. Symbol okręgu („o”) odzwierciedla wartości nietypowe oddalone od granic skrzynki (25 lub 75 percentyl) o 1,5 długości skrzynki. Symbol gwiazdki („*”) obrazuje wartości skrajne, które są oddalone od granic skrzynki (25 lub 75 percentyl) o więcej niż 1,5 długości skrzynki (Malarska, 2005).

2) Powtarzanie Cyfr – Cyfry Wprost

Wskaźnik testu: Pojemność Pamięci Krótkotrwałej

Statystyki opisowe zmiennych dotyczących pamięci krótkotrwałej przedstawia Tabela 13.

Tabela 13 Statystyki opisowe (mediana, minimum, maksimum) analizowanych zmiennych.

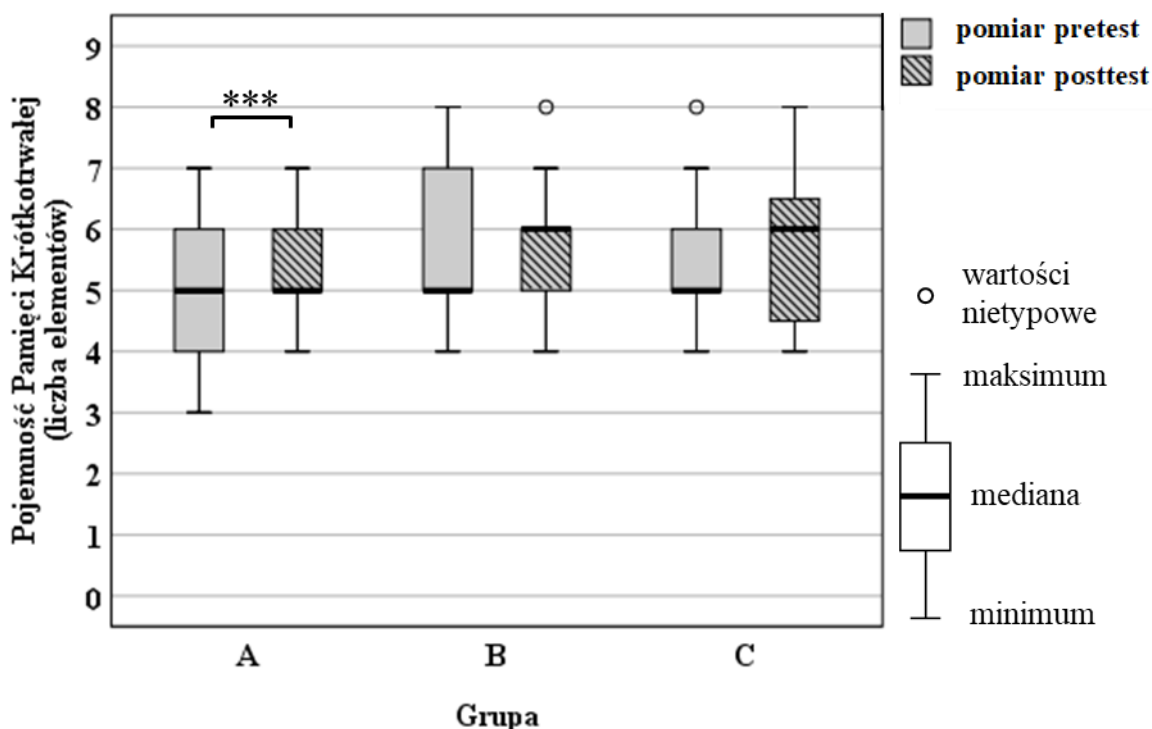
Grupa	n	Pojemność Pamięci Krótkotrwałej (liczba elementów)	
		Me (Min–Max)	
		pretest	posttest
Eksperymentalna A	25	5 (3–7)	5 (4–7)
Kontrolna aktywna B	21	5 (4–8)	6 (4–8)
Kontrolna nieaktywna C	23	5 (4–8)	6 (4–8)

Wstępne porównania międzygrupowe nr 2.3 (na podstawie wyników *pretest*)

Analiza wskaźnika Pojemności Pamięci Krótkotrwałej nie wykazała istotnych statystycznie różnic pomiędzy trzema grupami: $H(2) = 4,698$; $p = 0,095$ (test Kruskala-Wallisa).

Porównania wewnątrzgrupowe nr 2.4 (*pretest* vs. *posttest*)

Używając testu Wilcoxon, porównano wyniki *pretest* z wynikami *posttest*. Tylko u badanych z grupy eksperymetalnej zaobserwowano istotnie większą pojemność pamięci krótkotrwałej ($Z = -1,979$; $p = 0,048$). W pozostałych grupach nie zaobserwowano istotnych statystycznie różnic (grupa kontrolna aktywna: $Z = -0,863$; $p = 0,388$; grupa kontrolna nieaktywna: $Z = -1,444$; $p = 0,149$). Statystyki opisowe prezentowane są w Tabeli 13, a graficzne zobrazowanie wyników przedstawione jest na Rycinie 18.



Ryc. 18 Zestawienie wyników uzyskanych w pomiarach *pretest* i *posttest*, przedstawione osobno dla trzech grup: A – eksperymentalnej, B – kontrolnej aktywnej, C – kontrolnej nieaktywnej. Istotność statystyczną pomiędzy pomiarami *pretest* i *posttest* oznaczono gwiazdkami: *** $p = 0,048$.

3) Powtarzanie Cyfr – Cyfry Wstecz

Wskaźnik testu: Pojemność Pamięci Roboczej

Statystyki opisowe zmiennych dotyczących pamięci roboczej przedstawia Tabela 14.

Tabela 14 Statystyki opisowe (mediana, minimum, maksimum) analizowanych zmiennych.

Grupa	n	Pojemność Pamięci Roboczej (liczba elementów)	
		Me (Min–Max)	
		pretest	posttest
Eksperymentalna A	25	4 (3–6)	4 (2–6)
Kontrolna aktywna B	21	4 (3–6)	4 (3–8)

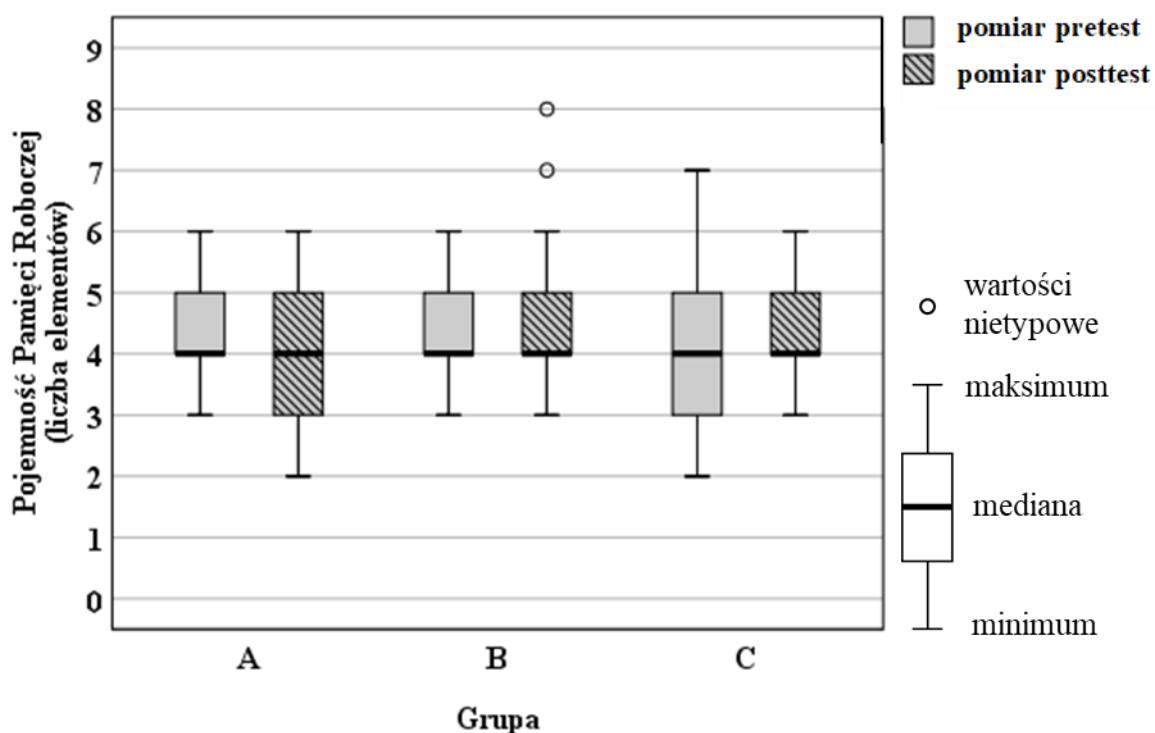
Kontrolna nieaktywna C	23	4 (2–7)	4 (3–6)
---------------------------	----	---------	---------

Wstępne porównania międzygrupowe nr 2.5 (na podstawie wyników *pretest*)

Przeprowadzone porównanie wskaźnika Pojemności Pamięci Roboczej nie wykazało istotnych statystycznie różnic pomiędzy trzema grupami: $H(2) = 0,165$; $p = 0,921$ (test Kruskala-Wallisa).

Porównania wewnątrzgrupowe nr 2.6 (*pretest vs. posttest*)

Stosując test Wilcoxona, porównano wyniki *pretest* z wynikami *posttest*. W żadnej z trzech analizowanych grup nie wykazano różnic istotnych statystycznie – nie zaobserwowano zwiększenia zakresu pamięci roboczej (grupa eksperymentalna: $Z = -1,882$; $p = 0,060$; grupa kontrolna aktywna: $Z = -1,259$; $p = 0,208$; grupa kontrolna nieaktywna: $Z = -0,025$; $p = 0,980$). Statystyki opisowe zaprezentowano w Tabeli 14, a graficzne zobrazowanie wyników przedstawia Rycina 19.



Ryc. 19 Zestawienie wyników uzyskanych w pomiarach *pretest* i *posttest*, przedstawione osobno dla trzech grup: A – eksperymentalnej, B – kontrolnej aktywnej, C – kontrolnej nieaktywnej.

4.1.3. Wpływ treningu eksperymentalnego i treningu kontrolnego na procesy uwagi

1) Test Podzielności Uwagi

Wskaźnik testu: Liczba błędów

Statystyki opisowe zmiennych dotyczących podzielności uwagi przedstawia Tabela 16.

Tabela 15 Statystyki opisowe (mediana, minimum, maksimum) analizowanych zmiennych.

Grupa	n	Błędy na bodźce wzrokowe (liczba błędów) <i>Me (Min–Max)</i>		Błędy na bodźce słuchowe (liczba błędów) <i>Me (Min–Max)</i>	
		pretest	posttest	pretest	posttest
		Eksperymentalna A	24	1,5 (0–5)	1 (0–6)
Kontrolna aktywna B	21	1 (0–5)	1 (0–5)	0 (0–1)	0 (0–3)
Kontrolna nieaktywna C	22	1 (0–5)	1 (0–10)	0 (0–2)	0 (0–4)

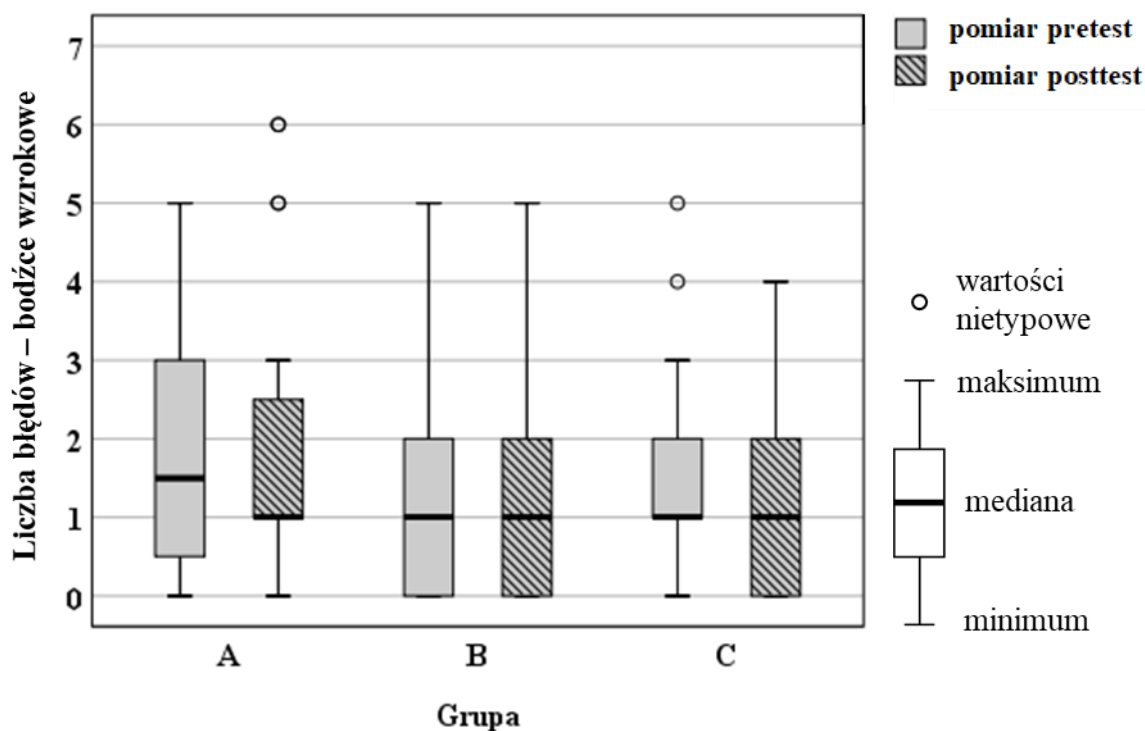
A) Bodźce wzrokowe

Wstępne porównania międzygrupowe nr 3.1 (na podstawie wyników *pretest*)

Nie wykazano istotnych statystycznie różnic pomiędzy trzema grupami dla analizowanego wskaźnika testu: $H(2) = 0,242$; $p = 0,886$ (test Kruskala-Wallis).

Porównania wewnątrzgrupowe nr 3.2 (*pretest vs. posttest*)

Porównanie wyników *pretest* z wynikami *posttest* przy użyciu testu Wilcozona nie wykazało różnic istotnych statystycznie w żadnej z trzech analizowanych grup (grupa eksperymentalna: $Z = -0,125$; $p = 0,901$; grupa kontrolna aktywna: $Z = -0,794$; $p = 0,427$; grupa kontrolna nieaktywna: $Z = -0,794$; $p = 0,928$). Statystyki opisowe znajdują się w Tabeli 15, natomiast graficzna prezentacja wyników przedstawiona jest na Rycinie 20.



Ryc. 20 Zestawienie wyników uzyskanych w pomiarach *pretest* i *posttest*, przedstawione osobno dla trzech grup: A – eksperymentalnej, B – kontrolnej aktywnej, C – kontrolnej nieaktywnej.

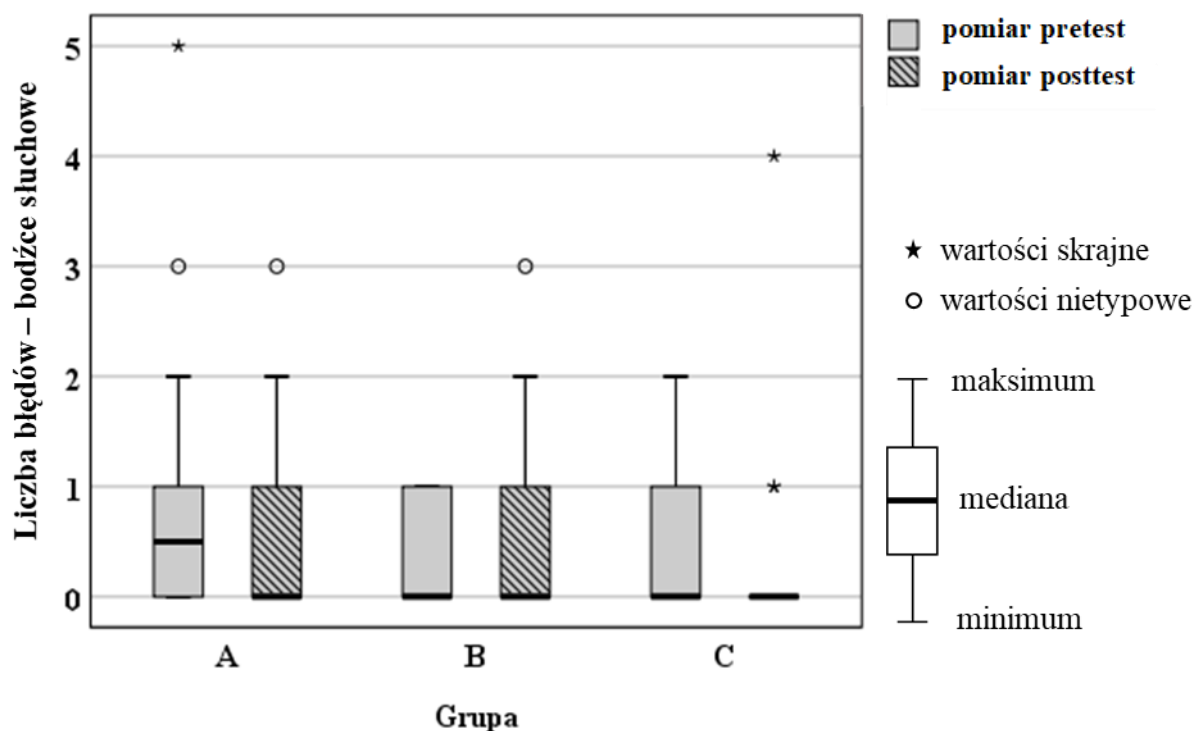
B) Bodźce słuchowe

Wstępne porównania międzygrupowe nr 3.3 (na podstawie wyników *pretest*)

Nie wykazano różnic istotnych statystycznie pomiędzy trzema grupami dla analizowanego wskaźnika testu: $H(2) = 1,763$; $p = 0,414$ (test Kruskala-Wallis).

Porównania wewnątrzgrupowe nr 3.4 (*pretest* vs. *posttest*)

Porównanie wyników *pretest* z wynikami *posttest* przy użyciu testu Wilcozona nie wykazało różnic istotnych statystycznie w żadnej z trzech analizowanych grup (grupa eksperymentalna: $Z = -0,615$; $p = 0,538$; grupa kontrolna aktywna: $Z = -0,284$; $p = 0,776$; grupa kontrolna nieaktywna: $Z = -1,404$; $p = 0,160$). Statystyki opisowe znajdują się w Tabeli 15, natomiast graficzna prezentacja wyników przedstawiona jest na Rycinie 21.



Ryc. 21 Zestawienie wyników uzyskanych w pomiarach *pretest* i *posttest*, przedstawione osobno dla trzech grup: A – eksperymentalnej, B – kontrolnej aktywnej, C – kontrolnej nieaktywnej.

Wskaźnik testu: Czasy reakcji

Statystyki opisowe zmiennych dotyczących podzielności uwagi przedstawia Tabela 16.

Tabela 16 Statystyki opisowe (mediana, minimum, maksimum) analizowanych zmiennych.

Grupa	n	Czas reakcji na bodźce wzrokowe (ms)		Czas reakcji na bodźce słuchowe (ms)	
		<i>Me (Min–Max)</i>		<i>Me (Min–Max)</i>	
		pretest	posttest	pretest	posttest
Eksperymentalna A	24	917	899	545	529
		(710–1165)	(725–1523)	(396–971)	(326–881)
Kontrolna aktywna B	21	886	895	608	623
		(768–1287)	(746–1099)	(411–851)	(455–817)

		897	887	631	592
Kontrolna	22	(665–	(699–	(412–	(469–
nieaktywna C		1148)	1115)	759)	814)

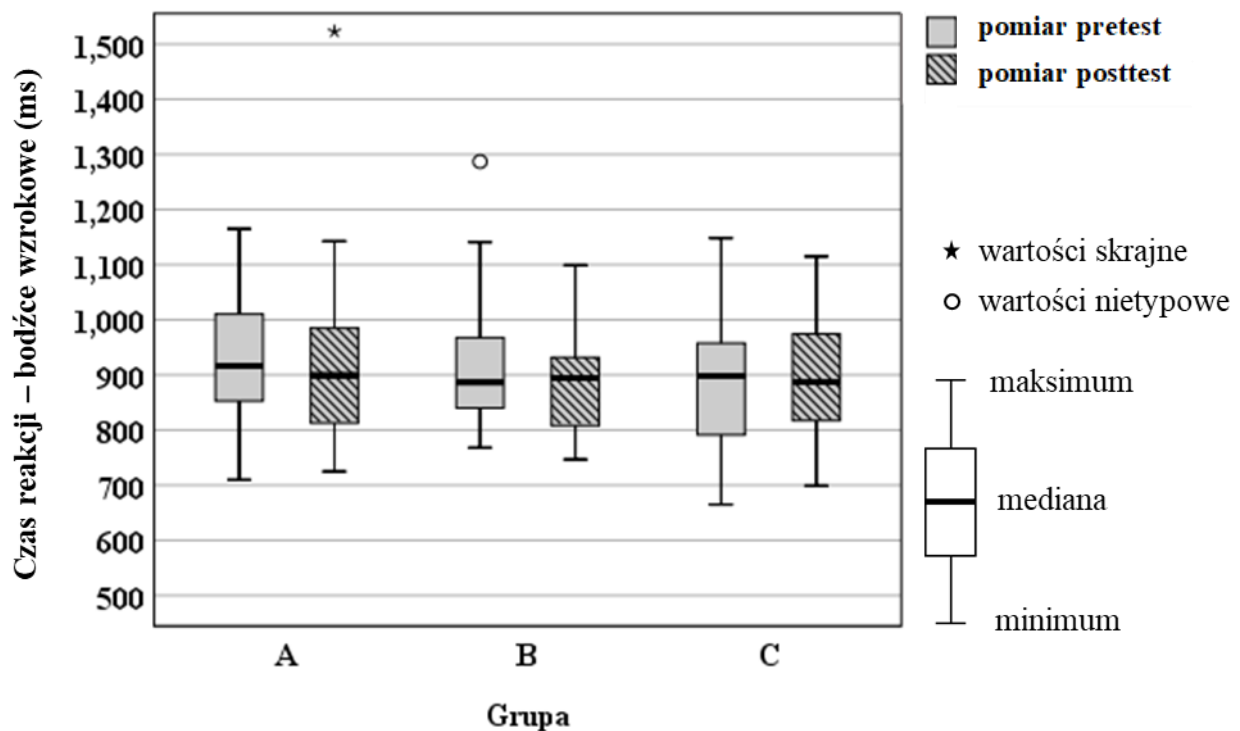
C) Bodźce wzrokowe

Wstępne porównania międzygrupowe nr 3.5 (na podstawie wyników *pretest*)

Analiza wskaźnika nie wykazała istotnych statystycznie różnic pomiędzy trzema grupami: $H(2) = 1,538$; $p = 0,463$ (test Kruskala-Wallis).

Porównania wewnątrzgrupowe nr 3.6 (*pretest vs. posttest*)

Używając testu Wilcoxona, porównano wyniki *pretest* z wynikami *posttest*. W żadnej z analizowanych grup nie zaobserwowano istotnych statystycznie różnic (grupa eksperymentalna: $Z = -0,657$; $p = 0,511$; grupa kontrolna aktywna: $Z = -1,060$; $p = 0,289$ grupa kontrolna nieaktywna: $Z = -0,536$; $p = 0,592$). Statystyki opisowe prezentowane są w Tabeli 16, a graficzne zobrazowanie wyników przedstawione jest na Rycinie 22.



Ryc. 22 Zestawienie wyników uzyskanych w pomiarach *pretest* i *posttest*, przedstawione osobno dla trzech grup: A – eksperymentalnej, B – kontrolnej aktywnej, C – kontrolnej nieaktywnej.

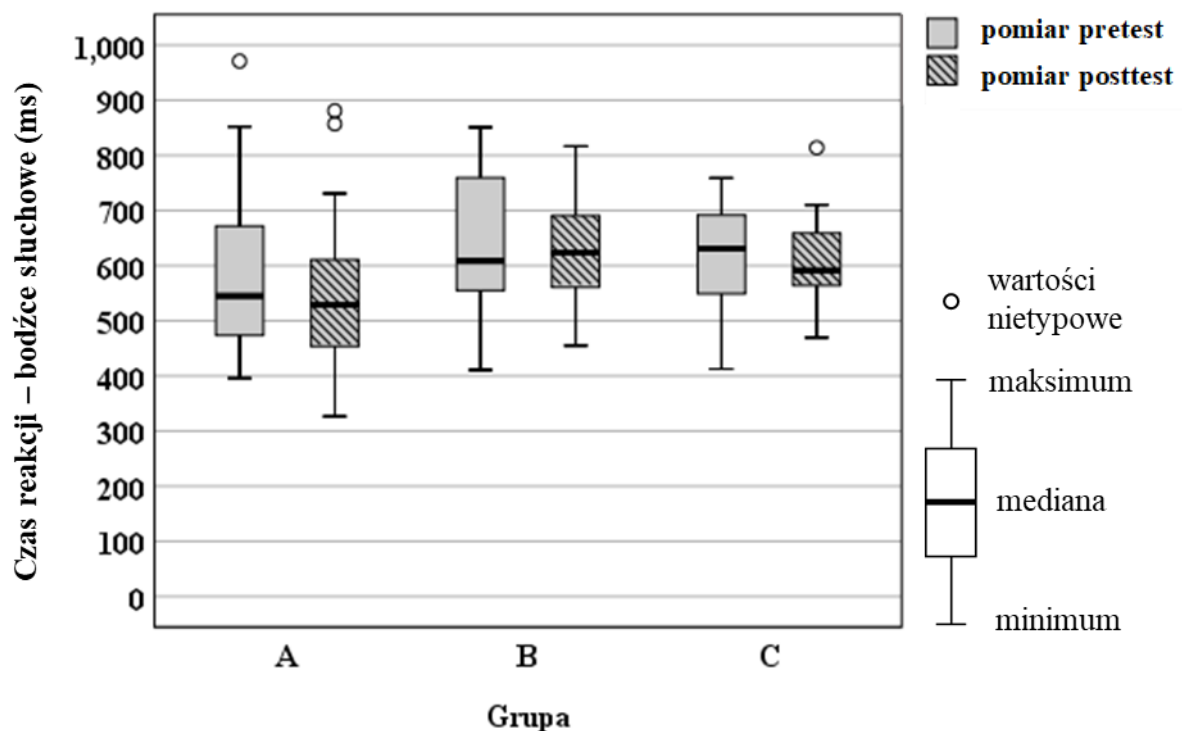
D) Bodźce słuchowe

Wstępne porównania międzygrupowe nr 3.7 (na podstawie wyników *pretest*)

Analiza wskaźnika nie wykazała istotnych statystycznie różnic pomiędzy trzema grupami: $H(2) = 3,506$; $p = 0,173$ (test Kruskala-Wallisa).

Porównania wewnątrzgrupowe nr 3.8 (*pretest* vs. *posttest*)

Używając testu Wilcoxon, porównano wyniki *pretest* z wynikami *posttest*. W żadnej z analizowanych grup nie zaobserwowano istotnych statystycznie różnic (grupa eksperymentalna: $Z = -1,157$; $p = 0,247$; grupa kontrolna aktywna: $Z = -0,782$; $p = 0,434$; grupa kontrolna nieaktywna: $Z = -0,682$; $p = 0,495$). Statystyki opisowe zaprezentowano w Tabeli 16, a graficzne zobrazowanie przedstawia Rycina 23.



Ryc. 23 Zestawienie wyników uzyskanych w pomiarach *pretest* i *posttest*, przedstawione osobno dla trzech grup: A – eksperymentalnej, B – kontrolnej aktywnej, C – kontrolnej nieaktywnej.

2) Kolorowy Test Połączeń (część CTT-1)

Wskaźnik testu: Czas wykonania CTT-1

Statystyki opisowe zmiennych dotyczących wskaźnika utrzymania uwagi przedstawia Tabela 17.

Tabela 17 Statystyki opisowe (mediana, minimum, maksimum) analizowanych zmiennych.

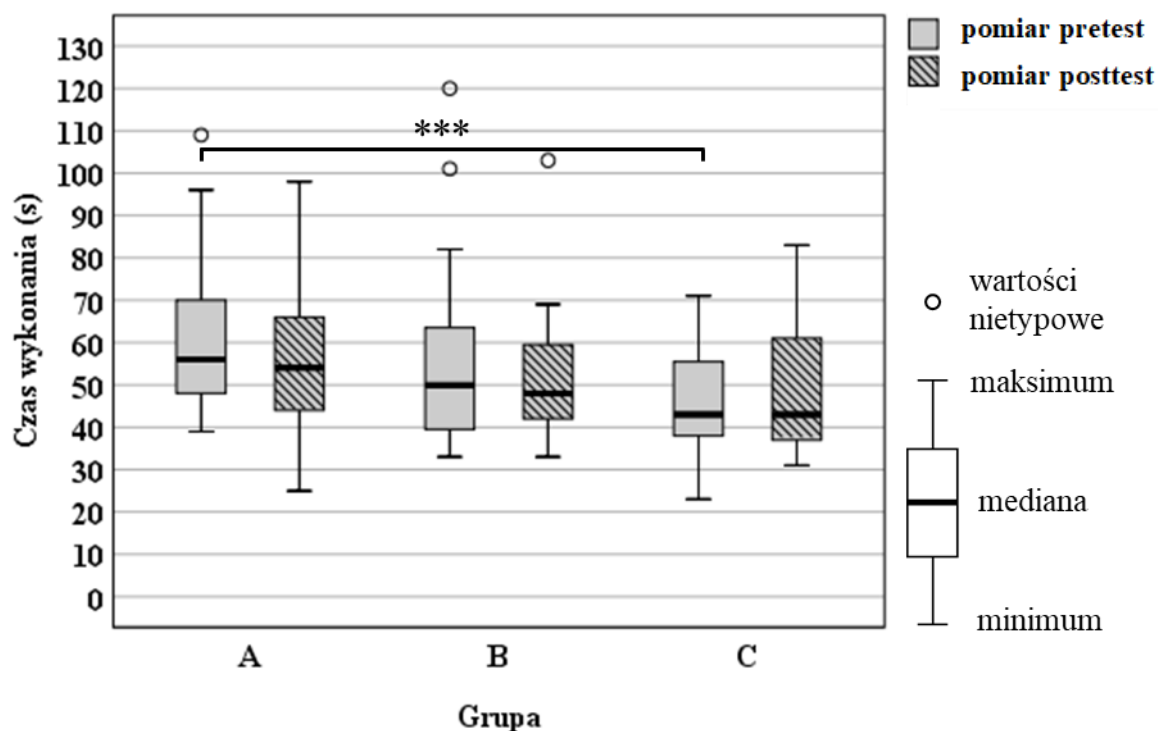
Grupa	n	Czas wykonania CTT-1 (s)	
		Me (Min–Max)	
		pretest	posttest
Eksperymentalna A	25	56 (39–109)	54 (25–98)
Kontrolna aktywna B	19	50 (33–120)	48 (33–103)
Kontrolna nieaktywna C	23	43 (23–71)	43 (31–83)

Wstępne porównania międzygrupowe nr 3.9 (na podstawie wyników *pretest*)

Analiza wskaźnika wykazała istotną statystycznie różnicę pomiędzy trzema grupami: $H(2) = 7,732$; $p = 0,021$ (test Kruskala-Wallisa). Porównania parami wykonane w poszczególnych grupach (testem *post hoc* Dunna) wykazały, że grupa kontrolna nieaktywna istotnie szybciej wykonywała zadanie CTT-1 w porównaniu do grupy eksperymentalnej ($Z = 2,749$, $p = 0,006$). Porównania w pozostałych parach były nieistotne.

Porównania wewnątrzgrupowe nr 3.10 (*pretest vs. posttest*)

Za pomocą testu Wilcoxon, porównano wyniki *pretest* z wynikami *posttest*. W żadnej z analizowanych grup nie zaobserwowano istotnych statystycznie różnic (grupa eksperymentalna: $Z = -1,683$; $p = 0,092$; grupa kontrolna aktywna: $Z = -1,067$; $p = 0,286$; grupa kontrolna nieaktywna: $Z = -0,305$; $p = 0,761$). Statystyki opisowe zaprezentowano w Tabeli 17, a graficzne zobrazowanie przedstawia Rycina 24.



Ryc. 24 Zestawienie wyników uzyskanych w pomiarach *pretest* i *posttest*, przedstawione osobno dla trzech grup: A – eksperymentalnej, B – kontrolnej aktywnej, C – kontrolnej nieaktywnej. Różnicę istotną statystycznie pomiędzy grupami A i C w pomiarze *pretest* oznaczono gwiazdkami: *** $p = 0,006$.

4.1.4. Wpływ treningu eksperymentalnego i treningu kontrolnego na funkcje wykonawcze

1) Test Wieży Londyńskiej

Wskaźnik testu: Liczba zadań

Statystyki opisowe zmiennych dotyczących wskaźników funkcji wykonawczych przedstawia Tabela 18.

Tabela 18 Średnie i odchylenia standardowe analizowanych zmiennych.

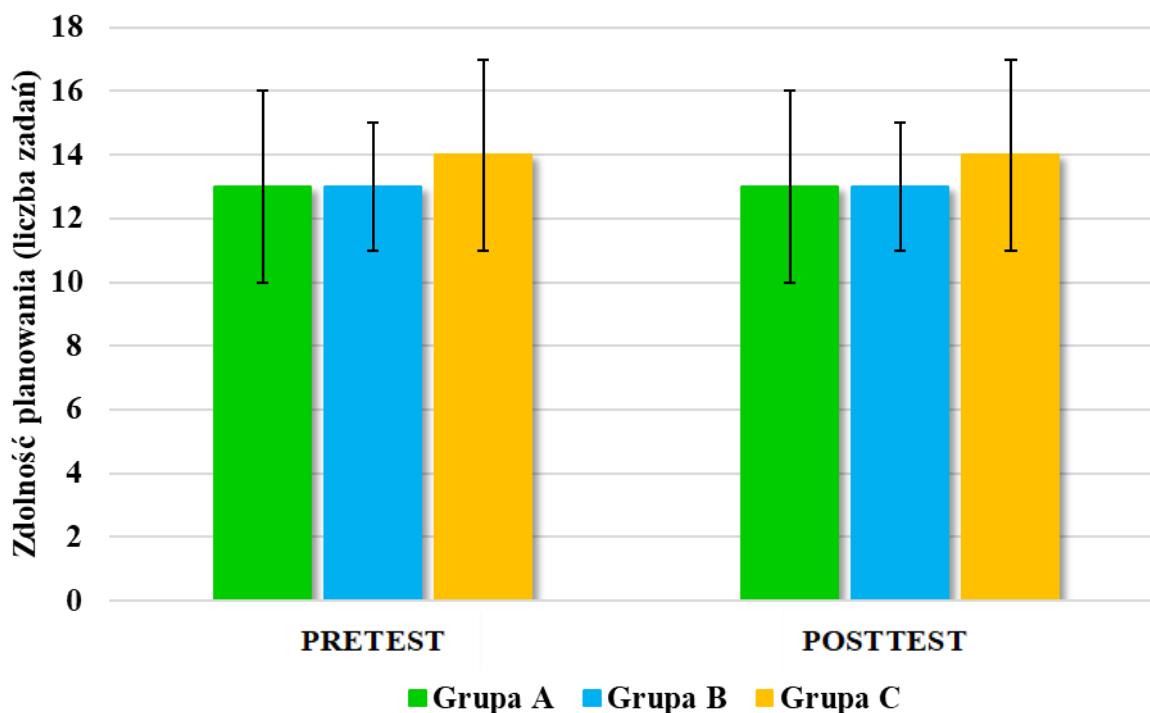
Grupa	n	Zdolność planowania (liczba zadań)		Poprawność wykonania (liczba zadań)	
		<i>M (SD)</i>		<i>M (SD)</i>	
		pretest	posttest	pretest	posttest
Eksperymentalna A	21	13 (3)	13 (3)	20 (3)	22 (2)
Kontrolna aktywna B	17	13 (2)	13 (2)	21 (2)	21 (3)
Kontrolna nieaktywna C	20	14 (3)	14 (3)	21 (2)	22 (2)

A) Zdolność planowania

ANOVA nr 4.1: zmienna zależna: Zdolność planowania; porównanie pomiarów: *pretest vs. posttest*.

Nie wykazano różnic istotnych statystycznie (efekt główny Pomiaru: $F(1, 55) = 0,004$; $p = 0,953$; $\eta^2 < 0,001$).

W pomiarach *pretest* oraz *posttest* nie wykazano istotnych różnic w pomiarze Zdolności planowania pomiędzy trzema analizowanymi grupami (poprawka dla porównań wielokrotnych Bonferroniego).



Ryc. 25 Średnie wartości Zdolności planowania oraz odchylenia standardowe uzyskane w obu pomiarach *pretest* i *posttest* w grupach: A – eksperymentalnej; B – kontrolnej aktywnej; C – kontrolnej nieaktywnej.

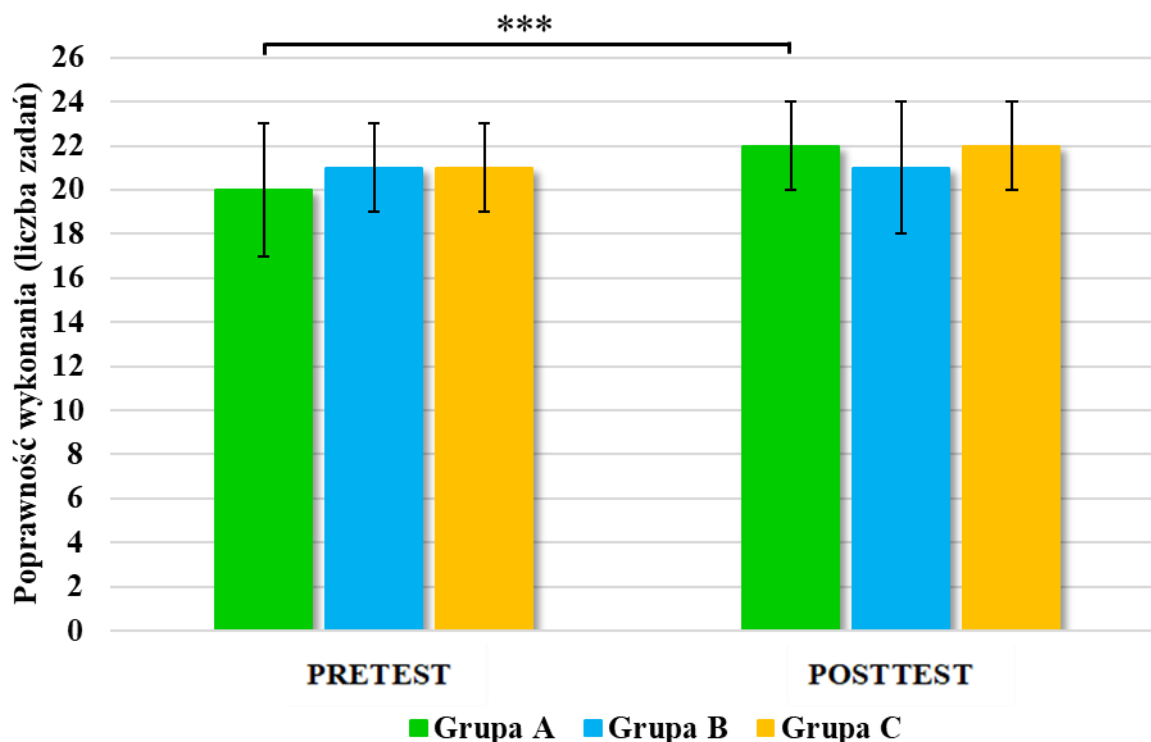
B) Poprawność wykonania

ANOVA nr 4.2: zmienna zależna: Poprawność wykonania; porównanie pomiarów *pretest* vs. *posttest*.

Uzyskano istotny efekt główny Pomiaru: $F(1, 55) = 15,988$; $p < 0,001$; $\eta^2 < 0,225$) zmodyfikowany efektem interakcji Pomiaru i Grupy: $F(2, 55) = 6,124$; $p = 0,004$; $\eta^2 < 0,182$).

W pomiarach *pretest* oraz *posttest* nie wykazano istotnych różnic w pomiarze Poprawności wykonania pomiędzy trzema analizowanymi grupami (poprawka dla porównań wielokrotnych Bonferroniego).

Tylko w grupie eksperymentalnej wykazano istotnie wyższy wynik wskaźnika Poprawność wykonania w porównaniu *pretest* vs. *posttest* ($p < 0,001$). Natomiast w przypadku obu grup kontrolnych nie wykazano istotnych statystycznie różnic pomiędzy dwoma pomiarami (grupa kontrolna aktywna: $p = 0,663$; grupa kontrolna nieaktywna: $p = 0,164$). Średnie i odchylenia standardowe zaprezentowano w Tabeli 18, a graficzne zobrazowanie wyników przedstawiono na Rycinie 26.



Ryc. 26 Średnie wartości Poprawności wykonania oraz odchylenia standardowe uzyskane w obu pomiarach *pretest* i *posttest* w grupach: A – eksperymentalnej; B – kontrolnej aktywnej; C – kontrolnej nieaktywnej. Istotność statystyczną obrazującą efekt interakcji: ‘pomiar x grupa’ oznaczono gwiazdkami: *** $p < 0,001$.

Wskaźnik testu: Czas planowania/wykonania

Statystyki opisowe zmiennych dotyczących wskaźników funkcji wykonawczych przedstawia Tabela 19.

Tabela 19 Średnie i odchylenia standardowe analizowanych zmiennych.

Grupa	n	Czas planowania (s)		Czas wykonania (s)	
		M (SD)		M (SD)	
		pretest	posttest	pretest	posttest
Eksperymentalna A	20	9,69 (4,32)	7,14 (3,13)	13,14 (5,91)	11,60 (4,42)
Kontrolna aktywna B	17	7,81 (3,19)	7,32 (3,97)	11,33 (3,99)	10,93 (3,77)
Kontrolna nieaktywna C	20	8,41 (3,20)	7,42 (2,48)	10,94 (3,58)	10,09 (3,53)

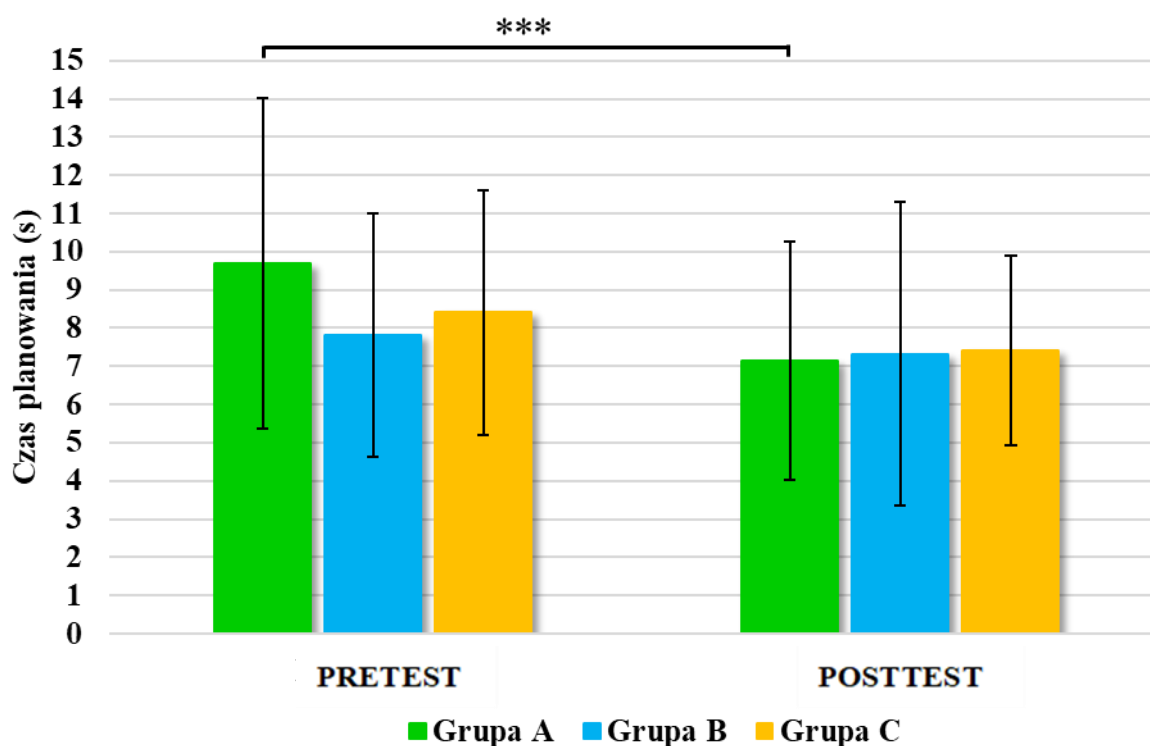
C) Czas planowania

ANOVA nr 4.3: zmienna zależna: Czas planowania; porównanie pomiarów *pretest vs. posttest*.

Otrzymano istotny efekt główny Pomiaru: $F(1, 54) = 10,631$; $p < 0,002$; $\eta^2 < 0,164$) oraz efekt interakcji Pomiaru i Grupy: $F(2, 54) = 3,303$; $p = 0,044$; $\eta^2 < 0,109$).

W pomiarach *pretest* oraz *posttest* nie wykazano istotnych różnic w pomiarze Czasu planowania pomiędzy trzema analizowanymi grupami (poprawka dla porównań wielokrotnych Bonferroniego).

Jedynie w grupie eksperymentalnej wykazano istotnie niższy Czas planowania w pomiarze *posttest* w porównaniu do pomiaru *pretest* ($p < 0,001$). W przypadku obu grup kontrolnych nie wykazano istotnych statystycznie różnic pomiędzy dwoma pomiarami (grupa kontrolna aktywna: $p = 0,796$; grupa kontrolna nieaktywna: $p = 0,126$). Średnie i odchylenia standardowe podane są w Tabeli 19, a graficzną ilustrację uzyskanych wyników przedstawia Rycina 27.



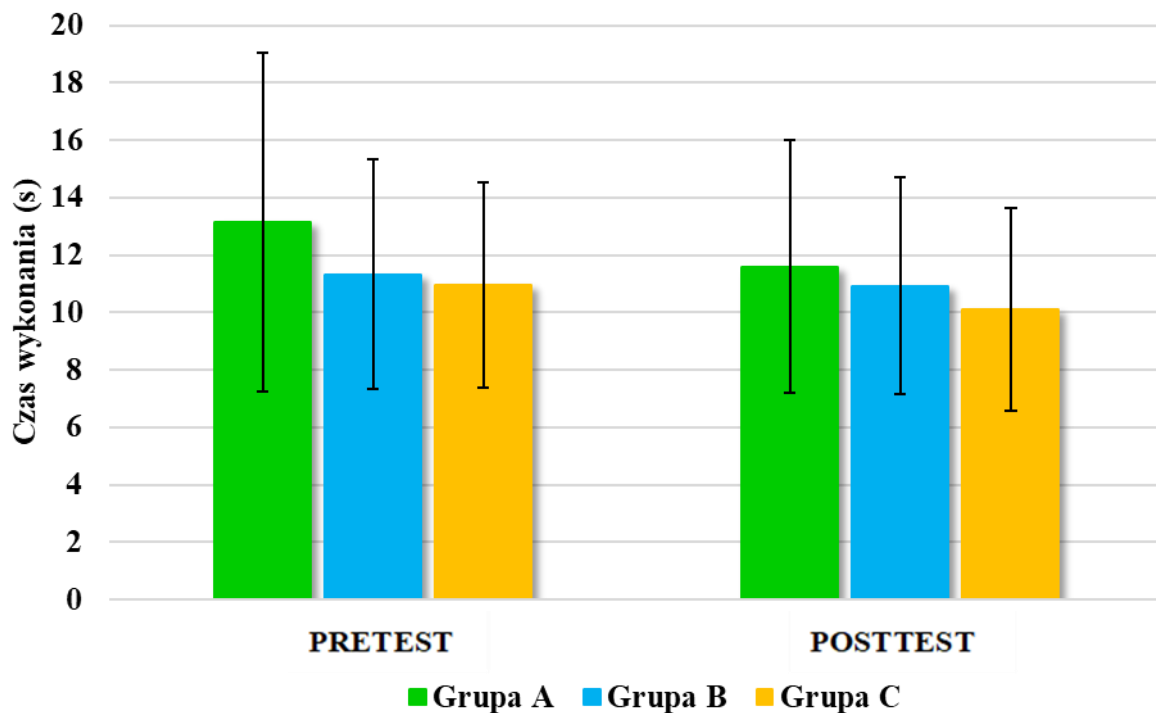
Ryc. 27 Średnie wartości Czasu planowania oraz odchylenia standardowe uzyskane w obu pomiarach *pretest* i *posttest* w grupach: A – eksperymentalnej; B – kontrolnej aktywnej; C – kontrolnej nieaktywnej. Istotność statystyczną obrazującą efekt interakcji: ‘pomiar x grupa’ oznaczono gwiazdkami: *** $p < 0,001$.

D) Czas wykonania

ANOVA nr 4.4: zmienna zależna Czas wykonania; porównanie pomiarów *pretest* vs. *posttest*.

Nie zaobserwowano różnic istotnych statystycznie (efekt główny Pomiaru: $F(1, 54) = 3,183$; $p = 0,080$; $\eta^2 = 0,056$).

W pomiarach *pretest* oraz *posttest* nie wykazano istotnych różnic w pomiarze Poprawności wykonania pomiędzy trzema analizowanymi grupami (poprawka dla porównań wielokrotnych Bonferroniego).



Ryc. 28 Średnie wartości Czasu planowania oraz odchylenia standardowe uzyskane w obu pomiarach *pretest* i *posttest* w grupach: A – eksperymentalnej; B – kontrolnej aktywnej; C – kontrolnej nieaktywnej.

2) Kolorowy Test Połączeń (część CTT-2)

Wskaźnik testu: Czas wykonania CTT-2

Statystyki opisowe zmiennych dotyczących wskaźników funkcji wykonawczych przedstawia Tabela 20.

Tabela 20 Statystyki opisowe (mediana, minimum, maksimum) analizowanych zmiennych.

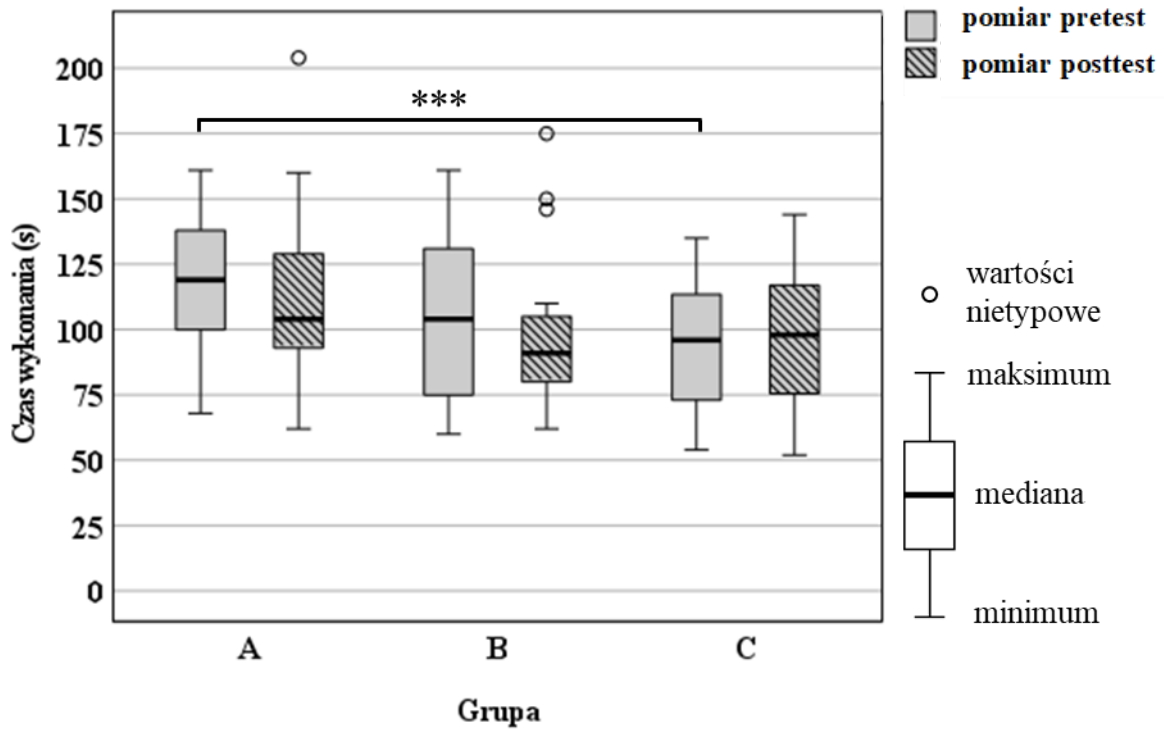
Grupa	n	Czas wykonania CTT-2 (s)	
		Me (Min–Max)	
		pretest	posttest
Eksperymentalna A	25	119 (68–161)	104 (62–204)
Kontrolna aktywna B	19	104 (60–161)	91 (62–175)
Kontrolna nieaktywna C	23	96 (54–135)	98 (52–144)

Wstępne porównania międzygrupowe nr 5.1 (na podstawie wyników *pretest*)

Wykonana analiza wskazała istotną statystycznie różnicę pomiędzy trzema grupami: $H(2) = 6,849$; $p = 0,033$ (test Kruskala-Wallisa). Wykonane w poszczególnych grupach porównania parami (test *post hoc* Dunna) wykazały, że grupa kontrolna nieaktywna istotnie szybciej wykonywała zadanie CTT-2 w porównaniu do grupy eksperymentalnej ($Z = 2,596$, $p = 0,009$). Porównania w pozostałych parach były nieistotne statystycznie.

Porównania wewnątrzgrupowe nr 5.2 (*pretest vs. posttest*)

Wykonano analizę mającą na celu porównanie wyników *pretest* z wynikami *posttest* (test Wilcoxon). W żadnej z analizowanych grup nie zaobserwowano różnic istotnych statystycznie (grupa eksperymentalna: $Z = -0,657$; $p = 0,511$; grupa kontrolna aktywna: $Z = -0,829$; $p = 0,407$; grupa kontrolna nieaktywna: $Z = -0,472$; $p = 0,637$). Statystyki opisowe zaprezentowano w Tabeli 20, a graficzne zobrazowanie przedstawia Rycina 28.



Ryc. 28 Zestawienie wyników uzyskanych w pomiarach *pretest* i *posttest*, przedstawione osobno dla trzech grup: A – eksperymentalnej, B – kontrolnej aktywnej, C – kontrolnej nieaktywnej. Różnicę istotną statystycznie pomiędzy grupami A i C w pomiarze *pretest* oznaczono gwiazdkami: *** $p = 0,009$.

3) Test Kontroli Hamowania

Statystyki opisowe zmiennych dotyczących wskaźników funkcji wykonawczych przedstawia Tabela 21.

Wskaźnik testu: Liczba reakcji

Tabela 21 Statystyki opisowe (mediana, minimum, maksimum) analizowanych zmiennych.

Grupa	n	Reakcje niekompatybilne lewostronne (liczba)		Reakcje niekompatybilne prawostronne (liczba)	
		<i>Me (Min–Max)</i>		<i>Me (Min–Max)</i>	
		pretest	posttest	pretest	posttest
Eksperymentalna A	12	14 (3–15)	14 (13–15)	14 (3–15)	14 (12–15)
Kontrolna aktywna B	20	14 (8–15)	15 (10–15)	14 (11–15)	14,5 (11–15)
Kontrolna nieaktywna C	21	15 (6–15)	15 (7–15)	15 (13–15)	15 (10–15)

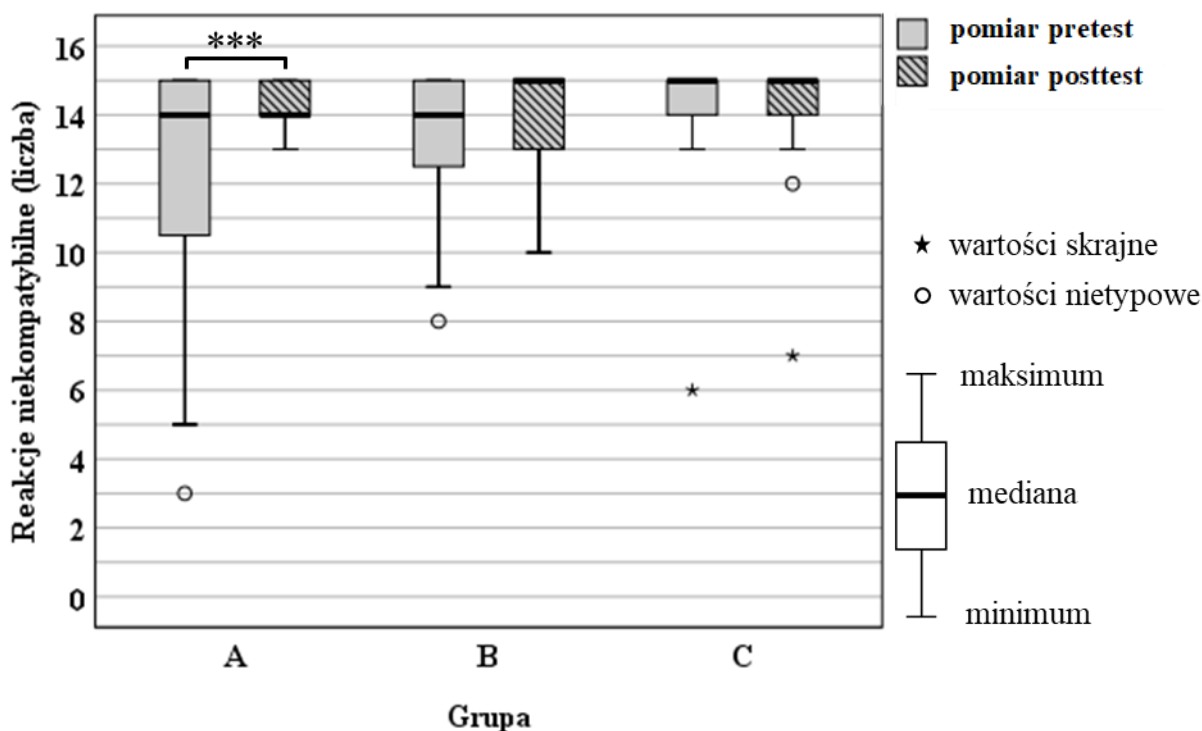
A) Reakcje niekompatybilne lewostronne

Wstępne porównania międzygrupowe nr 5.3 (na podstawie wyników *pretest*)

Przeprowadzona analiza statystyczna nie wykazała istotnych różnic pomiędzy trzema grupami: $H(2) = 3,944$; $p = 0,139$ (test Kruskala-Wallis).

Porównania wewnątrzgrupowe nr 5.4 (*pretest vs. posttest*)

Wykonano analizę porównującą wyniki *pretest* z wynikami *posttest* (test Wilcoxon). Wykazano istotną różnicę pomiędzy dwoma pomiarami tylko w grupie eksperymetalnej ($Z = -1,190$; $p = 0,047$) – po treningu badani z tej grupy wykonywali więcej poprawnych reakcji na zaprezentowany bodziec. W pozostałych grupach nie zaobserwowano zmian istotnych statystycznie (grupa kontrolna aktywna: $Z = -0,880$; $p = 0,379$; grupa kontrolna nieaktywna: $Z = -0,857$; $p = 0,392$). Statystyki opisowe zaprezentowane są w Tabeli 21, a graficzną ilustrację wyników przedstawia Rycina 29.



Ryc. 29 Zestawienie wyników uzyskanych w pomiarach *pretest* i *posttest*, przedstawione osobno dla trzech grup: A – eksperymentalnej, B – kontrolnej aktywnej, C – kontrolnej nieaktywnej. Różnice istotne statystycznie pomiędzy pomiarem *pretest* i *posttest* i w grupie eksperymentalnej A oznaczono gwiazdkami: *** $p = 0,047$.

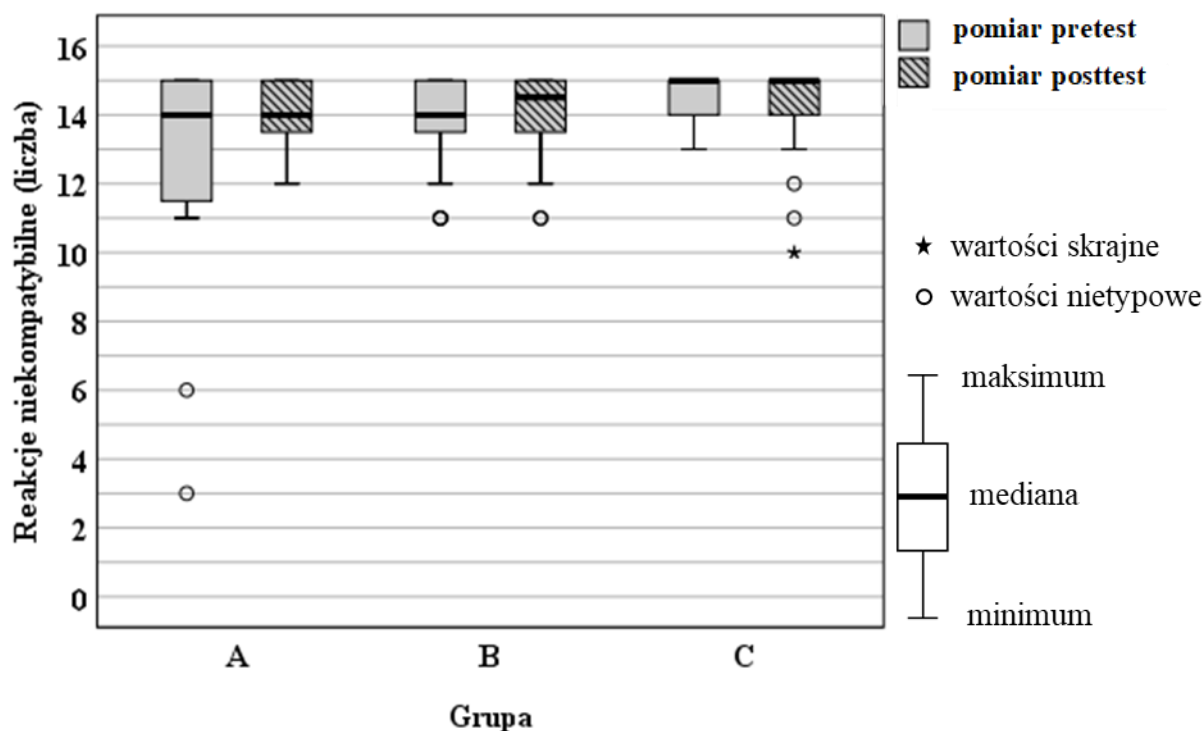
B) Reakcje niekompatybilne prawostronne

Wstępne porównania międzygrupowe nr 5.5 (na podstawie wyników *pretest*)

Analiza statystyczna nie wskazała różnic istotnych statystycznie pomiędzy trzema grupami: $H(2) = 4,108$; $p = 0,128$ (test Kruskala-Wallisa).

Porównania wewnątrzgrupowe nr 5.6 (*pretest vs. posttest*)

Przeprowadzona analiza miała na celu porównanie wyników *pretest* i *posttest* (test Wilcoxona). W żadnej z trzech analizowanych grup nie wykazano istotnych różnic pomiędzy pomiarami (grupa eksperymentalna: $Z = -1,057$; $p = 0,291$; grupa kontrolna aktywna: $Z = -1,428$; $p = 0,153$; grupa kontrolna nieaktywna: $Z = -1,196$; $p = 0,232$). Statystyki opisowe przedstawione są w Tabeli 21, a graficzną prezentację wyników obrazuje Rycina 30.



Ryc. 30 Zestawienie wyników uzyskanych w pomiarach *pretest* i *posttest*, przedstawione osobno dla trzech grup: A – eksperymentalnej, B – kontrolnej aktywnej, C – kontrolnej nieaktywnej.

Wskaźnik testu: Czas reakcji

Statystyki opisowe wskaźników funkcji wykonawczych przedstawia Tabela 22.

Tabela 22 Statystyki opisowe (mediana, minimum, maksimum) analizowanych zmiennych.

Grupa	n	Czas reakcji niekompatybilnych lewostronnych (ms)		Czas reakcji niekompatybilnych prawostronnych (ms)	
		<i>Me (Min–Max)</i>		<i>Me (Min–Max)</i>	
		pretest	posttest	pretest	posttest
Eksperymentalna A	12	673 (547–826)	713 (585–981)	641 (529–1046)	673 (552–902)
Kontrolna aktywna B	20	649 (506–1240)	668 (554–924)	615 (455–932)	666 (485–1010)
Kontrolna nieaktywna C	21	629 (477–845)	666 (478–907)	621 (453–919)	640 (457–794)

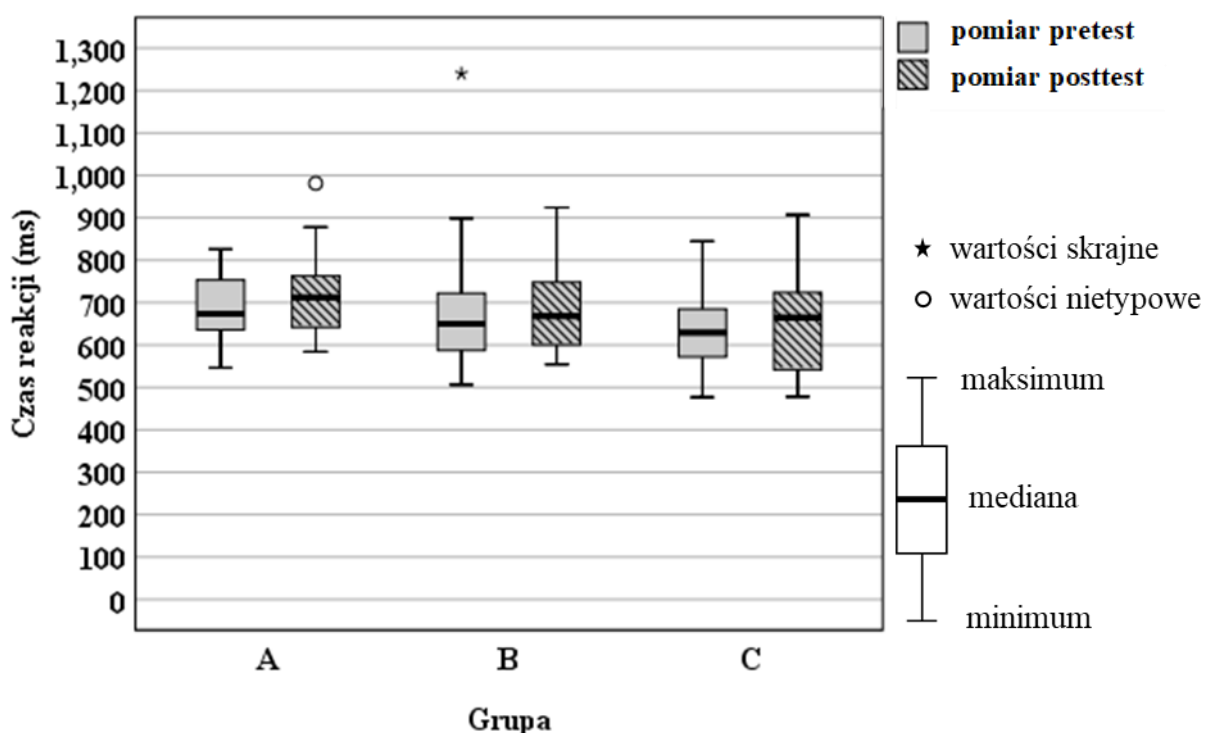
C) Czas reakcji niekompatybilnych lewostronnych

Wstępne porównania międzygrupowe nr 5.7 (na podstawie wyników *pretest*)

Wykonana analiza nie wykazała różnic istotnych statystycznie pomiędzy trzema grupami: $H(2) = 2,881$; $p = 0,237$ (test Kruskala-Wallisa).

Porównania wewnątrzgrupowe nr 5.8 (*pretest vs. posttest*)

Wykonano analizę, która miała na celu porównanie wyników *pretest* z wynikami *posttest* (test Wilcoxon). W żadnej z trzech grup nie wykazano istotnych różnic pomiędzy dwoma pomiarami (grupa eksperymentalna: $Z = -0,941$; $p = 0,347$; grupa kontrolna aktywna: $Z = -0,560$; $p = 0,575$; grupa kontrolna nieaktywna: $Z = -0,635$; $p = 0,526$). Statystyki opisowe przedstawia Tabela 22, a graficzną prezentację wyników ilustruje Rycina 31.



Ryc. 31 Zestawienie wyników uzyskanych w pomiarach *pretest* i *posttest*, przedstawione osobno dla trzech grup: A – eksperymentalnej, B – kontrolnej aktywnej, C – kontrolnej nieaktywnej.

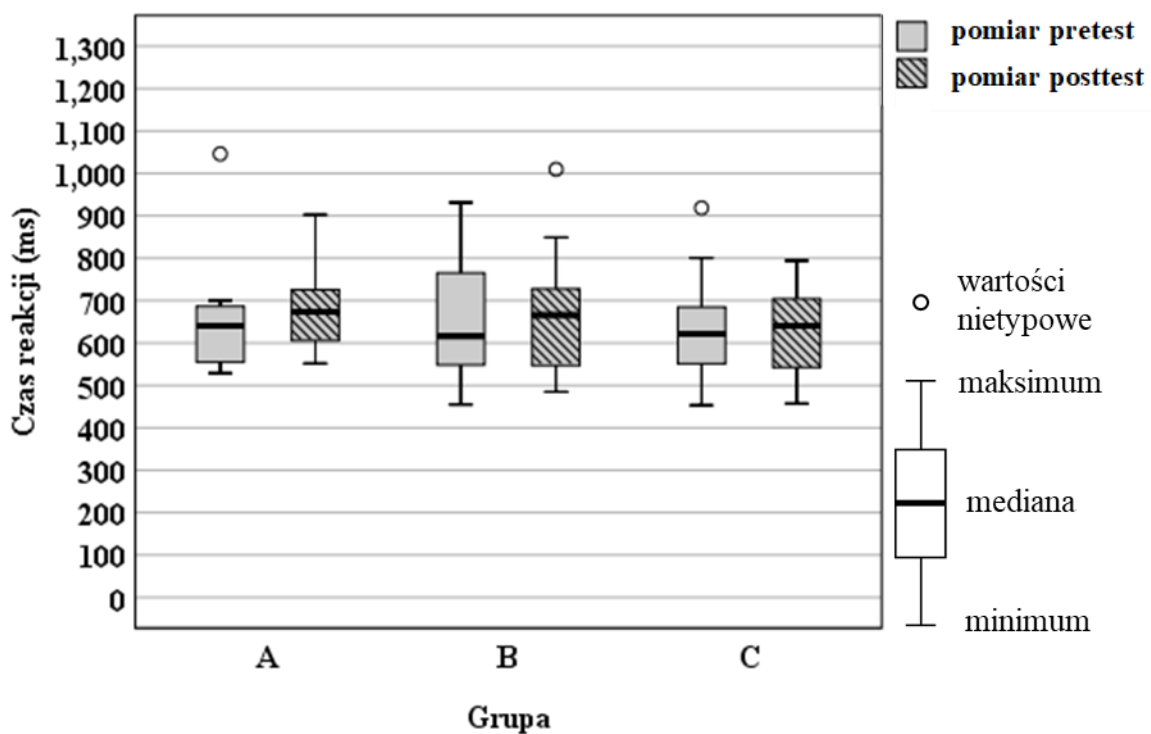
D) Czas reakcji niekompatybilnych prawostronnych

Wstępne porównania międzygrupowe nr 5.9 (na podstawie wyników *pretest*)

Wykonana analiza statystyczna nie wskazała istotnych różnic pomiędzy trzema badanymi grupami: $H(2) = 0,273$; $p = 0,872$ (test Kruskala-Wallisa).

Porównania wewnątrzgrupowe nr 5.10 (pretest vs. posttest)

Wykonano analizę w celu porównania pomiarów *pretest* z pomiarami *posttest* (test Wilcoxon). W żadnej z trzech grup nie wykazano istotnych różnic statystycznie (grupa eksperymentalna: $Z = -0,863$; $p = 0,388$; grupa kontrolna aktywna: $Z = -0,672$; $p = 0,502$; grupa kontrolna nieaktywna: $Z = -1,373$; $p = 0,170$). Statystyki opisowe przedstawiono w Tabeli 22, a graficzna prezentacja wyników została zobrazowana na Rycinie 32.



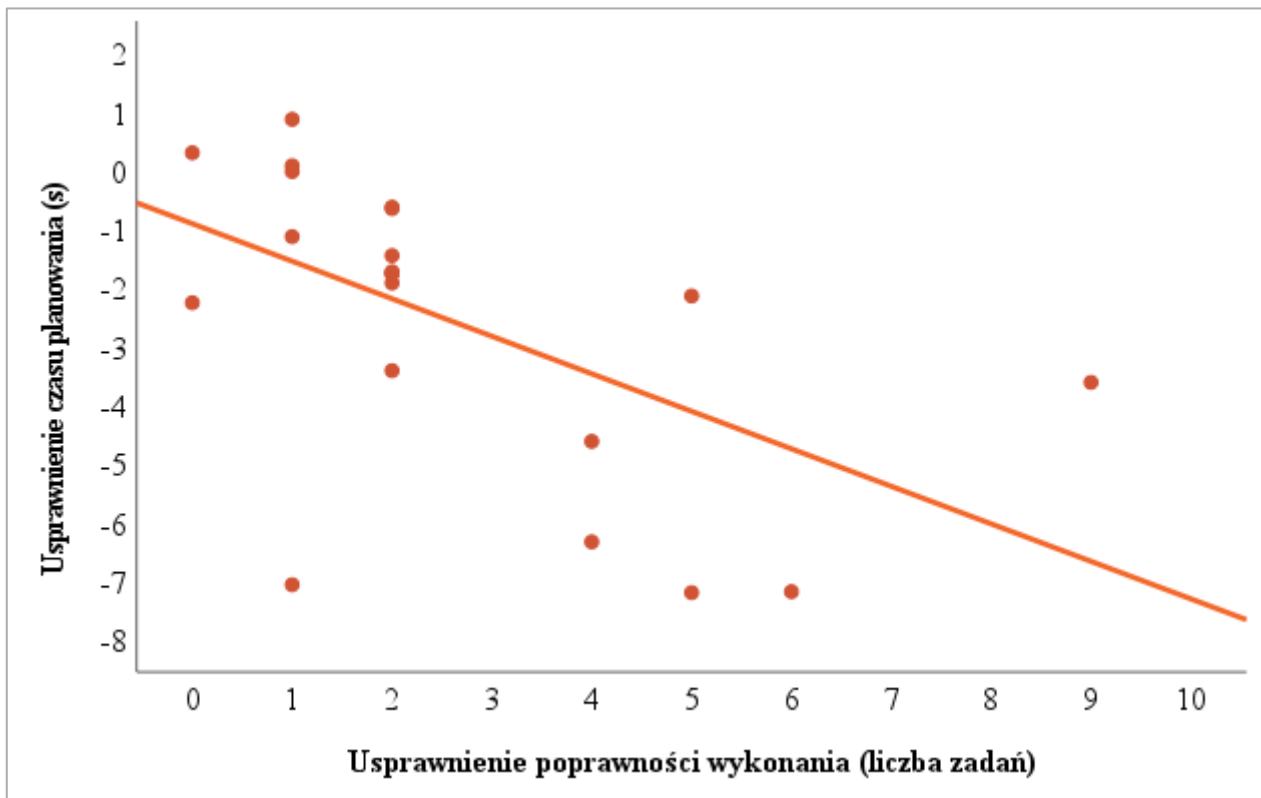
Ryc. 32 Zestawienie wyników uzyskanych w pomiarach *pretest* i *posttest*, przedstawione osobno dla trzech grup: A – eksperymentalnej, B – kontrolnej aktywnej, C – kontrolnej nieaktywnej.

4.1.5. Zależności między efektami treningu w badanych funkcjach poznawczych – analizy korelacyjne

Aby sprawdzić, które aspekty poprawy funkcji poznawczych są ze sobą powiązane, wykonano szereg analiz korelacyjnych pomiędzy wskaźnikami testów behawioralnych.

W tym celu wprowadzono dwa dodatkowe wskaźniki, które obrazują poprawę uzyskaną w Teście Wieży Londyńskiej. Nowe wskaźniki zdefiniowano w następujący sposób: od wyniku uzyskanego w pomiarze *posttest* odejmowano wynik z pomiaru *pretest*. W ten sposób otrzymano: „Usprawnienie poprawności wykonania” oraz „Usprawnienie czasu planowania”

Wykazano korelację istotną statystycznie (*rho* Spearmana nr 6.1) dla powyższych wskaźników poprawy z Testu Wieży Londyńskiej (Usprawnienie czasu planowania koreluje ujemnie z Usprawnieniem poprawności wykonania: $r = -0,632$; $p = 0,002$. Wynik ten oznacza, że krótszy czas planowania powiązany jest z wykonaniem większej liczby zadań w Teście Wieży Londyńskiej.



Ryc. 33 Wykres rozrzutu obrazujący korelację pomiędzy analizowanymi wskaźnikami poprawy z Testu Wieży Londyńskiej.

Korelacje pomiędzy pozostałymi wskaźnikami poszczególnych testów były nieistotne statystycznie.

4.1.6. Podsumowanie wyników behawioralnych dotyczących efektywności przeprowadzonych treningów

Poniższa tabela zawiera podsumowanie wyników przeprowadzonych analiz porównawczych w podziale na badane funkcje poznawcze. Na zielono zaznaczono wyniki istotne statystycznie, oznaczające poprawę w zakresie funkcjonowania poznawczego po zastosowanych treningach.

Tabela 23 Podsumowanie wyników behawioralnych.

Wskaźnik testu	Numer oraz rodzaj analizy	Uzyskany wynik
CZASOWE OPRACOWYWANIE INFORMACJI		
Próg Postrzegania Kolejności w zadaniu rozdzielnościowym (PPK-R)	Dwuczynnikowa ANOVA nr 1.1	Istotnie niższy PPK-R (lepsze wykonanie zadania) tylko w grupie eksperymentalnej A.
Próg Postrzegania Kolejności w zadaniu obusznym (PPK-O)	Dwuczynnikowa ANOVA nr 1.2	Istotnie niższy PPK-O (lepsze wykonanie zadania) tylko w grupie eksperymentalnej A.
PAMIĘĆ		
Pojemność Pamięci Przestrzennej	Test Wilcoxona nr 2.2	Istotnie większy zakres pamięci krótkotrwałej przestrzennej tylko w grupie eksperymentalnej A.
Pojemność Pamięci Krótkotrwałej	Test Wilcoxona nr 2.4	Istotnie większy zakres pamięci krótkotrwałej werbalnej tylko w grupie eksperymentalnej A.
Pojemność Pamięci Roboczej	Test Wilcoxona nr 2.6	Brak różnic istotnych statystycznie w grupach A, B i C.
UWAGA		
Liczba błędów w przypadku bodźców wzrokowych	Test Wilcoxona nr 3.2	Brak różnic istotnych statystycznie w grupach A, B i C.

Czas reakcji na bodźce wzrokowe	Test Wilcoxon nr 3.4	Brak różnic istotnych statystycznie w grupach A, B i C.
Liczba błędów w przypadku bodźców słuchowych	Test Wilcoxon nr 3.6	Brak różnic istotnych statystycznie w grupach A, B i C.
Czas reakcji na bodźce słuchowe	Test Wilcoxon nr 3.8	Brak różnic istotnych statystycznie w grupach A, B i C.
Czas wykonania CCT-1	Test Wilcoxon nr 3.10	Brak różnic istotnych statystycznie w grupach A, B i C.
FUNKCJE WYKONAWCZE		
Zdolność planowania	Dwuczynnikowa ANOVA nr 4.1	Brak różnic istotnych statystycznie w grupach A, B i C.
Poprawność wykonania	Dwuczynnikowa ANOVA nr 4.2	Istotnie większa poprawność wykonania tylko w grupie eksperymentalnej A.
Czas planowania	Dwuczynnikowa ANOVA nr 4.3	Istotnie krótszy czas planowania tylko w grupie eksperymentalnej A.
Czas wykonania	Dwuczynnikowa ANOVA nr 4.4	Brak różnic istotnych statystycznie w grupach A, B i C.
Czas wykonania CCT-2	Test Wilcoxon nr 5.2	Brak różnic istotnych statystycznie w grupach A, B i C.
Liczba reakcji niekompatybilnych lewostronnych	Test Wilcoxon nr 5.4	Istotnie większa zdolność hamowania reakcji konfliktowych znajdujących się w lewym polu widzenia tylko w grupie eksperymentalnej A.

Liczba reakcji niekompatybilnych prawostronnych	Test Wilcoxona nr 5.6	Brak różnic istotnych statystycznie w grupach A, B i C.
Czas reakcji niekompatybilnych lewostronnych	Test Wilcoxona nr 5.8	Brak różnic istotnych statystycznie w grupach A, B i C.
Czas reakcji niekompatybilnych prawostronnych	Test Wilcoxona nr 5.10	Brak różnic istotnych statystycznie w grupach A, B i C.

4.2. Stabilność zmian funkcjonowania poznawczego po zastosowanym treningu – pomiar odroczoney – testowanie hipotezy H2

Aby ocenić stabilność uzyskanych zmian w zakresie funkcjonowania poznawczego, wykonano analizy porównujące wyniki uzyskane przez osoby badane w pomiarze *posttest* z wynikami uzyskanymi w pomiarze odroczoney (po upływie 8 tygodni od zakończenia pomiaru *posttest*). Porównania te zostały przeprowadzone tylko w grupach eksperymentalnej A oraz kontrolnej aktywnej B. W związku ze znacznie mniejszą liczbą osób badanych, które brały udział w pomiarze odroczoney, analizy zostały wykonane za pomocą metod nieparametrycznych (test Wilcoxona).

Próg Postrzegania Kolejności

1) Zadanie rozdzielności – Test Wilcoxona nr 7.1

Tabela 24 Statystyki opisowe (mediana, minimum, maksimum) analizowanych zmiennych.

Grupa	n	Próg Postrzegania Kolejności – zadanie rozdzielności (ms)	
		<i>Me (Min–Max)</i>	
		pomiar <i>posttest</i>	pomiar odroczoney
Eksperymentalna A	18	55 (24–96)	67 (20–96)
Kontrolna aktywna B	9	66 (32–122)	71 (57–107)

W obu badanych grupach nie stwierdzono różnic istotnych statystycznie pomiędzy pomiarem *posttest* a pomiarem odroczonym (grupa eksperymentalna: $Z = -1,394$; $p = 0,163$; grupa kontrolna aktywna: $Z = -0,533$; $p = 0,594$).

2) Zadanie obuuszne – Test Wilcoxona nr 7.2

Tabela 25 Statystyki opisowe (mediana, minimum, maksimum) analizowanych zmiennych.

Grupa	n	Próg Postrzegania Kolejności – zadanie obuuszne (ms)	
		Me (Min–Max)	
		pomiar posttest	pomiar odroczony
Eksperymentalna A	16	46 (19–72)	33 (15–69)
Kontrolna aktywna B	8	61 (17–89)	57 (21–80)

W grupie eksperymentalnej badani osiągnęli istotnie niższy wynik (lepsze wykonanie) PPK w pomiarze odroczonym w porównaniu do pomiaru *posttest* ($Z = -2,120$; $p = 0,034$). Natomiast w grupie kontrolnej aktywnej nie wykazano różnic istotnych statystycznie ($Z = -0,420$; $p = 0,674$).

Test Pojemności Pamięci Przestrzennej

Pojemność Pamięci Przestrzennej – Test Wilcoxona nr 7.3

Tabela 26 Statystyki opisowe (mediana, minimum, maksimum) analizowanych zmiennych.

Grupa	n	Pojemność Pamięci Przestrzennej (liczba elementów)	
		Me (Min–Max)	
		pomiar posttest	pomiar odroczony
Eksperymentalna A	19	5 (4–8)	5 (4–7)
Kontrolna aktywna B	9	5 (4–8)	5 (3–8)

Przeprowadzone analizy statystyczne nie wykazały różnic istotnych statystycznie pomiędzy pomiarem *posttest* a pomiarem odroczonym (grupa eksperymentalna: $Z = -1,273$; $p = 0,203$; grupa kontrolna aktywna : $Z = -1,725$; $p = 0,084$).

Powtarzanie Cyfr

Cyfry Wprost – Test Wilcoxon nr 7.4

Tabela 27 Statystyki opisowe (mediana, minimum, maksimum) analizowanych zmiennych.

Grupa	n	Pojemność Pamięci Krótkotrwałej (liczba elementów)	
		Me (Min–Max)	
		pomiar posttest	pomiar odroczonej
Eksperymentalna A	20	6 (4–9)	5 (4–8)
Kontrolna aktywna B	9	5 (4–8)	6 (4–11)

Wykonane analizy wykazały w obu grupach brak różnic istotnych statystycznie w porównaniu wyników pomiaru *posttest* i pomiaru diagnozy odroczonej (grupa eksperymetalna: $Z = -0,535$; $p = 0,593$; grupa kontrolna aktywna: $Z = 0,000$; $p = -1,000$).

Test Wieży Londyńskiej

1) Poprawność wykonania – Test Wilcoxon nr 7.5

Tabela 28 Statystyki opisowe (mediana, minimum, maksimum) analizowanych zmiennych.

Grupa	n	Poprawność wykonania (liczba zadań)	
		Me (Min–Max)	
		pomiar posttest	pomiar odroczonej
Eksperymentalna A	16	23 (17–24)	22 (16–24)
Kontrolna aktywna B	7	19 (13–24)	23 (15–24)

W grupie eksperymetalnej nie wykazano różnic istotnych statystycznie pomiędzy pomiarami *posttest* a pomiarem odroczonej ($Z = -0,047$; $p = 0,963$). W grupie kontrolnej aktywnej badani w pomiarze odroczonej osiągnęli istotnie wyższy wynik w zakresie wskaźnika Poprawność wykonania ($Z = -2,214$; $p = 0,027$).

2) Czas wykonania – Test Wilcoxon nr 7.6

Tabela 29 Statystyki opisowe (mediana, minimum, maksimum) analizowanych zmiennych.

Grupa	n	Czas wykonania (s)	
		Me (Min–Max)	
		pomiar posttest	pomiar odroczoney
Eksperymentalna A	16	6,40 (3,61–12,95)	6,98 (3,01–13,75)
Kontrolna aktywna B	7	7,63 (2,52–17,00)	10,47 (3,67–14,44)

W obu analizowanych grupach nie stwierdzono różnic istotnych statystycznie pomiędzy pomiarem *posttest* a pomiarem odroczoney (grupa eksperymentalna: $Z = -0,621$; $p = 0,535$; grupa kontrolna aktywna: $Z = -1,521$; $p = 0,128$).

Test Kontroli Hamowania

Liczba reakcji niekompatybilnych lewostronnych – Test Wilcoxon nr 7.7

Tabela 30 Statystyki opisowe (mediana, minimum, maksimum) analizowanych zmiennych.

Grupa	n	Czas wykonania (liczba reakcji)	
		Me (Min–Max)	
		pomiar posttest	pomiar odroczoney
Eksperymentalna A	9	14 (13–15)	15 (12–15)
Kontrolna aktywna B	8	14 (10–15)	15 (9–15)

W obu badanych grupach uzyskano wyniki nieistotne statystycznie, wskazujące na brak różnic pomiędzy pomiarem *posttest* a pomiarem odroczoney (grupa eksperymentalna: $Z = -0,541$; $p = 0,589$; grupa kontrolna aktywna: $Z = 0,000$; $p = 1,000$).

Podsumowanie analiz wykonanych w celu weryfikacji stabilności uzyskanych zmian przedstawia poniższa tabela.

Tabela 31 Podsumowanie analiz weryfikujących stabilność zmian w funkcjonowaniu poznawczym.

Wskaźnik testu	Grupa	Numer oraz rodzaj analizy	Uzyskany wynik
CZASOWE OPRACOWYWANIE INFORMACJI			
Próg Postrzegania Kolejności w zadaniu rozdzielnościowym (PPK-R)	A	Test Wilcoxon nr 7.1	Brak różnic istotnych statystycznie.
	B		Brak różnic istotnych statystycznie.
Próg Postrzegania Kolejności w zadaniu obuusznym (PPK-O)	A	Test Wilcoxon nr 7.2	Wynik istotnie niższy (lepsze wykonanie zadania) w pomiarze odroczonym.
	B		Brak różnic istotnych statystycznie.
PAMIĘĆ			
Pojemność Przestrzennej Pamięci	A	Test Wilcoxon nr 7.3	Brak różnic istotnych statystycznie.
	B		Brak różnic istotnych statystycznie.
Pojemność Krótkotrwałej Pamięci	A	Test Wilcoxon nr 7.4	Brak różnic istotnych statystycznie.
	B		Brak różnic istotnych statystycznie.
FUNKCJE WYKONAWCZE			
Poprawność wykonania	A	Test Wilcoxon nr 7.5	Brak różnic istotnych statystycznie.
	B		Wynik istotnie wyższy (lepsze wykonanie zadania) w pomiarze odroczonym.
Czas wykonania	A	Test Wilcoxon nr 7.6	Brak różnic istotnych statystycznie.
	B		Brak różnic istotnych statystycznie.
	A	Test Wilcoxon nr 7.7	Brak różnic istotnych statystycznie.

Liczba reakcji niekompatybilnych lewostronnych	B	Brak różnic istotnych statystycznie.
------------------------------------------------	---	--------------------------------------

Podsumowując powyższe analizy, można stwierdzić, że poprawa osiągnięta po treningu eksperymentalnym jest stabilna w czasie – po upływie 8 tygodni w żadnym przypadku nie wykazano pogorszenia w funkcjonowaniu poznawczym. W przypadku wskaźników: PPK-O oraz Poprawność wykonania uzyskano dalszą poprawę.

4.3. Efektywność przeprowadzonych treningów – badania elektrofizjologiczne – testowanie hipotezy H3

4.3.1. Procedura 1 – Słuchowa pamięć robocza

Poniżej przedstawiono wyniki analiz statystycznych dotyczących eksperymentu „Słuchowa pamięć robocza” przeprowadzonych na wskaźnikach behawioralnych oraz elektrofizjologicznych. W niniejszej rozprawie w Procedurze 1 analizowany będzie potencjał P300, który odzwierciedla procesy związane z aktualizacją informacji w pamięci roboczej (Polich, 2007). Amplitudę oraz latencję potencjału P300 w określonym oknie czasowym (290–350 ms) wyznaczono na podstawie inspekcji wzrokowej oraz literatury.

4.3.1.1. Wpływ poziomu trudności zadania (wskaźniki behawioralne i elektrofizjologiczne)

Weryfikacja poziomu trudności zadań 1– vs. 2–wstecz (wskaźniki behawioralne)

W pierwszej kolejności wykonano analizę trudności zadania, tj. na wynikach z pomiaru *pretest* porównano wskaźniki behawioralne z warunku 1–wstecz oraz 2–wstecz dla wszystkich osób badanych łącznie. W tym celu przeprowadzono analizy z zastosowaniem testu Wilcozona dla następujących wskaźników:

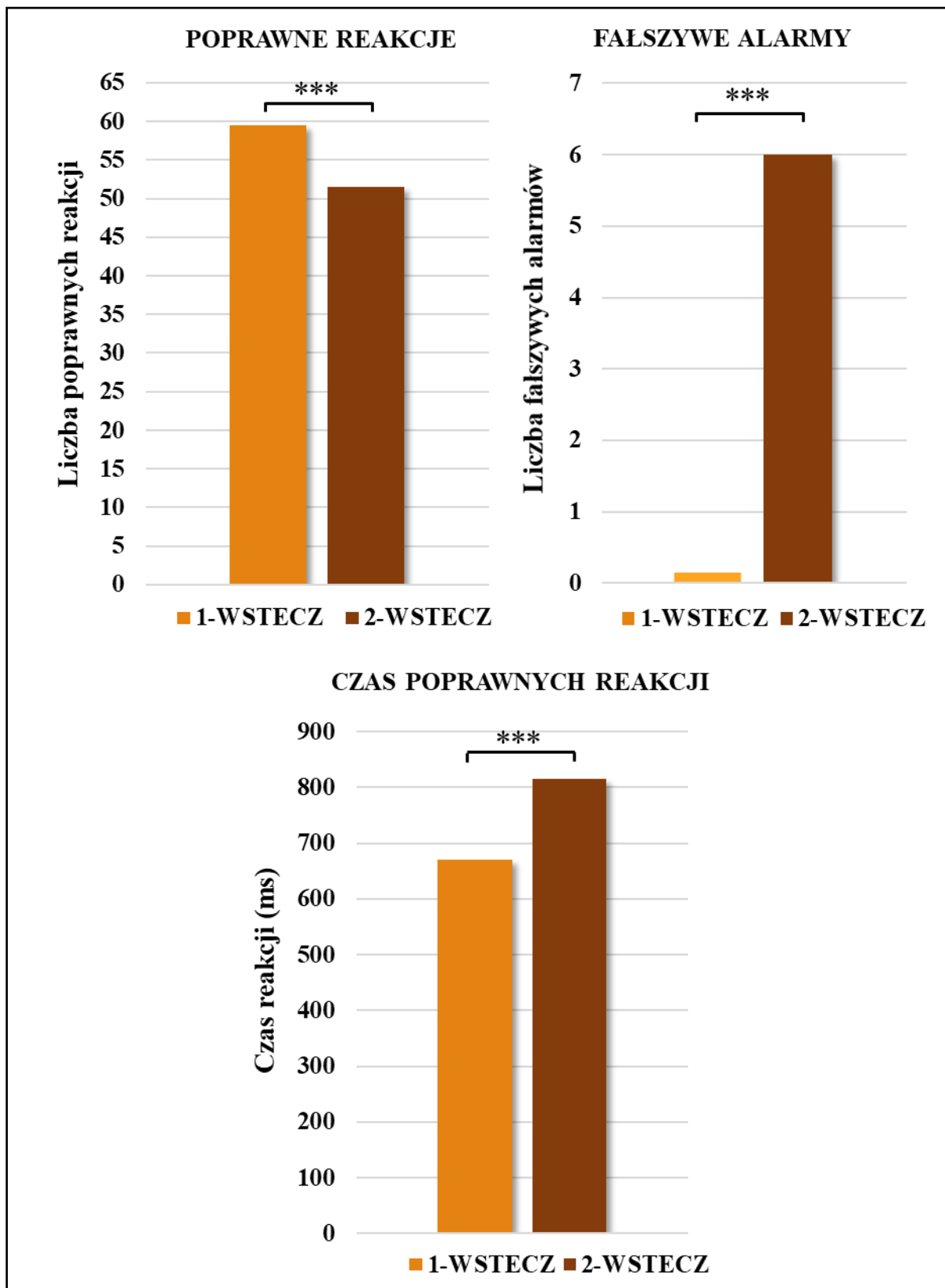
- Poprawne reakcje (Test Wilcozona nr 8.1);

- Fałszywe alarmy (Test Wilcoxona nr 8.2);
- Czas poprawnych reakcji (Test Wilcoxona nr 8.3).

We wszystkich wykonanych analizach otrzymano różnice istotne statystycznie. W warunku 2–wstecz badani osiągnęli istotnie mniejszą poprawność (Test Wilcoxona nr 8.1: $Z = -4,543$; $p < 0,001$); popełniali istotnie więcej fałszywych alarmów (Test Wilcoxona nr 8.2: $Z = -4,464$; $p < 0,001$); oraz osiągnęli istotnie dłuższe czasy reakcji (Test Wilcoxona nr 8.3 : $Z = -4,349$; $p < 0,001$). Podsumowanie statystyk opisowych przedstawia Tab. 32, a graficzna prezentacja wyników przedstawiona została na Rycinie 33.

Tabela 32 Zmienne opisowe analizowanych wskaźników behawioralnych.

Wskaźnik	n	Warunek ‘1-wstecz’ <i>Me (Min – Max)</i>	Warunek ‘2-wstecz’ <i>Me (Min – Max)</i>
Poprawne reakcje (liczba)		59,5 (53–60)	51,5 (27–58)
Fałszywe alarmy (liczba)	28	0 (0–2)	6 (0–17)
Czas poprawnych reakcji (ms)		671 (504–966)	815 (555–1111)



Ryc. 33. Porównawcze zestawienie wyników behawioralnych uzyskanych w pomiarze *pretest* w dwóch warunkach zadania *n*-wstecz (1-wstecz vs. 2-wstecz) dla: poprawnych reakcji, liczby fałszywych alarmów oraz czasów poprawnych reakcji. Różnice istotne statystycznie oznaczono gwiazdkami: *** $p < 0,001$.

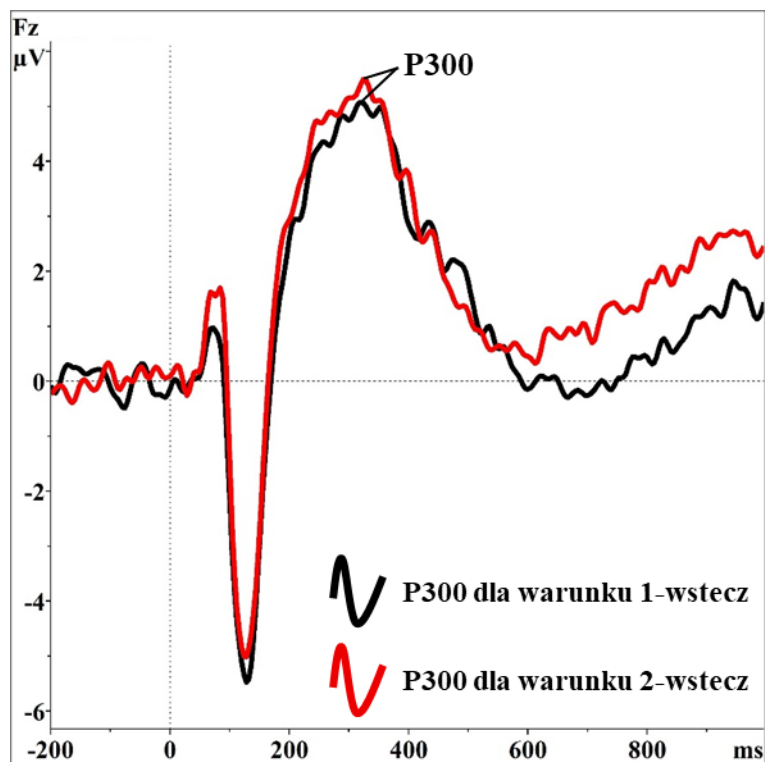
Porównanie parametrów potencjału P300 pomiędzy warunkami 1– vs. 2–wstecz

W kolejnym kroku porównano u wszystkich badanych potencjał P300 w odpowiedzi na bodziec docelowy pomiędzy warunkami 1–wstecz oraz 2–wstecz. Ponownie wykonano analizy nieparametryczne z zastosowaniem testu Wilcoxon. Pomiędzy dwoma poziomami trudności zadania (1– vs. 2–wstecz) porównywano amplitudy i latencje potencjału P300 na trzech analizowanych elektrodach (por. Tab. 4).

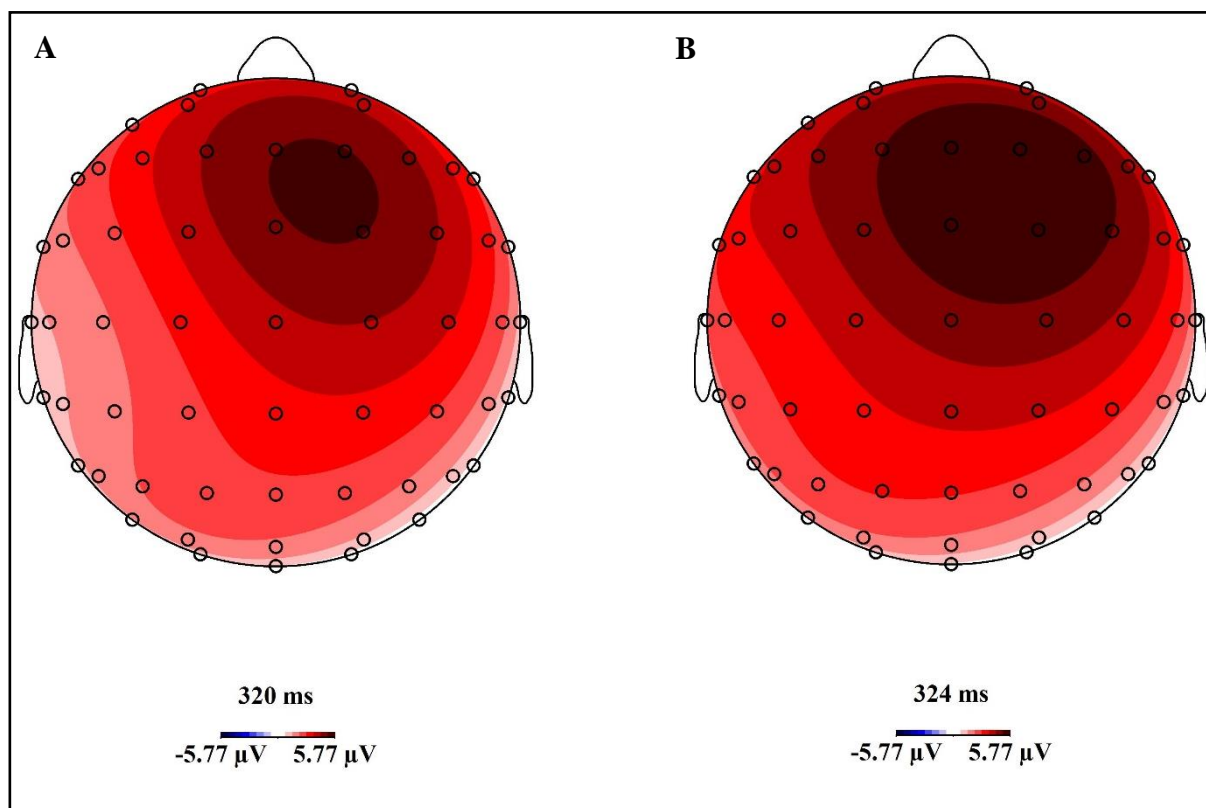
Wszystkie przeprowadzone porównania okazały się nieistotne statystycznie – pomiędzy dwoma poziomami trudności (1– vs. 2–wstecz) nie ma istotnych różnic w elektrofizjologicznej odpowiedzi mózgu. Zbiorcze podsumowanie wyników analiz przedstawia Tab. 33. Porównanie przebiegu uzyskanych potencjałów na przykładzie elektrody Fz przedstawia Ryc. 34, a topografie potencjału w obu warunkach zadania obrazuje Ryc. 35.

Tabela 33 Zestawienie wyników analiz statystycznych wykonanych na wskaźnikach potencjału P300.

Test Wilcoxon	Z	p
nr 9.1	-0,616	0,538
nr 9.2	-0,132	0,895
nr 9.3	-0,768	0,443
nr 9.4	-0,950	0,342
nr 9.5	-0,097	0,922
nr 9.6	-0,251	0,802



Ryc. 34 Porównanie przebiegu potencjałów wywołanych w warunku 1-wstecz oraz 2-wstecz na przykładzie elektrody Fz.



Ryc. 35 Topografie potencjału P300 w warunku 1-wstecz (A) oraz w warunku 2-wstecz (B).

4.3.1.1.1. Porównanie parametrów potencjału P300 dla poszczególnych elektrod w warunku 1– i 2–wstecz – testowanie hipotezy H4

Ostatnim etapem analiz wyników na poziomie *pretest* były porównania amplitudy potencjału P300 pomiędzy poszczególnymi elektrodami (Fz, Cz i Pz). Wykonano analizę nieparametryczną z zastosowaniem testu Friedmana osobno dla warunku 1-wstecz oraz osobno dla warunku 2–wstecz. Przeprowadzone analizy wykazały istotność statystyczną czynnika: elektroda w warunku 1–wstecz (Test Friedmana nr 10.1: $\chi^2(2, N = 29) = 22,55; p < 0,001$) oraz w warunku 2–wstecz (Test Friedmana nr 10.2: $\chi^2(2, N = 29) = 20,07; p < 0,001$).

W celu oceny istotności różnic w amplitudzie potencjału P300, przeprowadzono analizę *post hoc* z zastosowaniem testu Wilcoxona z uwzględnieniem poprawki Bonferroniego.

Wykonano analizy porównujące:

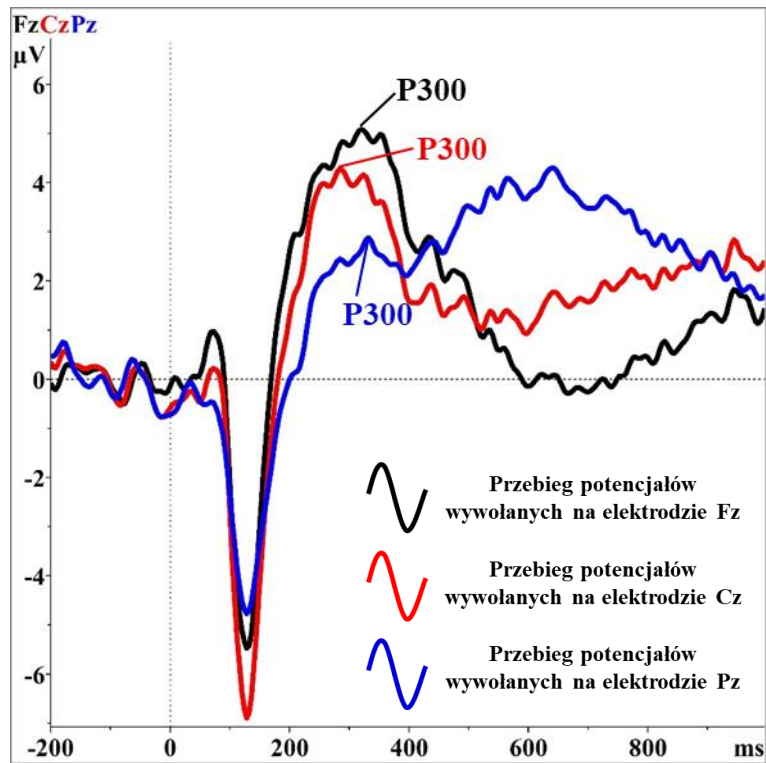
- amplitudę potencjału P300 w warunku 1–wstecz:
 - na elektrodach Fz i Cz (Test Wilcoxona nr 10.3);
 - na elektrodach Fz i Pz (Test Wilcoxona nr 10.4);
 - na elektrodach Cz i Pz (Test Wilcoxona nr 10.5).
- amplitudę potencjału P300 w warunku 2–wstecz:
 - na elektrodach Fz i Cz (Test Wilcoxona nr 10.6);
 - na elektrodach Fz i Pz (Test Wilcoxona nr 10.7);
 - na elektrodach Cz i Pz (Test Wilcoxona nr 10.8).

Zestawienie wyników przeprowadzonych analiz przedstawia Tab. 34. Zarówno w przypadku warunku 1–wstecz jak i 2–wstecz, różnice istotne statystycznie w wysokości wartości amplitudy potencjału P300 występują pomiędzy elektrodą Pz i Fz oraz Pz i Cz. Przebieg potencjału P300 na poszczególnych elektrodach obrazuje Ryc. 36 i Ryc. 37.

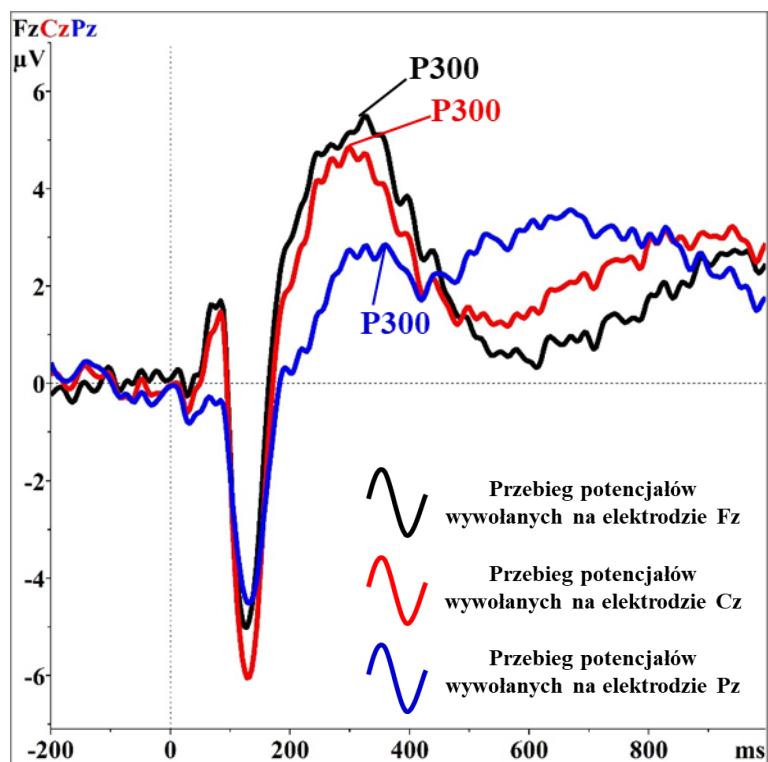
Tabela 34 Zbiórcze podsumowanie wyników analiz *post hoc* przeprowadzonych za pomocą testu Wilcoxon z poprawką Bonferroniego na porównania wielokrotne². Wyniki istotne statystycznie zaznaczono na zielono.

Test	Warunek					
	1-wstecz			2-wstecz		
	Porównywane elektrody					
Wilcoxon	Fz i Cz	Fz i Pz	Cz i Pz	Fz i Cz	Fz i Pz	Cz i Pz
nr 10.3	Z = -2,216 p = 0,027	-	-	-	-	-
nr 10.4	-	Z = -3,189 p = 0,001	-	-	-	-
nr 10.5	-	-	Z = -2,995 p = 0,003	-	-	-
nr 10.6	-	-	-	Z = -1,546 p = 0,122	-	-
nr 10.7	-	-	-	-	Z = -3,298 p < 0,001	-
nr 10.8	-	-	-	-	-	Z = -3,687 p < 0,001

²Ze względu na wykonanie wielokrotnych porównań, zastosowano poprawkę Bonferroniego. Zgodnie z obowiązującą zasadą, poziom istotności statystycznej $p = 0,05$ podzielono przez 3 (ponieważ wykonywano 3 porównania *post hoc* w obrębie każdego warunku zadania *n-wstecz*). Wyznaczony w ten sposób poziom istotności wynosi $p = 0,017$. Oznacza to, że wartości p większe niż 0,017 w przypadku tych analiz nie są wynikami istotnymi statystycznie (źródło: https://statistics.laerd.com/spss-tutorials/friedman-test-using-spssstatistics.php?fbclid=IwAR2mq5lCygy\OERu25WIIZ4dVID2X8DkEW__5-6sIoML0-7TpcZT-9uHHzn4)



Ryc. 36 Przebieg potencjałów wywołanych z uwzględnieniem potencjału P300 na analizowanych elektrodach w **warunku 1-wstecz**.



Ryc. 37 Przebieg potencjałów wywołanych z uwzględnieniem potencjału P300 na analizowanych elektrodach w **warunku 2-wstecz**.

PODSUMOWANIE

WPLYW POZIOMU TRUDNOŚCI ZADANIA NA JEGO WYKONANIE

- na poziomie behawioralnym warunek 2–wstecz był istotnie trudniejszy niż warunek 1–wstecz;
- brak istotnych różnic w amplitudzie oraz latencji potencjału P300 pomiędzy warunkami 1– oraz 2–wstecz;
- istotnie niższa amplituda potencjału P300 na elektrodzie Pz w obu warunkach (1– i 2–wstecz) w porównaniu do amplitudy P300 na elektrodach Fz oraz Cz.

4.3.1.2. Wpływ treningu eksperymentalnego i treningu kontrolnego na wykonanie zadania

4.3.1.2.1. Wskaźniki behawioralne

Wskaźnik: Poprawne reakcje

Statystyki opisowe zmiennej Poprawne reakcje w warunku 1– i 2–wstecz przedstawia Tabela 36.

Tabela 36 Statystyki opisowe (mediana, minimum, maksimum) analizowanej zmiennej.

Grupa	Poprawne reakcje (liczba)					
	<i>Me (Min–Max)</i>					
	n	1–wstecz		n	2–wstecz	
pretest		posttest	pretest		posttest	
Eksperymentalna	7	59	60	6	39,5	40,5
A		(53 – 60)	(50 – 60)		(27 – 51)	(34 – 48)

Kontrolna aktywna B	11	59 (56 – 60)	60 (57 - 60)	11	51 (40 – 58)	54,5 (50 – 59)
Kontrolna nieaktywna C	12	59,5 (27 – 60)	60 (58 – 60)	11	53 (33 – 58)	56 (39 – 59)

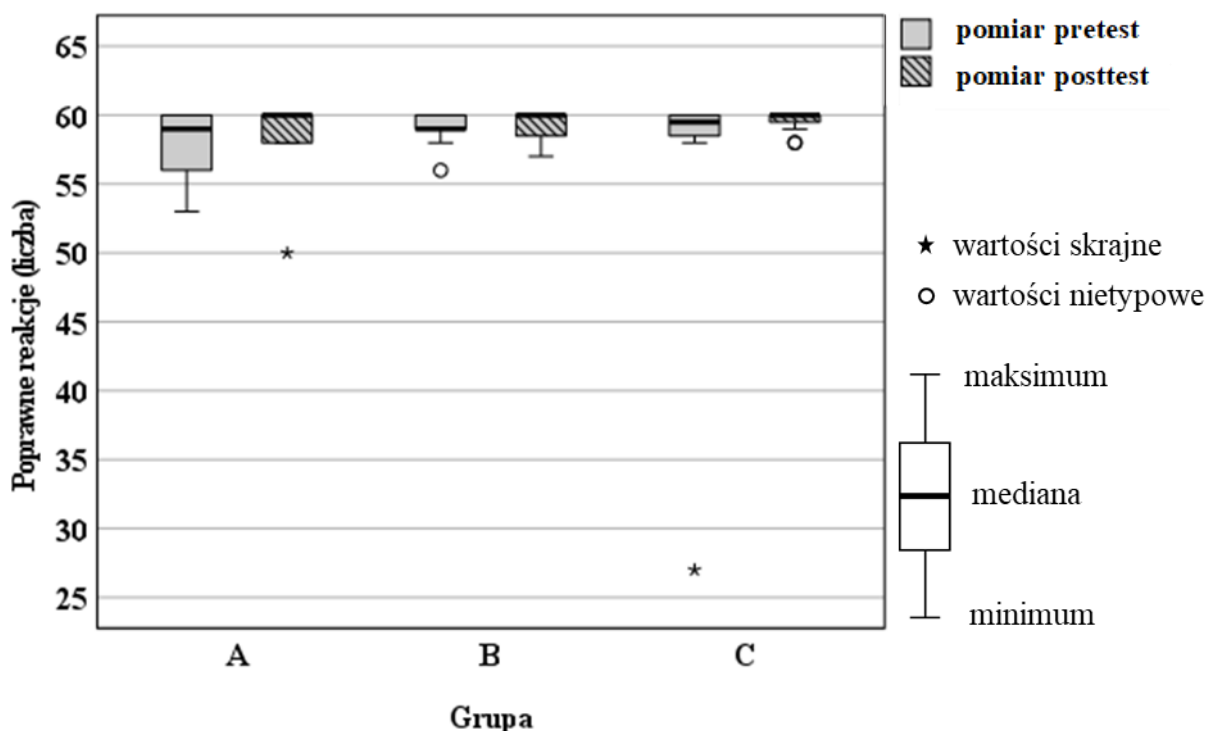
A) Warunek 1–wstecz

Wstępne porównania międzygrupowe nr 11.1 (na podstawie wyników *pretest*)

Nie wykazano istotnych statystycznie różnic pomiędzy trzema grupami dla wskaźnika Poprawne reakcje: $H(2) = 0,538$; $p = 0,764$ (test Kruskala-Wallisa).

Porównania wewnątrzgrupowe nr 11.2 (*pretest vs. posttest*)

Porównanie wyników *pretest* z wynikami *posttest* przy użyciu testu Wilcoxona nie wykazało różnic istotnych statystycznie w żadnej z trzech analizowanych grup (grupa eksperymentalna: $Z = 0,000$; $p = 1,000$; grupa kontrolna aktywna: $Z = -0,356$; $p = 0,722$; grupa kontrolna nieaktywna: $Z = -1,035$; $p = 0,301$). Statystyki opisowe zaprezentowano w Tabeli 36, natomiast graficzna prezentacja wyników widoczna jest na Rycinie 38.



Ryc. 38 Warunek 1–wstecz: Zestawienie liczby poprawnych reakcji uzyskanych w pomiarach

pretest i *posttest*, przedstawione osobno dla trzech grup: A – eksperymentalnej, B – kontrolnej aktywnej, C – kontrolnej nieaktywnej.

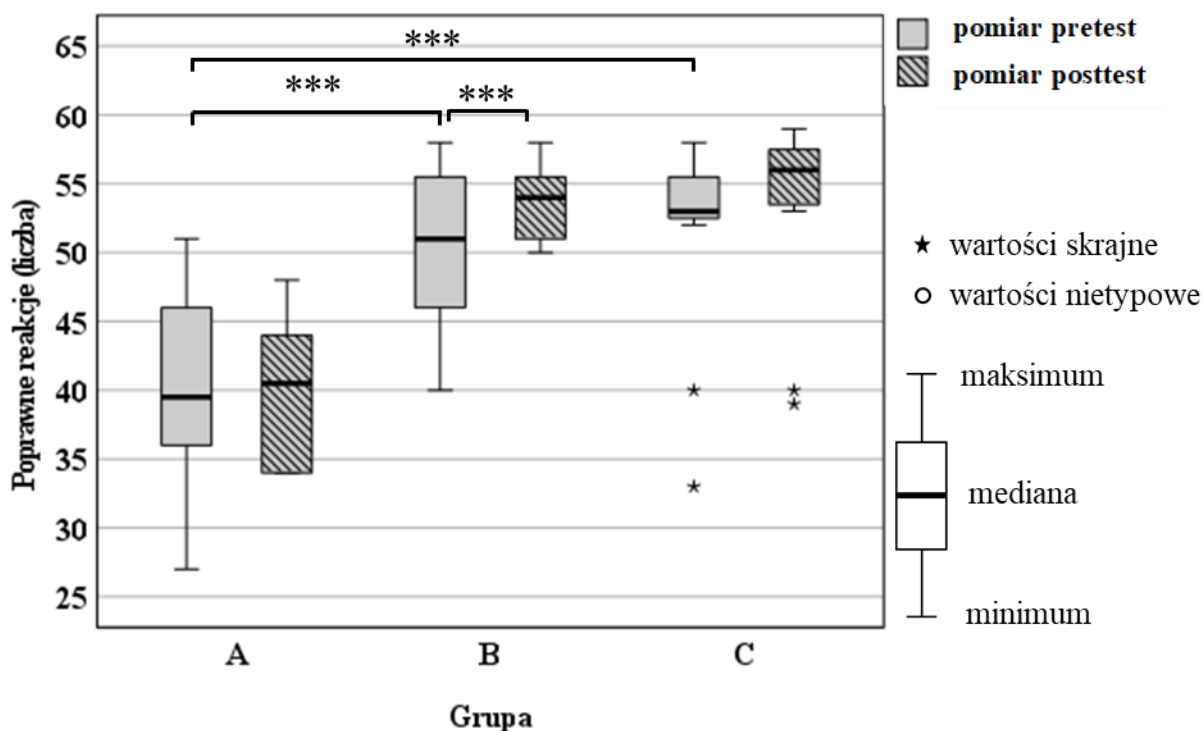
B) Warunek 2–wstecz

Wstępne porównania międzygrupowe nr 11.3 (na podstawie wyników *pretest*)

Stwierdzono istotne statystycznie różnice pomiędzy trzema analizowanymi grupami dla wskaźnika Poprawne reakcje: $H(2) = 8,067$; $p = 0,018$ (test Kruskala-Wallisa). Porównania parami wykonane w poszczególnych grupach (testem *post hoc* Dunna) wykazały, że grupa eksperymentalna miała istotnie mniejszą poprawność w porównaniu do grupy kontrolnej aktywnej ($Z = -2,277$; $p = 0,023$) oraz do grupy kontrolnej nieaktywnej ($Z = -2,768$; $p = 0,006$). Różnice pomiędzy grupami kontrolną aktywną i kontrolną nieaktywną były nieistotne statystycznie.

Porównania wewnątrzgrupowe nr 11.4 (*pretest* vs. *posttest*)

Porównanie wyników *pretest* z wynikami *posttest* przy użyciu testu Wilcoxon wykazało różnice istotne statystycznie tylko w grupie kontrolnej aktywnej ($Z = -2,077$; $p = 0,038$). W pozostałych grupach nie stwierdzono różnic istotnych statystycznie (grupa eksperymentalna: $Z = -0,105$; $p = 0,917$; grupa kontrolna nieaktywna: $Z = -1,794$; $p = 0,073$). Statystyki opisowe zaprezentowano w Tabeli 36, natomiast graficzna prezentacja wyników widoczna jest na Rycinie 39.



Ryc. 39 Warunek 2–wstecz: Zestawienie liczby poprawnych reakcji w pomiarach *pretest* oraz *posttest*, przedstawione osobno dla trzech grup: A – eksperymentalnej, B – kontrolnej aktywnej, C – kontrolnej nieaktywnej. Różnice istotne statystycznie pomiędzy grupami w pomiarze *pretest* oraz pomiędzy pomiarami *pretest* vs. *posttest* oznaczono gwiazdkami: *** $p < 0,05$.

Wskaźnik: Falszywe alarmy

Statystyki opisowe zmiennej Falszywe alarmy w warunku 1– i 2–wstecz zawiera Tabela 37.

Tabela 37 Statystyki opisowe (mediana, minimum, maksimum) analizowanej zmiennej.

Grupa	Falszywe alarmy (liczba)					
	<i>Me (Min–Max)</i>					
	n	1–wstecz		n	2–wstecz	
pretest		posttest	pretest		posttest	
Eksperymentalna A	7	0 (0 – 2)	0 (0 – 1)	6	4,5 (0 – 14)	5 (0 – 29)
Kontrolna aktywna B	11	0 (0 – 1)	0 (0 – 0)	11	7 (1 – 16)	2,5 (0 – 13)
Kontrolna nieaktywna C	12	0 (0 – 3)	0 (0 – 1)	11	6 (0 – 17)	2 (0 – 14)

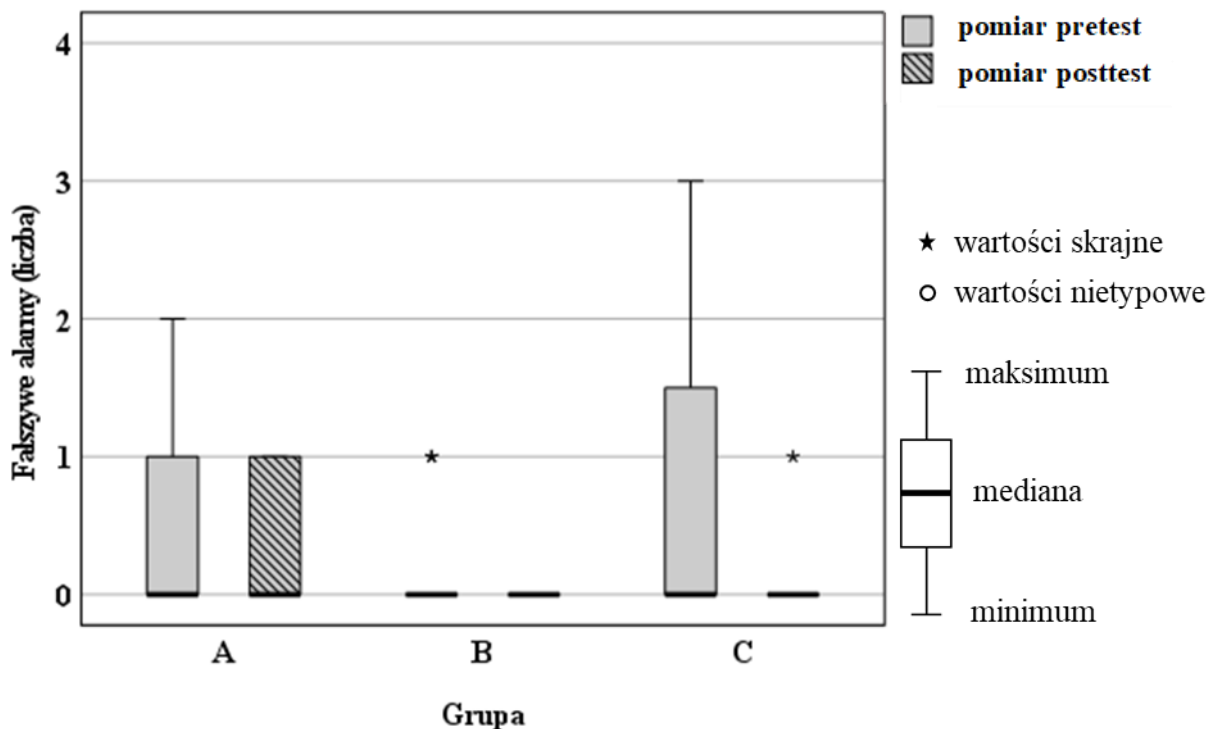
A) Warunek 1–wstecz

Wstępne porównania międzygrupowe nr 11.5 (na podstawie wyników *pretest*)

Nie wykazano istotnych statystycznie różnic pomiędzy trzema grupami dla wskaźnika Falszywe alarmy: $H(2) = 2,260$; $p = 0,323$ (test Kruskala-Wallisa).

Porównania wewnątrzgrupowe nr 11.6 (*pretest vs. posttest*)

Porównania wyników *pretest* z wynikami *posttest* przy zastosowaniu testu Wilcoxon nie wykazały różnic istotnych statystycznie w żadnej z trzech analizowanych grup (grupa eksperymentalna: $Z = -1,000$; $p = 0,317$; grupa kontrolna aktywna: $Z = -1,414$; $p = 0,157$; grupa kontrolna nieaktywna: $Z = -1,841$; $p = 0,066$). Statystyki opisowe zaprezentowano w Tabeli 37, natomiast graficzna prezentacja wyników widoczna jest na Rycinie 40.



Ryc. 40 Warunek 1–wstecz: Zestawienie liczby fałszywych alarmów uzyskanych w pomiarach *pretest* i *posttest*, przedstawione osobno dla trzech grup: A – eksperymentalnej, B – kontrolnej aktywnej, C – kontrolnej nieaktywnej.

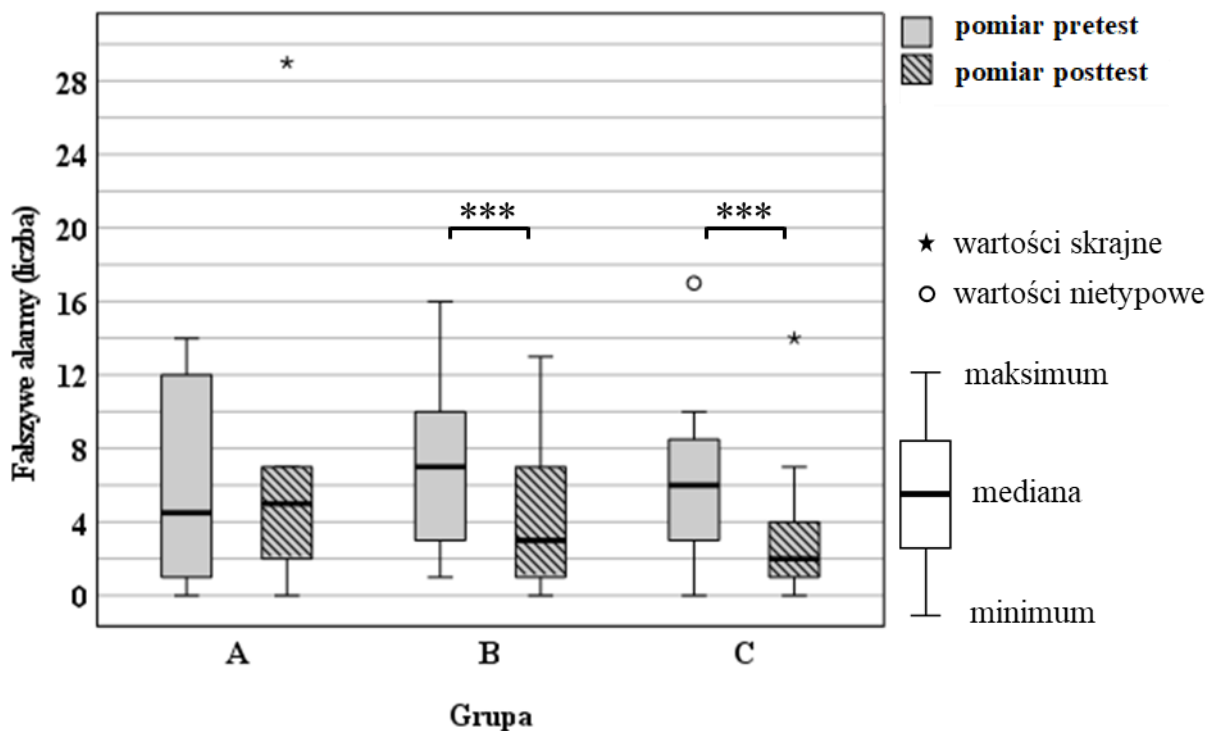
B) Warunek 2–wstecz

Wstępne porównania międzygrupowe nr 11.7 (na podstawie wyników *pretest*)

Nie wykazano istotnych statystycznie różnic pomiędzy trzema grupami dla wskaźnika Falszywe alarmy: $H(2) = 0,194$; $p = 0,908$ (test Kruskala-Wallisa).

Porównania wewnątrzgrupowe nr 11.8 (pretest vs. posttest)

Porównanie wyników pomiaru *pretest* z wynikami pomiaru *posttest* przy zastosowaniu testu Wilcozona wykazało różnice istotne statystycznie w grupach: kontrolnej aktywnej ($Z = -2,611$; $p = 0,009$) oraz kontrolnej nieaktywnej ($Z = -2,503$; $p = 0,012$). W obu grupach kontrolnych w pomiarze *posttest* osoby badane popełniły istotnie mniej fałszywych alarmów. Nie stwierdzono różnic istotnych statystycznie w grupie eksperymentalnej w zakresie wskaźnika Falszywe alarmy ($Z = 0,420$; $p = 0,674$). Statystyki opisowe przedstawiono w Tabeli 37, natomiast graficzna ilustracja wyników zaprezentowana jest na Rycinie 40.



Ryc. 40 Warunek 2–wstecz: Zestawienie liczby fałszywych alarmów uzyskanych w pomiarach *pretest* i *posttest*, przedstawione osobno dla trzech grup: A – eksperymentalnej, B – kontrolnej aktywnej, C – kontrolnej nieaktywnej. Różnice istotne statystycznie pomiędzy pomiarem *pretest* i *posttest* gwiazdkami: *** $p < 0,005$.

Wskaźnik: Czas poprawnych reakcji

Tabela 38 Statystyki opisowe zmiennej Czas reakcji w warunku 1– i 2–wstecz.

Grupa	Czas poprawnych reakcji (ms)					
	<i>Me (Min–Max)</i>					
	1–wstecz			2–wstecz		
	n	pretest	posttest	n	pretest	posttest
Eksperymentalna A	7	642 (504 – 716)	678 (539 – 796)	6	809 (555 – 1021)	750 (561 – 889)
Kontrolna aktywna B	11	671 (571 – 761)	652 (541 – 808)	11	725 (640 – 1011)	673 (592 – 918)
Kontrolna nieaktywna C	12	652 (540 – 966)	650 (548 – 831)	11	828 (611 – 1111)	707 (561 – 1114)

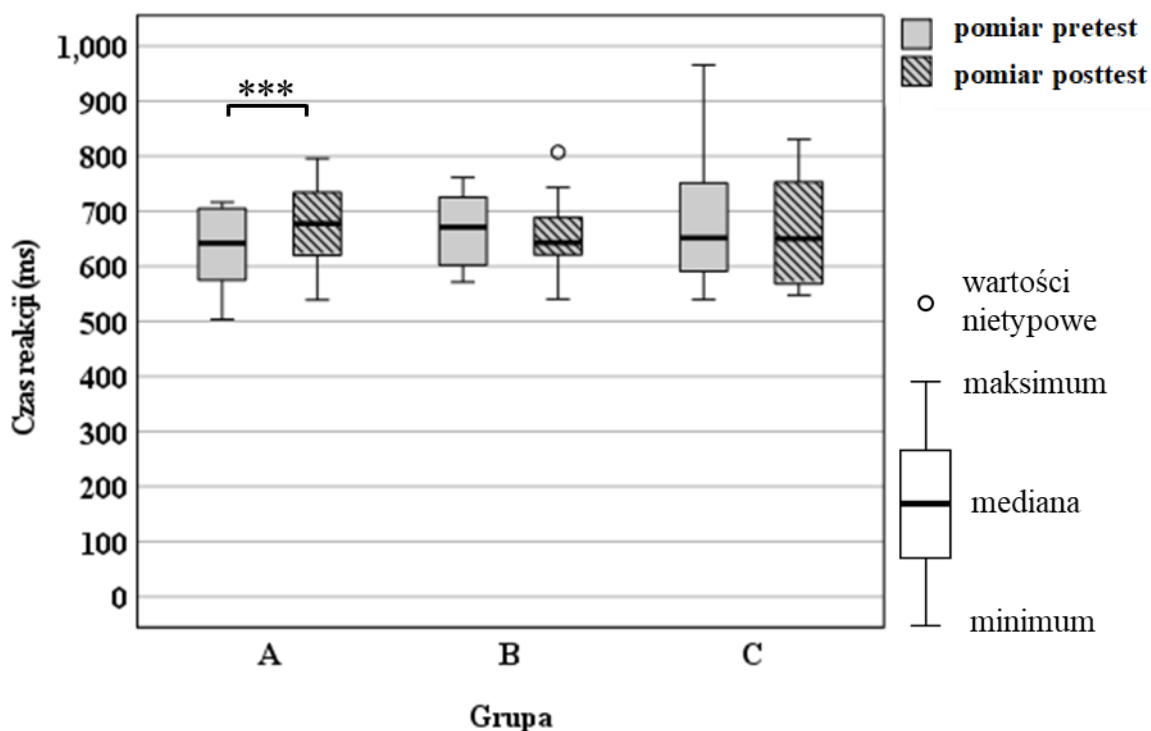
A) Warunek 1–wstecz

Wstępne porównania międzygrupowe nr 11.9 (na podstawie wyników *pretest*)

Analiza wskaźnika nie wykazała istotnych statystycznie różnic pomiędzy trzema grupami: $H(2) = 0,667$; $p = 0,716$ (test Kruskala-Wallis).

Porównania wewnątrzgrupowe nr 11.10 (*pretest vs. posttest*)

Używając testu Wilcoxon, porównano wyniki *pretest* z wynikami *posttest*. Tylko w grupie eksperymentalnej zaobserwowano różnice istotne statystycznie – czas poprawnych reakcji osób badanych w pomiarze *posttest* wydłużył się w porównaniu do pomiaru *pretest* ($Z = -2,197$; $p = 0,028$). Porównania w pozostałych grupach były nieistotne (grupa kontrolna aktywna: $Z = -0,267$; $p = 0,790$; grupa kontrolna nieaktywna: $Z = -1,569$; $p = 0,117$). Statystyki opisowe zaprezentowane są w Tabeli 38, a graficzne zobrazowanie wyników przedstawione jest na Rycinie 41.



Ryc. 41 Warunek 1–wstecz: Zestawienie mediany czasów poprawnych reakcji uzyskanych w pomiarach *pretest* i *posttest*, przedstawione osobno dla trzech grup: A – eksperymentalnej, B – kontrolnej aktywnej, C – kontrolnej nieaktywnej. Różnice istotne statystycznie pomiędzy pomiarem *pretest* i *posttest* w grupie eksperymentalnej A oznaczono gwiazdkami: *** $p = 0,028$.

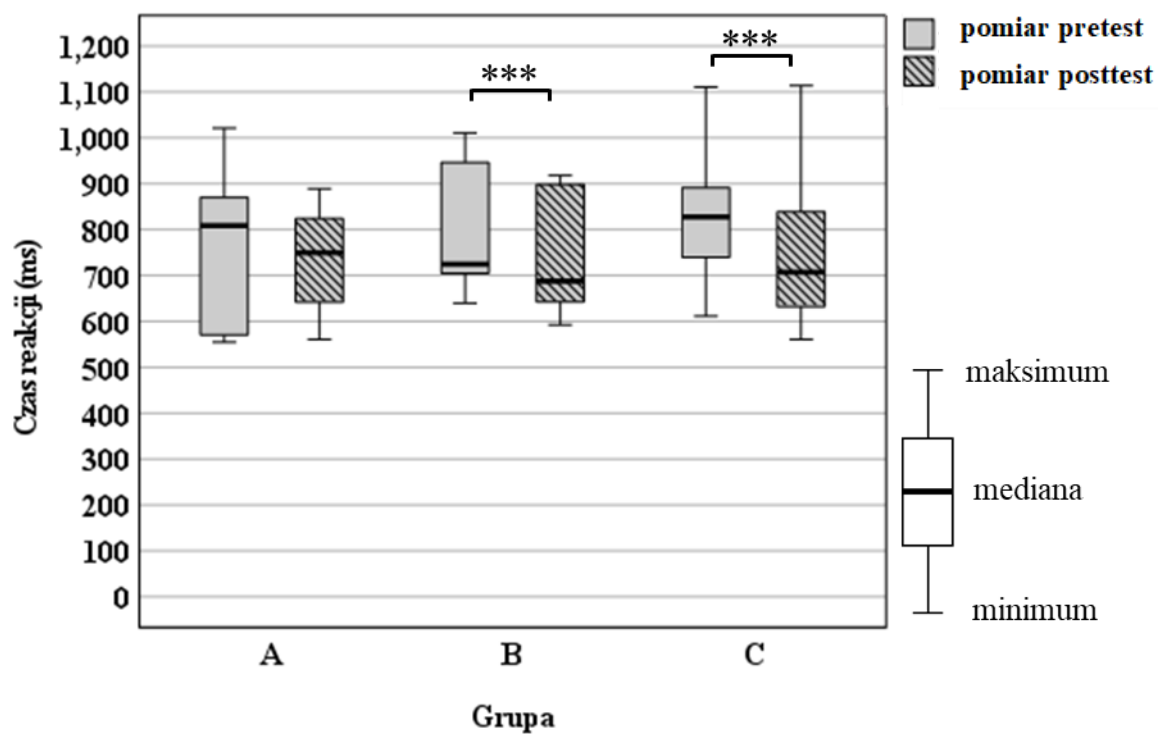
C) Warunek 2–wstecz

Wstępne porównania międzygrupowe nr 11.11 (na podstawie wyników *pretest*)

Analiza wskaźnika nie wykazała istotnych statystycznie różnic pomiędzy trzema grupami: $H(2) = 0,620$; $p = 0,733$ (test Kruskala-Wallis).

Porównania wewnątrzgrupowe nr 11.12 (*pretest vs. posttest*)

Wyniki pomiaru *pretest* porównano z wynikami pomiaru *posttest* z zastosowaniem testu Wilcozona. Stwierdzono istotne skrócenie czasu reakcji w obu grupach kontrolnych (grupa kontrolna aktywna: $Z = -2,134$; $p = 0,033$; grupa kontrolna nieaktywna: $Z = -2,667$; $p = 0,008$). Tylko w grupie eksperymentalnej nie zaobserwowano różnic istotnych statystycznie ($Z = -0,734$; $p = 0,463$). Statystyki opisowe prezentuje Tabela 38, a graficzne zobrazowanie wyników przedstawia Rycina 42.



Ryc. 42 Warunek 2–wstecz: Zestawienie mediany czasów poprawnych reakcji uzyskanych w pomiarach *pretest* i *posttest*, przedstawione osobno dla trzech grup: A – eksperymentalnej, B – kontrolnej aktywnej, C – kontrolnej nieaktywnej. Różnice istotne statystycznie pomiędzy pomiarem *pretest* i *posttest* oznaczono gwiazdkami: *** $p < 0,005$.

PODSUMOWANIE

WPLYW TRENINGÓW NA WYKONANIE ZADANIA SŁUCHOWEJ PAMIĘCI ROBOCZEJ – WSKAŹNIKI BEHAWIORALNE

Po treningu:

- w warunku 1–wstecz istotnie wydłużył się czas reakcji tylko w grupie eksperymentalnej;
- wykonanie zadania w warunku 2–wstecz uległo poprawie w grupie kontrolnej aktywnej w każdym z trzech analizowanych wskaźników behawioralnych (istotny: wzrost liczby poprawnych reakcji, spadek liczby fałszywych alarmów oraz istotne skrócenie czasu reakcji);
- wykonanie zadania w warunku 2–wstecz uległo poprawie w grupie kontrolnej nieaktywnej (istotny spadek liczby fałszywych alarmów, istotne skrócenie czasu reakcji).

4.3.1.2.2. Wskaźniki elektrofizjologiczne

A) Warunek 1–wstecz

Wskaźnik: latencja potencjału P300

Wstępne porównania międzygrupowe nr 12.1 (na podstawie wyników *pretest*)

Nie wykazano różnic istotnych statystycznie pomiędzy trzema grupami w latencji potencjału P300 (test Kruskala-Wallis). Szczegółowe wyniki prezentuje poniższa Tabela 39.

Tabela 39 Podsumowanie wyników porównań międzygrupowych dla poszczególnych elektrod.

Elektroda	<i>H</i>	<i>df</i>	<i>p</i>
Fz	0,049	2	0,976
Cz	1,978	2	0,372
Pz	0,017	2	0,991

Porównania wewnątrzgrupowe nr 12.2 (pretest vs. posttest)

Porównano wyniki *pretest* z wynikami *posttest* przy użyciu testu Wilcoxon – przeprowadzona analiza nie wykazała różnic istotnych statystycznie w żadnej z trzech analizowanych grup w zakresie latencji potencjału P300 na elektrodach Fz, Cz oraz Pz. Dokładne wyniki zawiera Tabela 40 natomiast przebieg uzyskanych potencjałów przedstawia Rycina 43, a topografie Rycina 44.

Tabela 40 Wyniki testu Wilcoxon dla latencji potencjału P300 w podziale na poszczególne grupy i analizowane elektrody.

Grupa	n	Elektroda		
		Fz	Cz	Pz
Eksperymentalna A	7	Z = -0,085 p = 0,933	Z = -0,736 p = 0,462	Z = -1,187 p = 0,235
Kontrolna aktywna B	12	Z = -1,493 p = 0,135	Z = -0,471 p = 0,637	Z = 0,314 p = 0,754
Kontrolna nieaktywna C	12	Z = -1,024 p = 0,306	Z = -0,357 p = 0,721	Z = 0,000 p = 1,000

Wskaźnik: amplituda potencjału P300

Wstępne porównania międzygrupowe nr 12.3 (na podstawie wyników *pretest*)

Przeprowadzone analizy nie wykazały różnic pomiędzy trzema grupami w amplitudzie potencjału P300 na elektrodach Fz oraz Cz. Różnice istotne statystycznie zaobserwowano jedynie na elektrodzie Pz (test Kruskala-Wallisa). Dokładnie wyniki przedstawia poniższa Tabela 41.

Tabela 41 Podsumowanie wyników porównań międzygrupowych dla poszczególnych elektrod.

Elektroda	H	df	p
Fz	3,276	2	0,194
Cz	5,983	2	0,051
Pz	6,407	2	0,041

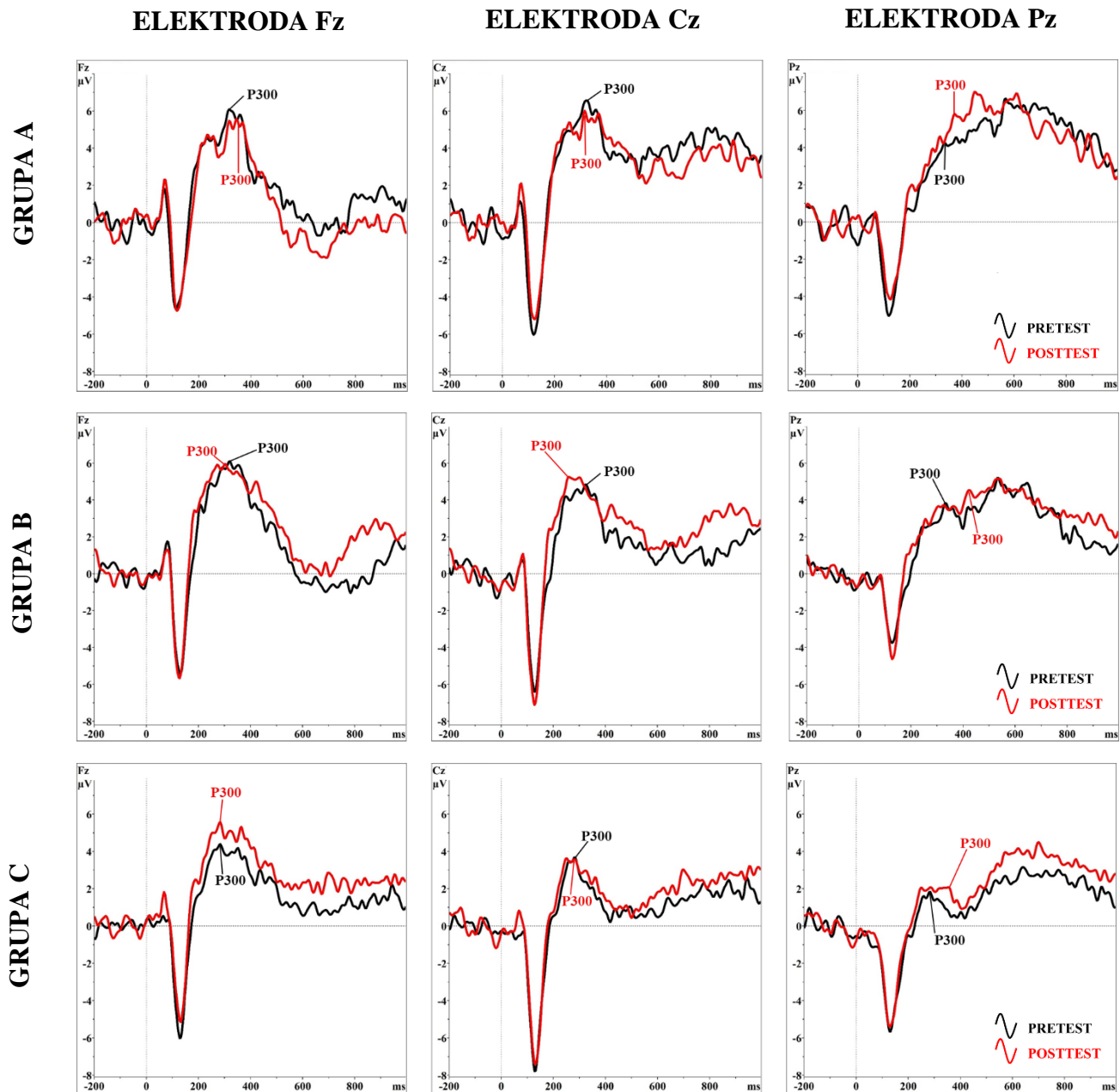
W kolejnym kroku wykonano test *post hoc* Dunna w którym porównywano amplitudę potencjału P300 na elektrodzie Pz w trzech badanych grupach. Analizy wykazały, że w grupie kontrolnej nieaktywnej amplituda potencjału P300 była istotnie niższa na elektrodzie Pz w porównaniu do grupy eksperymentalnej ($Z = 2,465$; $p = 0,041$). Pozostałe różnice pomiędzy grupami były nieistotne statystycznie.

Porównania wewnątrzgrupowe nr 12.4 (pretest vs. posttest)

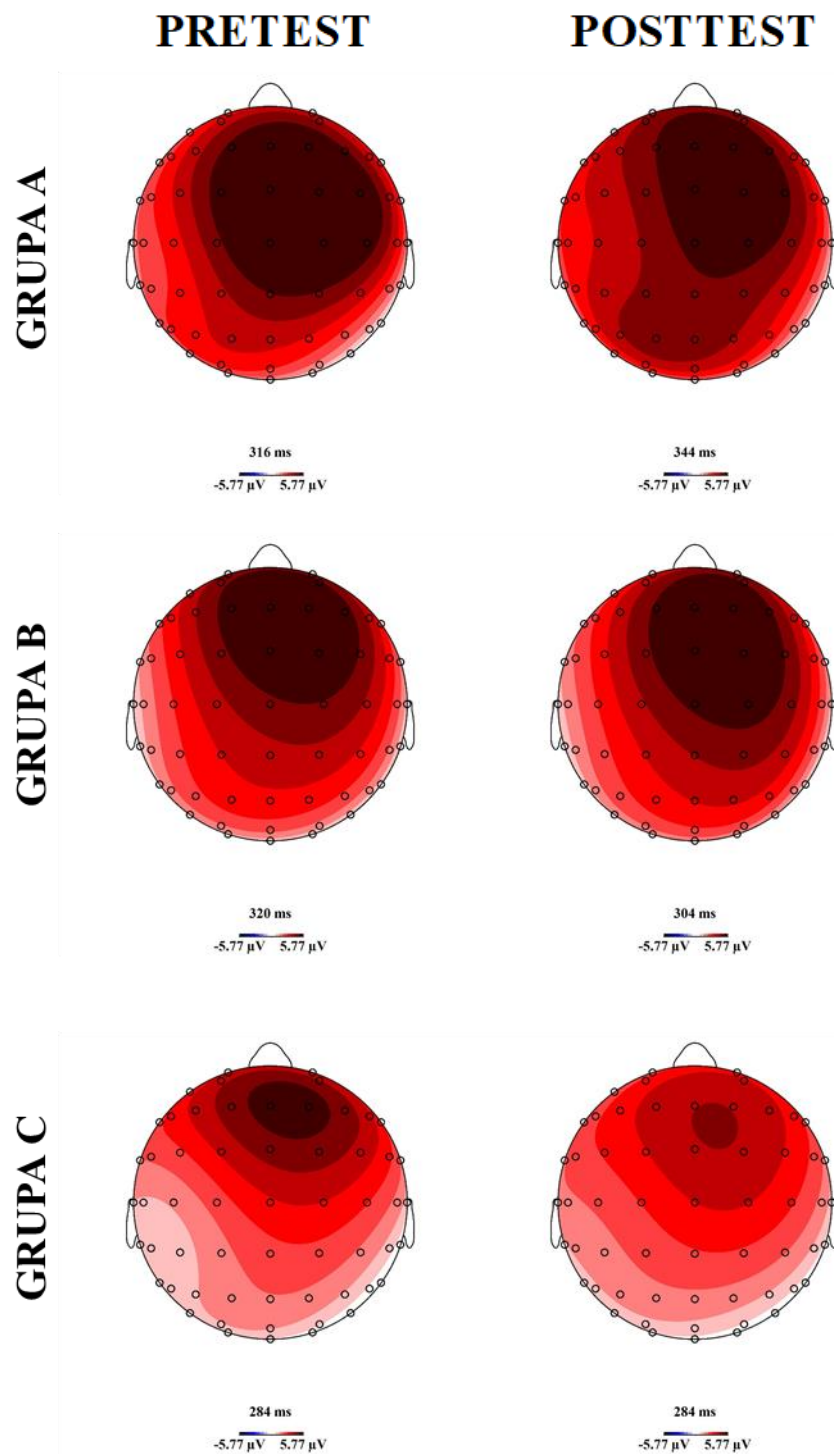
Przy użyciu testu Wilcoxon'a porównano wyniki *pretest* z wynikami *posttest*. Wykonane analizy nie wykazały różnic istotnych statystycznie w żadnej z trzech analizowanych grup. Szczegółowe wyniki przedstawia Tabela 42, natomiast przebieg uzyskanych potencjałów przedstawia Rycina 43, a topografie Rycina 44.

Tabela 42 Wyniki testu Wilcoxon'a dla amplitudy potencjału P300 w podziale na poszczególne grupy i analizowane elektrody.

Grupa	n	Elektroda		
		Fz	Cz	Pz
Eksperymentalna A	7	$Z = -1,183$ $p = 0,237$	$Z = -0,169$ $p = 0,866$	$Z = -0,676$ $p = 0,499$
Kontrolna aktywna B	12	$Z = -0,235$ $p = 0,814$	$Z = -0,078$ $p = 0,937$	$Z = -1,020$ $p = 0,308$
Kontrolna nieaktywna C	12	$Z = -1,569$ $p = 0,117$	$Z = -0,157$ $p = 0,875$	$Z = -1,255$ $p = 0,209$



Ryc. 43 Przebieg potencjałów wywołanych z uwzględnieniem potencjału P300 na analizowanych elektrodach w **warunku 1–wstecz** w pomiarach *pretest* (przebieg potencjału w kolorze czarnym) i *posttest* (przebieg potencjału w kolorze czerwonym) w podziale na poszczególne grupy: A – eksperymentalna, B – kontrolna aktywna, C – kontrolna nieaktywna.



Ryc. 44 Topografie zarejestrowanego potencjału P300 w warunku 1-wstecz w pomiarach *pretest* oraz *posttest* w trzech grupach: A – eksperymentalnej; B – kontrolnej aktywnej oraz C – kontrolnej nieaktywnej.

B) Warunek 2–wstecz

Wskaźnik: latencja potencjału P300

Wstępne porównania międzygrupowe nr 12.5 (na podstawie wyników *pretest*)

Analiza wskaźnika nie wykazała istotnych statystycznie różnic pomiędzy trzema grupami (test Kruskala-Wallisa). Dokładne wyniki umieszczone są w Tabeli 43.

Tabela 43 Podsumowanie wyników porównań międzygrupowych dla poszczególnych elektrod.

Elektroda	<i>H</i>	<i>df</i>	<i>p</i>
Fz	0,862	2	0,650
Cz	1,108	2	0,575
Pz	4,103	2	0,129

Porównania wewnątrzgrupowe nr 12.6 (*pretest vs. posttest*)

Stosując test Wilcoxon, porównano wyniki *pretest* z wynikami *posttest*. Przeprowadzona w ten sposób analiza wykazała jedynie istotną różnicę w grupie kontrolnej nieaktywnej w przypadku elektrody Cz – w pomiarze *posttest* latencja potencjału P300 wydłużyła się w porównaniu do pomiaru *pretest*. Pozostałe porównania były nieistotne statystycznie. Szczegółowe wyniki analiz przedstawia Tabela 44, natomiast przebieg uzyskanych potencjałów znajduje się na Rycinie 45. Topografie obrazuje Rycina 46.

Tabela 44 Wyniki testu Wilcoxon dla latencji potencjału P300 w podziale na poszczególne grupy i analizowane elektrody.

Grupa	n	Elektroda		
		Fz	Cz	Pz
Eksperymentalna A	6	<i>Z</i> = -0,420 <i>p</i> = 0,674	<i>Z</i> = -0,105 <i>p</i> = 0,917	<i>Z</i> = 0,000 <i>p</i> = 1,000
Kontrolna aktywna B	12	<i>Z</i> = -1,339 <i>p</i> = 0,181	<i>Z</i> = -0,461 <i>p</i> = 0,645	<i>Z</i> = -0,432 <i>p</i> = 0,666
Kontrolna nieaktywna C	11	<i>Z</i> = -1,334 <i>p</i> = 0,182	<i>Z</i> = -2,584 <i>p</i> = 0,010	<i>Z</i> = -0,154 <i>p</i> = 0,878

Wskaźnik: amplituda potencjału P300

Wstępne porównania międzygrupowe nr 12.7 (na podstawie wyników *pretest*)

Przeprowadzone analizy statystyczne (test Kruskala-Wallisa) nie wykazały istotnych różnic pomiędzy trzema analizowanymi grupami w latencji potencjału P300. Dokładne wyniki umieszczone są w Tabeli 45.

Tabela 45 Podsumowanie wyników porównań międzygrupowych dla poszczególnych elektrod.

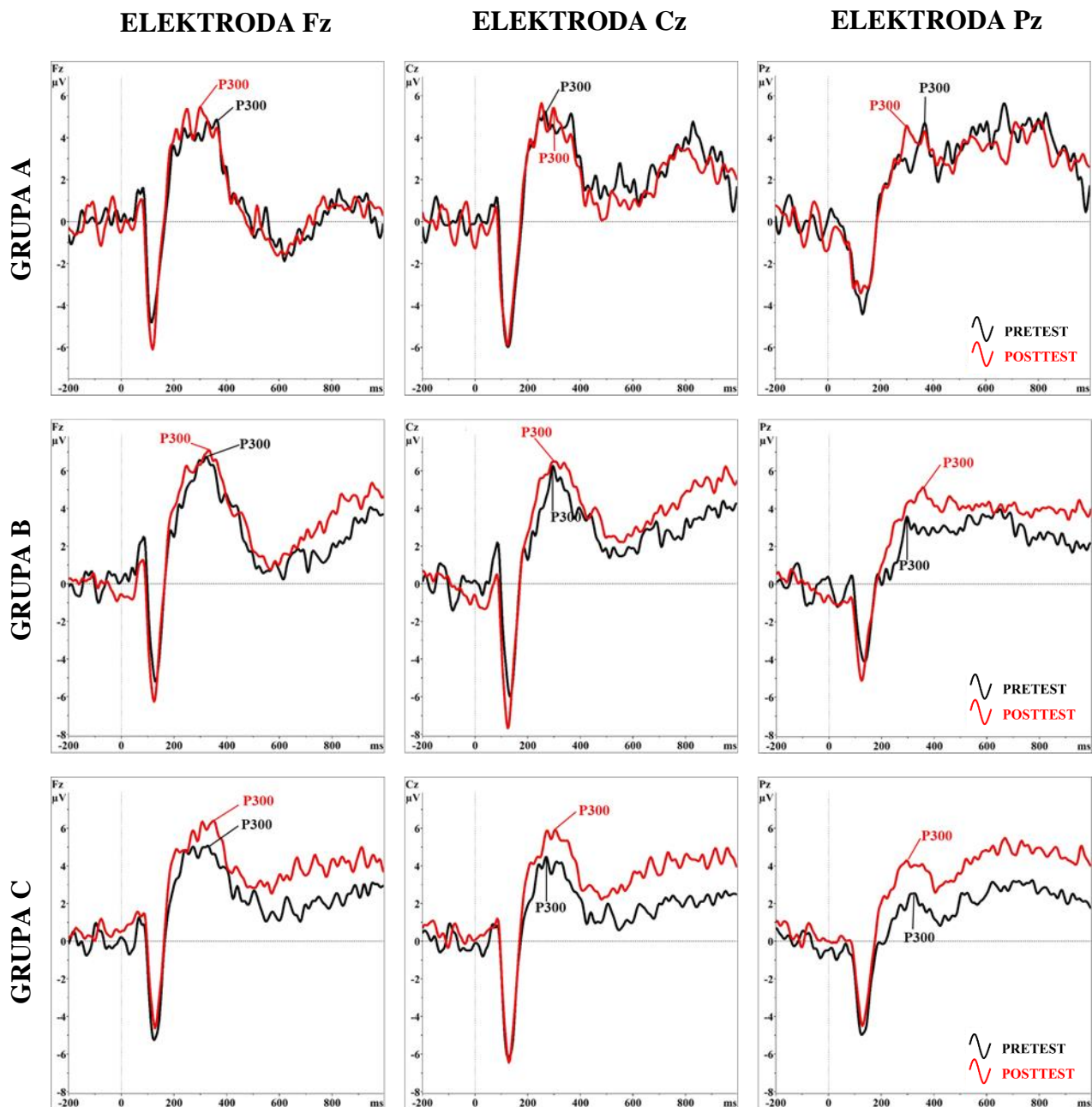
Elektroda	<i>H</i>	<i>df</i>	<i>p</i>
Fz	4,103	2	0,278
Cz	2,560	2	0,494
Pz	1,412	2	0,514

Porównania wewnątrzgrupowe nr 12.8 (*pretest vs. posttest*)

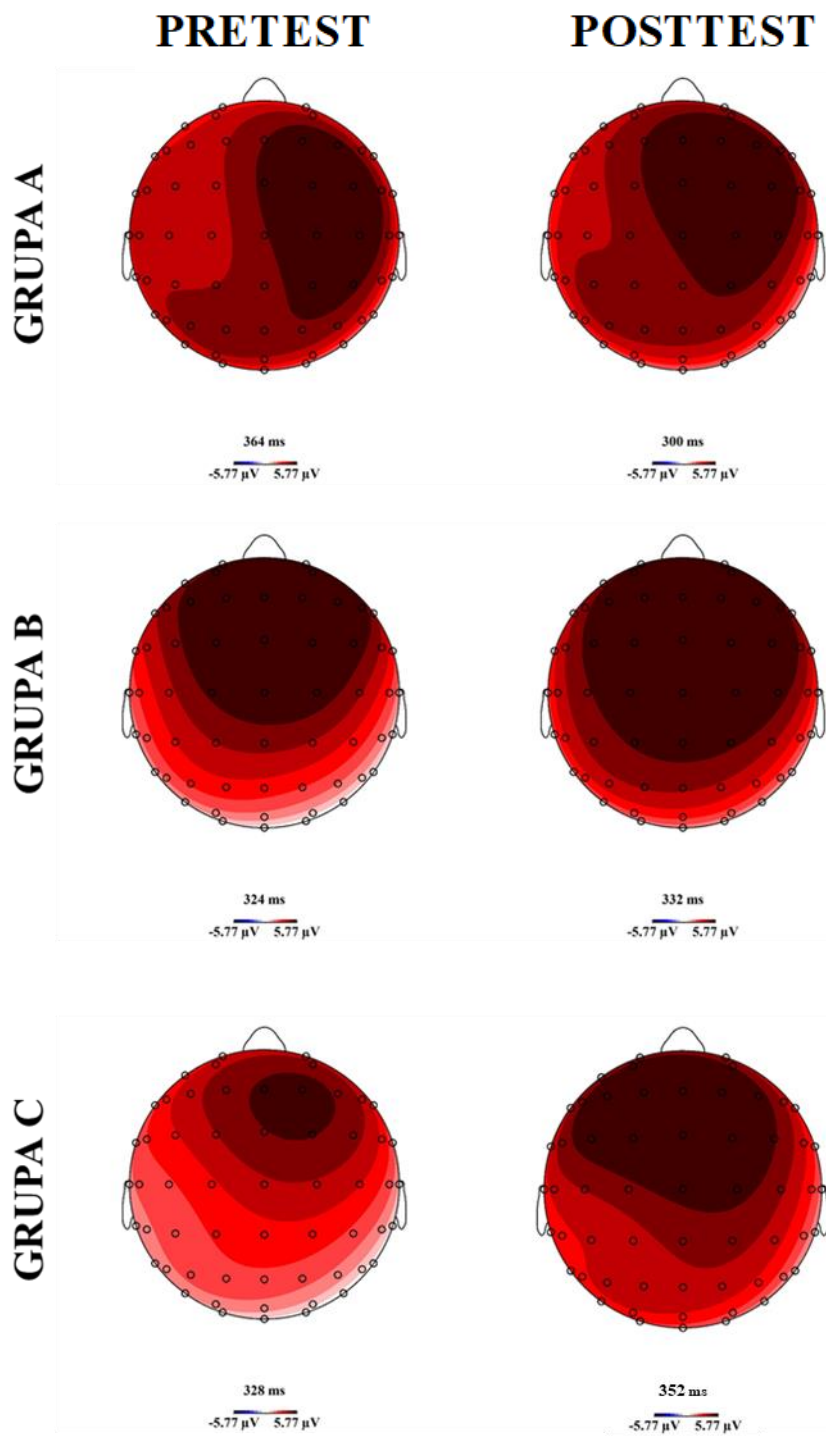
Przy użyciu Wilcoxon porównano wyniki *pretest* z wynikami *posttest*. Uzyskane wyniki nie wskazują na występowanie zmian istotnych statystycznie w żadnej z trzech analizowanych grup. Szczegółowe wyniki analiz statystycznych przedstawia poniższa Tabela 46. Przebieg uzyskanych potencjałów obrazuje Rycina 45, natomiast topografie prezentuje Rycina 46.

Tabela 46 Wyniki testu Wilcoxon dla amplitudy potencjału P300 w podziale na poszczególne grupy i analizowane elektrody.

Grupa	n	Elektroda		
		Fz	Cz	Pz
Eksperymentalna A	6	Z = -0,314 <i>p</i> = 0,674	Z = -0,943 <i>p</i> = 0,345	Z = -0,524 <i>p</i> = 0,600
Kontrolna aktywna B	12	Z = -0,078 <i>p</i> = 0,937	Z = -0,784 <i>p</i> = 0,433	Z = -1,961 <i>p</i> = 0,051
Kontrolna nieaktywna C	11	Z = -1,334 <i>p</i> = 0,182	Z = -1,245 <i>p</i> = 0,213	Z = -0,978 <i>p</i> = 0,328



Ryc. 45 Przebieg potencjałów wywołanych z uwzględnieniem potencjału P300 na analizowanych elektrodach w **warunku 2-wstecz** w pomiarach *pretest* (przebieg potencjału w kolorze czarnym) i *posttest* (przebieg potencjału w kolorze czerwonym) w podziale na poszczególne grupy: A – eksperymentalna, B – kontrolna aktywna, C – kontrolna nieaktywna.



Ryc. 46 Topografie zarejestrowanego potencjału P300 w warunkach 2-wstecz w pomiarach *pretest* oraz *posttest* w trzech grupach: A – eksperymentalnej; B – kontrolnej aktywnej oraz C – kontrolnej nieaktywnej.

C) Wskaźnik: Amplituda obciążenia poznawczego (*pretest vs. posttest*)
(opis wskaźnika – Podrozdział 3.6.2.1., str. 119)

Statystyki opisowe analizowanej zmiennej przedstawia Tabela 47.

Tabela 47 Średnie i odchylenia standardowe analizowanych zmiennych.

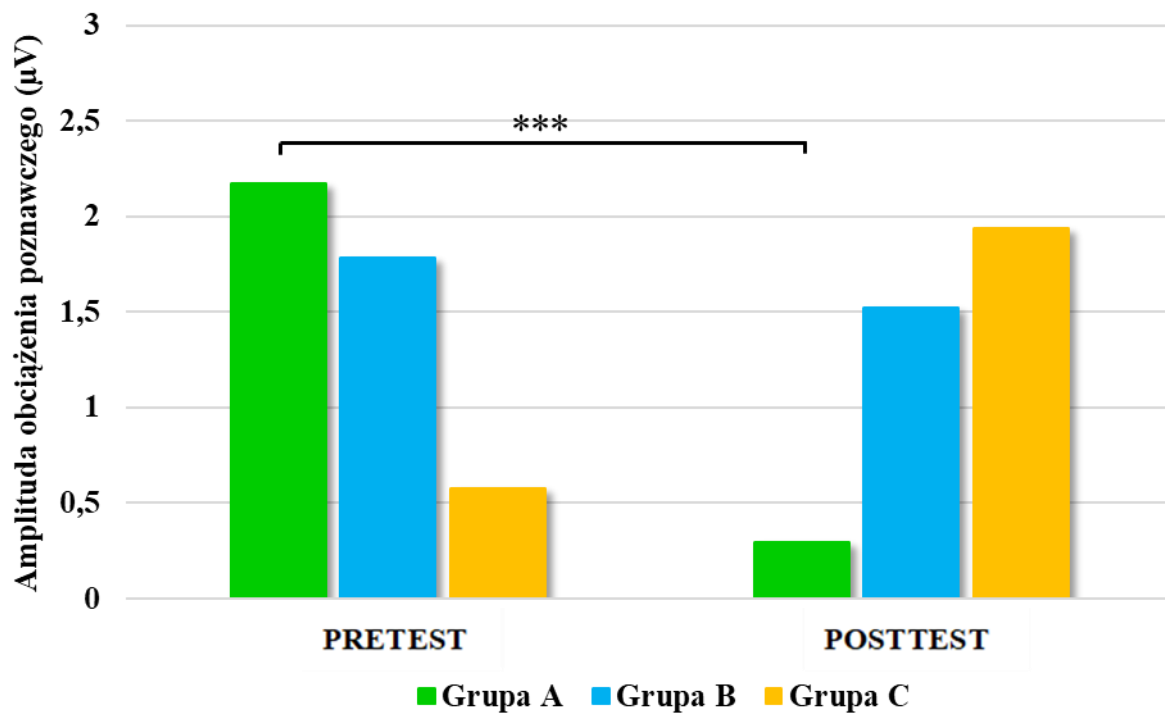
Grupa	n	Amplituda obciążenia poznawczego (μV) na elektrodzie Fz			
		<i>M (SD)</i>			
		Warunek 1–wstecz		Warunek 2–wstecz	
		pretest	posttest	pretest	posttest
Eksperymentalna A	7	2,18 (5,30)	0,30 (6,87)	-0,19 (4,22)	-0,59 (6,25)
Kontrolna aktywna B	12	1,78 (4,35)	1,53 (4,76)	2,71 (4,58)	2,38 (4,49)
Kontrolna nieaktywna C	12	0,58 (2,41)	1,94 (3,08)	1,58 (3,64)	2,26 (3,44)

Dwuczynnikowa analiza wariancji nr 13.1 (warunek 1–wstecz)

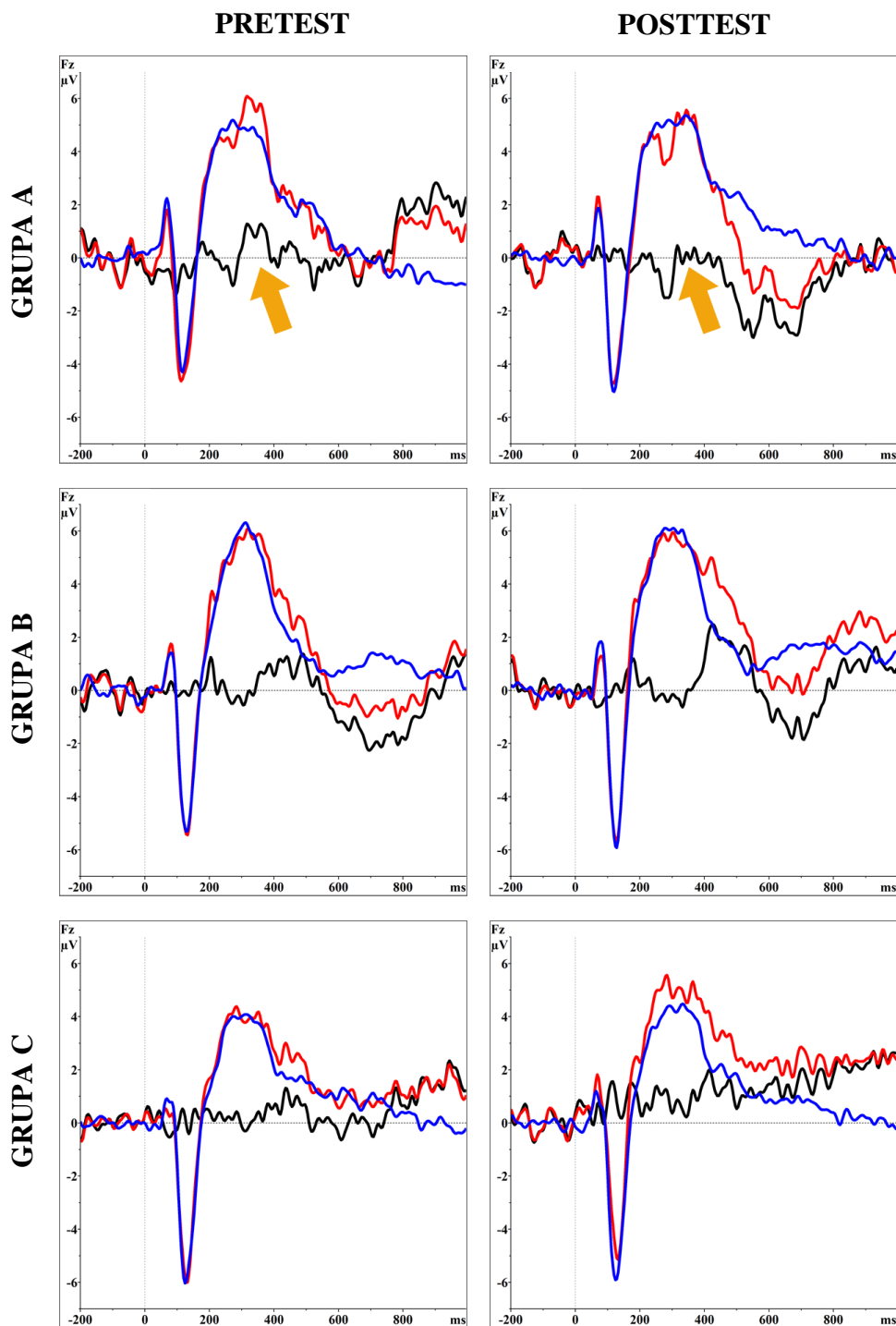
Wykazano istotną interakcję Pomiaru i Grupy: $F(2, 28) = 4,113$; $p = 0,027$; $\eta^2 = 0,227$.

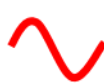


Zarówno w pomiarze *pretest* jaki i *posttest* nie wykazano różnic istotnych statystycznie w zakresie wskaźnika Amplitudy obciążenia poznawczego pomiędzy trzema analizowanymi grupami (poprawka dla porównań wielokrotnych Bonferroniego).

Wyłącznie w grupie eksperymentalnej wykazano istotnie niższą amplitudę obciążenia poznawczego w pomiarze *posttest* w porównaniu do pomiaru *pretest* ($p = 0,049$). W przypadku obu grup kontrolnych nie wykazano istotnych różnic (grupa kontrolna aktywna: $p = 0,716$; grupa kontrolna nieaktywna: $p = 0,060$). Średnie i odchylenia standardowe uzyskane w poszczególnych pomiarach umieszczono w Tabeli 47, a graficzna prezentacja wyników przedstawiona została na Rycinie 47 oraz Rycinie 48.



Ryc. 48 Średnie wartości amplitudy obciążenia poznawczego uzyskane w obu pomiarach *pretest* i *posttest* w grupach: A – eksperymentalnej; B – kontrolnej aktywnej; C – kontrolnej nieaktywnej. Istotność statystyczną obrazującą efekt interakcji: ‘pomiar x grupa’ oznaczono gwiazdkami: *** $p = 0,049$.



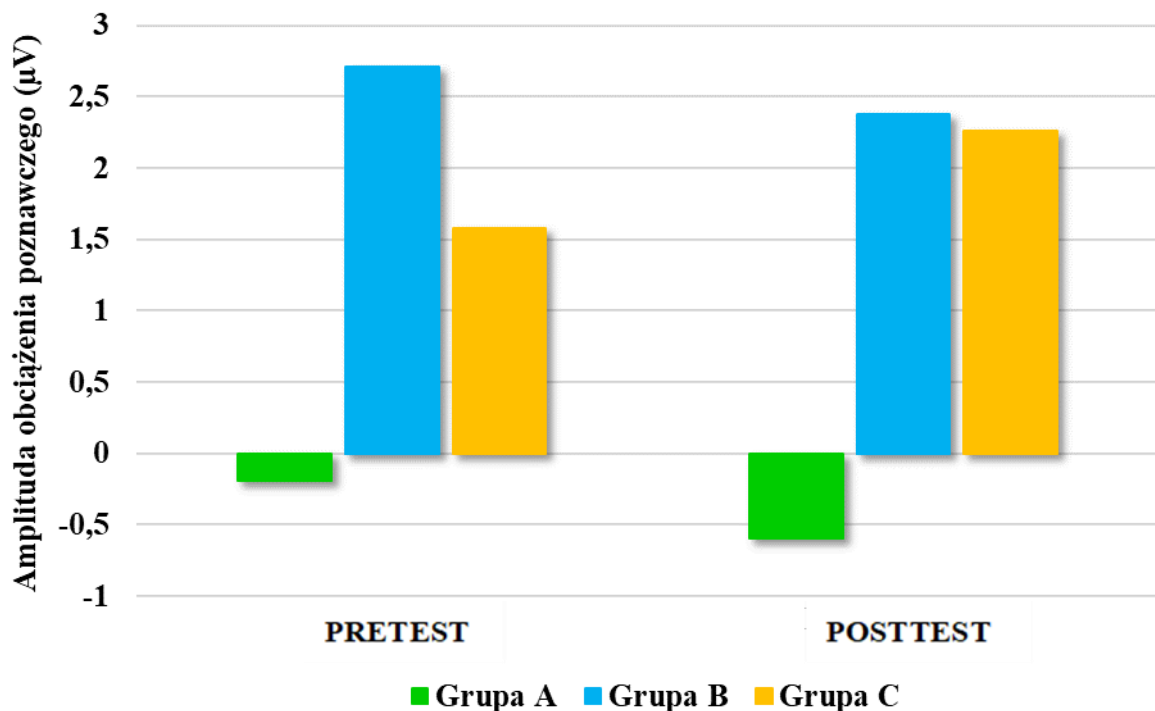
 potencjały wywołane w odpowiedzi na bodziec docelowy
  potencjały wywołane w odpowiedzi na bodziec dystrykcyjny
  fala odjęta

Ryc. 49 Przebieg potencjałów wywołanych a także przebieg fali odjętej obrazującej obciążenie poznawcze na elektrodzie Fz w warunku 1-wstecz w pomiarach *pretest* i *posttest* w podziale na poszczególne grupy: A – eksperymentalna, B – kontrolna aktywna, C – kontrolna nieaktywna.

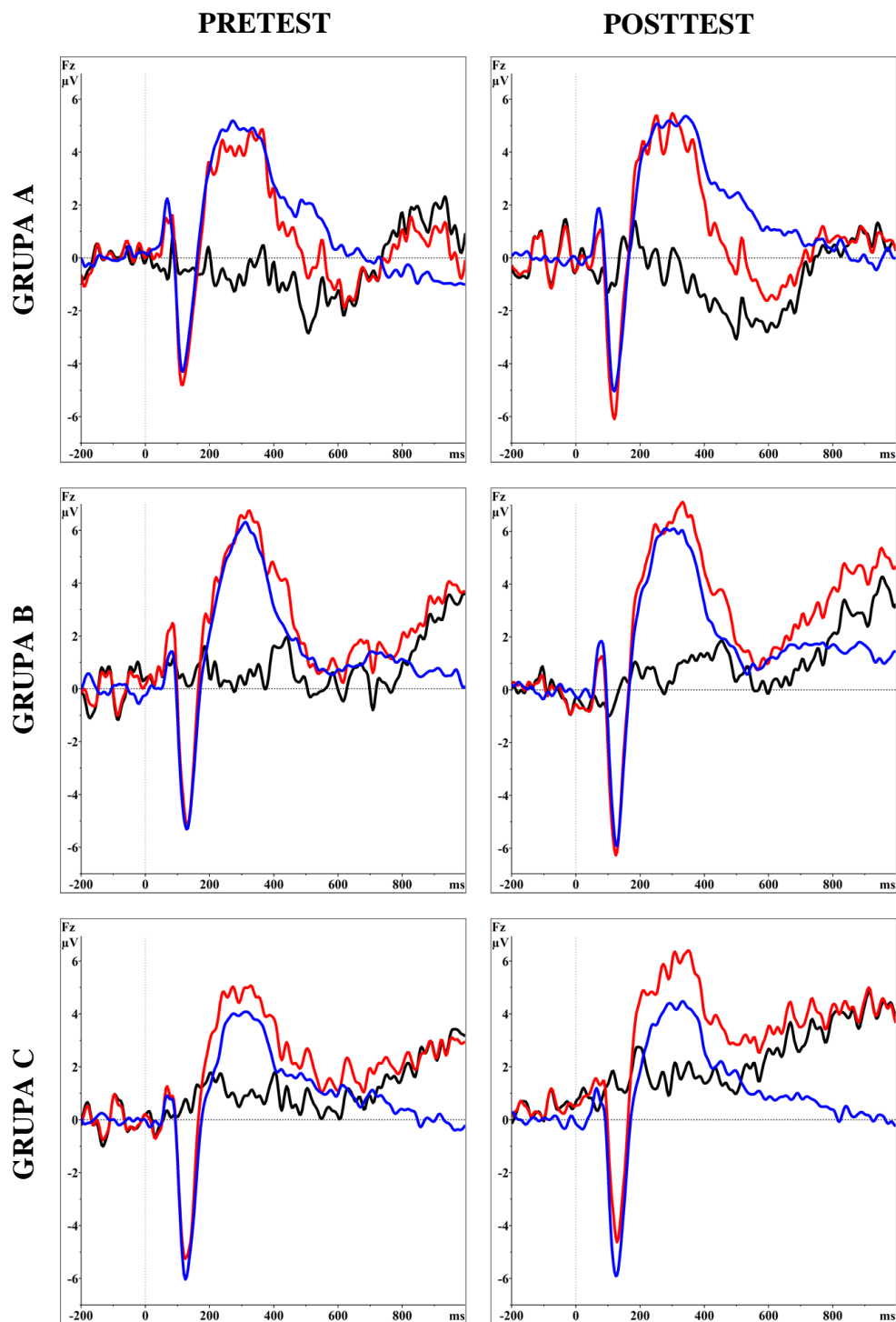
Dwuczynnikowa analiza wariancji nr 13.2 (warunek 2–wstecz)




Przeprowadzona analiza nie wykazała istotnych różnic w zakresie analizowanych zmiennych (efekt główny Pomiaru: $F(2, 28) = 0,001$; $p = 0,979$; $\eta^2 < 0,001$; interakcja Pomiaru oraz Grupy: $F(2, 28) = 0,297$; $p = 0,746$; $\eta^2 < 0,021$).

Średnie i odchylenia standardowe uzyskane w poszczególnych pomiarach przedstawiono w Tabeli 47, a graficzną prezentację wyników obrazują Ryciny 49 oraz 50.



Ryc. 50 Średnie wartości amplitudy obciążenia poznawczego uzyskane w obu pomiarach *pretest* i *posttest* w grupach: A – eksperymentalnej; B – kontrolnej aktywnej; C – kontrolnej nieaktywnej.



 potencjały wywołane w odpowiedzi na bodziec docelowy
  potencjały wywołane w odpowiedzi na bodziec dystrykcyjny
  fala odjęta

Ryc. 50 Przebieg potencjałów wywołanych a także przebieg fali odjętej obrazującej obciążenie poznawcze na elektrodzie Fz w warunku 2-wstecz w pomiarach *pretest* i *posttest* w podziale na poszczególne grupy: A – eksperymentalna, B – kontrolna aktywna, C – kontrolna nieaktywna.

PODSUMOWANIE
WPLYW TRENINGÓW NA WYKONANIE ZADANIA
SŁUCHOWEJ PAMIĘCI ROBOCZEJ
– WSKAŹNIKI ELEKTROFIZJOLOGICZNE

Po treningu:

- w żadnym z obu warunków zadania nie zaobserwowano zmian w zakresie latencji oraz amplitudy potencjału P300 – trening nie wpłynął istotnie na parametry analizowanego potencjału P300.
- w warunku 1–wstecz zaobserwowano po treningu obniżenie amplitudy wskaźnika obciążenia poznawczego tylko w grupie eksperymentalnej.

4.3.2. Procedura 2 – Porównywanie długości trwania bodźców słuchowych – badanie elektrofizjologiczne

Analizy statystyczne przeprowadzono na dwóch wyodrębnionych wskaźnikach elektrofizjologicznych: potencjalne MMN powstałym na fali odjętej (por. Podrozdział 3.2.2.4.2., str. 94), który obrazuje detekcję zmiany w prowadzonej stymulacji (Näätänen i wsp., 2007) oraz potencjale N200, który pojawia się w odpowiedzi na bodźce nieznanne lub rzadko prezentowane (Patel i Azzam, 2005).

4.3.2.1. Wpływ poziomu trudności zadania

Wstępna analiza miała na celu porównanie odpowiedzi elektrofizjologicznej mózgu na zastosowane trzy poziomy trudności zadania (por. Podrozdział 3.2.2.2., str. 88), tj.: łatwy, średniotrudny oraz trudny. Została ona przeprowadzona na wynikach z pomiaru *pretest* dla wszystkich osób badanych łącznie ($n = 33$). Na podstawie literatury (Wang i wsp., 2005; Mahajan i wsp., 2011) oraz inspekcji wzrokowej zarejestrowanych potencjałów, wykonano analizy statystyczne na elektrodzie Fz, wykorzystując amplitudę potencjału wywołanego.

Jednoczynnikowa analiza wariancji nr 14.1

Statystyki opisowe analizowanej zmiennej przedstawia Tabela 48.

Tabela 48 Średnie i odchylenia standardowe analizowanej zmiennej.

Zmienna	Warunek zadania	<i>M (SD)</i>
Amplituda oczekiwanego potencjału MMN na elektrodzie Fz	Łatwy	-2,41 (1,08)
	Średniotrudny	-1,84 (1,19)
	Trudny	-1,72 (1,42)

Przeprowadzona analiza poziomów trudności pozwoliła stwierdzić, że występują różnice istotne statystycznie pomiędzy testowanymi warunkami zadania: $F(2, 64) = 4,119$; $p = 0,021$; $\eta^2 = 0,114$). W kolejnym kroku wykonano analizy *post hoc* (z uwzględnieniem poprawki Bonferroniego). Szczegółowe wyniki przedstawia poniższa Tabela 49:

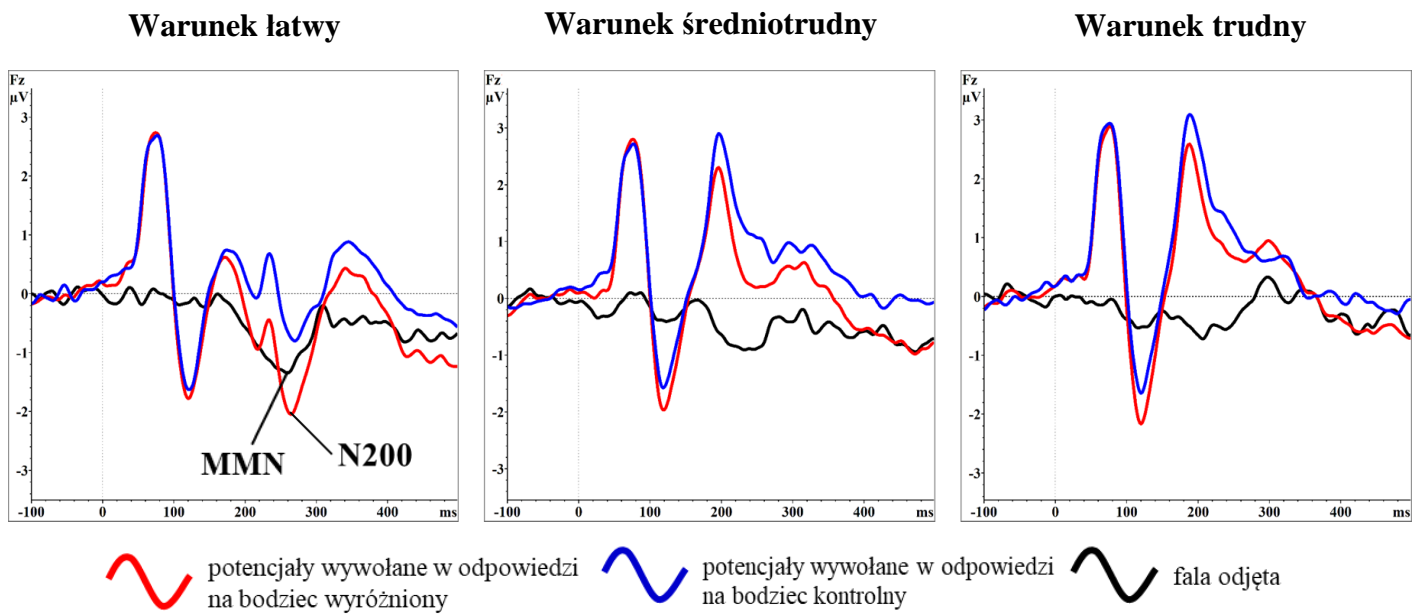
Tab. 49 Wyniki testu *post hoc* Bonferroniego dla porównań amplitudy potencjału wywołanego w trzech poziomach trudności zadania.

Porównywane warunki	<i>p</i>
Łatwy – Średniotrudny	0,050
Łatwy – Trudny	0,049
Średniotrudny – Trudny	1,000

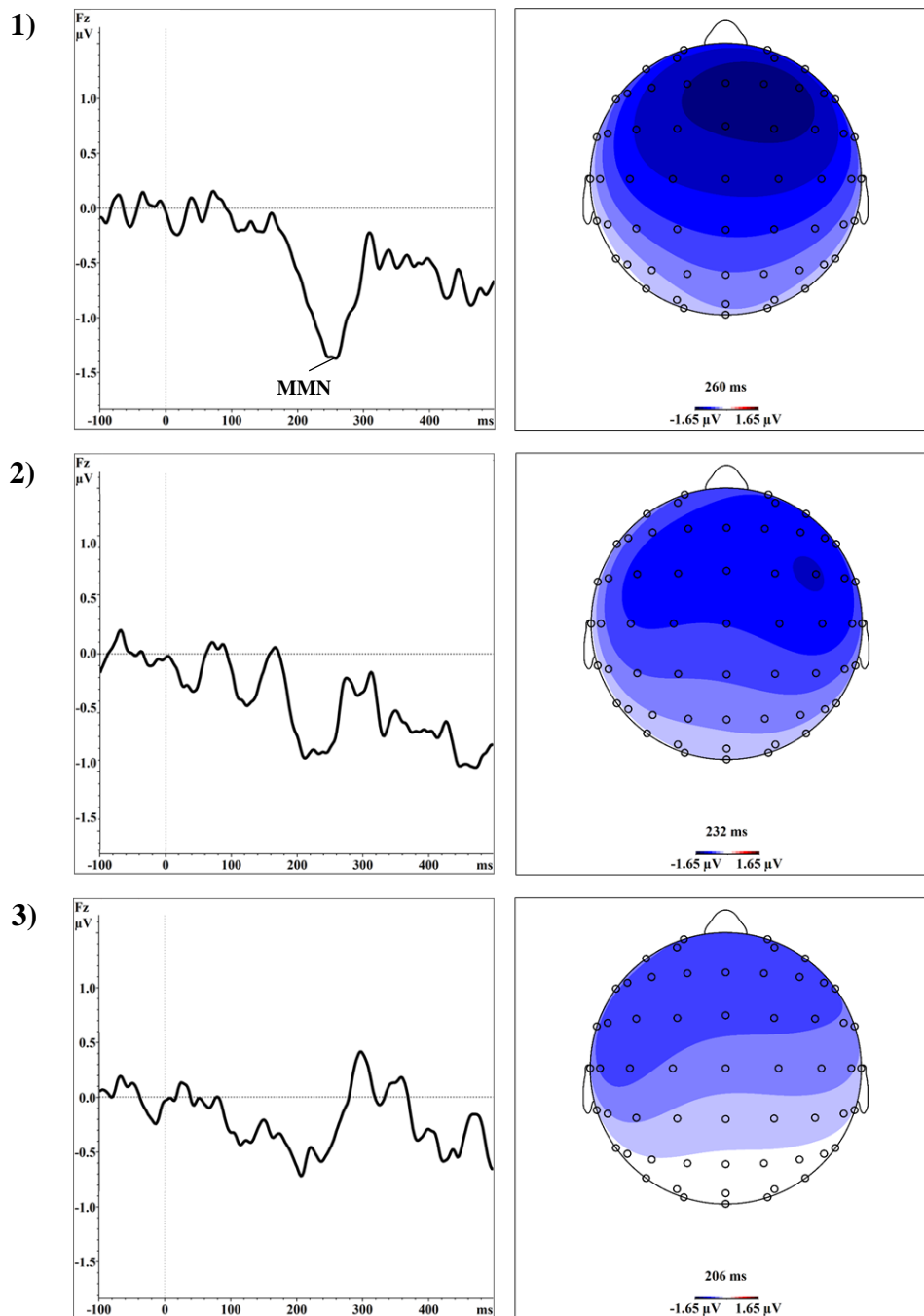
Uzyskane wyniki wykazały, że amplituda potencjału wywołanego w warunku łatwym jest istotnie niższa niż w warunku trudnym i średniotrudnym. Nie było natomiast różnic pomiędzy amplitudami w warunkach średniotrudnym i trudnym.

Na podstawie powyższej analizy oraz przeprowadzonej inspekcji wzrokowej stwierdzono, że tylko w warunku łatwym uwidocznił się potencjał MMN. W związku z tym, analizy efektywności przeprowadzonych treningów (tj. porównania *pretest vs. posttest*) zostaną wykonane tylko w warunku łatwym. Również potencjał N200 został zaobserwowany wyłącznie w warunku łatwym. Biorąc powyższe pod uwagę, również w przypadku tego

potencjału, zdecydowano się przeprowadzić analizy tylko w warunku łatwym. Graficzną ilustrację uzyskanych wyników prezentują Ryciny 51 oraz 52.



Ryc. 51 Przebieg potencjałów wywołanych w odpowiedzi na bodziec wyróżniony oraz kontrolny, a także przebieg fali odjętej na przykładzie elektrody Fz.



Ryc. 52 Przebieg fali odjętej (na przykładzie elektrody Fz) oraz topografia potencjału wywołanego w warunkach **1)** łatwym (widoczny potencjał MMN); **2)** średniotrudnym oraz **3)** trudnym (w celu lepszej wizualizacji danych zmieniono skalę amplitudy w stosunku do skali zaprezentowanej na Ryc. 51).

4.3.2.2. Wpływ treningu eksperymentalnego i kontrolnego na wykonanie zadania

Potencjał MMN

Wskaźnik: latencja

Wstępne porównania międzygrupowe (na podstawie wyników *pretest*)

W przypadku większości elektrod nie wykazano istotnych różnic pomiędzy trzema badanymi grupami w latencji potencjału MMN. Sporadyczne, istotne statystycznie różnice zaobserwowano w przypadku elektrod F3 oraz FC1. Szczegółowe wyniki tych porównań prezentuje poniższa Tabela 50.

Tabela 50 Podsumowanie wyników porównań międzygrupowych dla poszczególnych elektrod.

Test Kruskala-Wallisa	Analizowana elektroda	Wyniki
nr 15.1	F3	$H(2) = 6,594; p = 0,037$
nr 15.3	Fz	$H(2) = 5,632; p = 0,060$
nr 15.5	F4	$H(2) = 0,050; p = 0,975$
nr 15.7	FC1	$H(2) = 7,209; p = 0,027$
nr 15.9	FCz	$H(2) = 2,312; p = 0,315$
nr 15.11	FC2	$H(2) = 3,396; p = 0,183$
nr 15.13	C3	$H(2) = 0,633; p = 0,729$
nr 15.15	Cz	$H(2) = 2,464; p = 0,292$
nr 15.17	C4	$H(2) = 2,209; p = 0,331$

W przypadku uzyskania wyników istotnych statystycznie wykonano testy *post hoc* Dunna. Porównania parami wykonane w poszczególnych grupach wykazały, że w grupie kontrolnej aktywnej badani uzyskali dłuższą latencję potencjału MMN:

- na elektrodzie F3 w porównaniu do grupy eksperymentalnej ($Z = -9,618; p = 0,019$) oraz do grupy kontrolnej nieaktywnej ($Z = 8,182; p = 0,040$);
- na elektrodzie FC1 w porównaniu do grupy eksperymentalnej ($Z = -9,758; p = 0,018$) oraz do grupy kontrolnej nieaktywnej ($Z = 9,004; p = 0,026$).

Porównania wewnątrzgrupowe (*pretest vs. posttest*)

Stosując test Wilcoxon, porównano wyniki *pretest* z wynikami *posttest*. Wyniki uzyskanych analiz statystycznych nie wykazały istotnych różnic w grupie eksperymentalnej oraz w grupie kontrolnej aktywnej w zakresie latencji potencjału MMN. W grupie kontrolnej nieaktywnej zaobserwowano najprawdopodobniej przypadkowe wydłużenie latencji potencjału MMN na elektrodach F4 oraz Fz. Szczegółowe wyniki analiz statystycznych przedstawia Tabela 51, natomiast przebieg uzyskanych potencjałów oraz topografii prezentują Ryciny 53 i 54.

Tabela 51 Wyniki testu Wilcoxon dla latencji potencjału MMN w podziale na poszczególne grupy i analizowane elektrody.

Test Wilcoxon	Analizowana elektroda	Grupa		
		Eksperymentalna A	Kontrolna aktywna B	Kontrolna nieaktywna C
nr 15.2	F3	Z = -1,582 p = 0,114	Z = -0,178 p = 0,859	Z = -1,778 p = 0,075
nr 15.4	Fz	Z = -1,684 p = 0,092	Z = -0,589 p = 0,556	Z = -2,001 p = 0,045
nr 15.6	F4	Z = -1,423 p = 0,155	Z = -0,314 p = 0,754	Z = -2,073 p = 0,038
nr 15.8	FC1	Z = -1,380 p = 0,168	Z = -0,196 p = 0,844	Z = -1,557 p = 0,120
nr 15.10	FCz	Z = -0,714 p = 0,475	Z = -0,118 p = 0,906	Z = -1,778 p = 0,075
nr 15.12	FC2	Z = -1,125 p = 0,260	Z = -0,235 p = 0,814	Z = -0,801 p = 0,423
nr 15.14	C3	Z = -1,580 p = 0,114	Z = -1,245 p = 0,213	Z = -0,801 p = 0,423
nr 15.16	Cz	Z = -0,663 p = 0,507	Z = -0,707 p = 0,480	Z = -1,824 p = 0,068
nr 15.18	C4	Z = -0,816 p = 0,415	Z = -0,549 p = 0,583	Z = -1,423 p = 0,155

Wskaźnik: amplituda

Wstępne porównania międzygrupowe (na podstawie wyników *pretest*)

Nie wykazano różnic istotnych statystycznie pomiędzy trzema grupami w amplitudzie potencjału MMN dla żadnej z badanych elektrod. Szczegółowe wyniki prezentuje poniższa Tabela 52.

Tabela 52 Podsumowanie wyników porównań międzygrupowych dla poszczególnych elektrod.

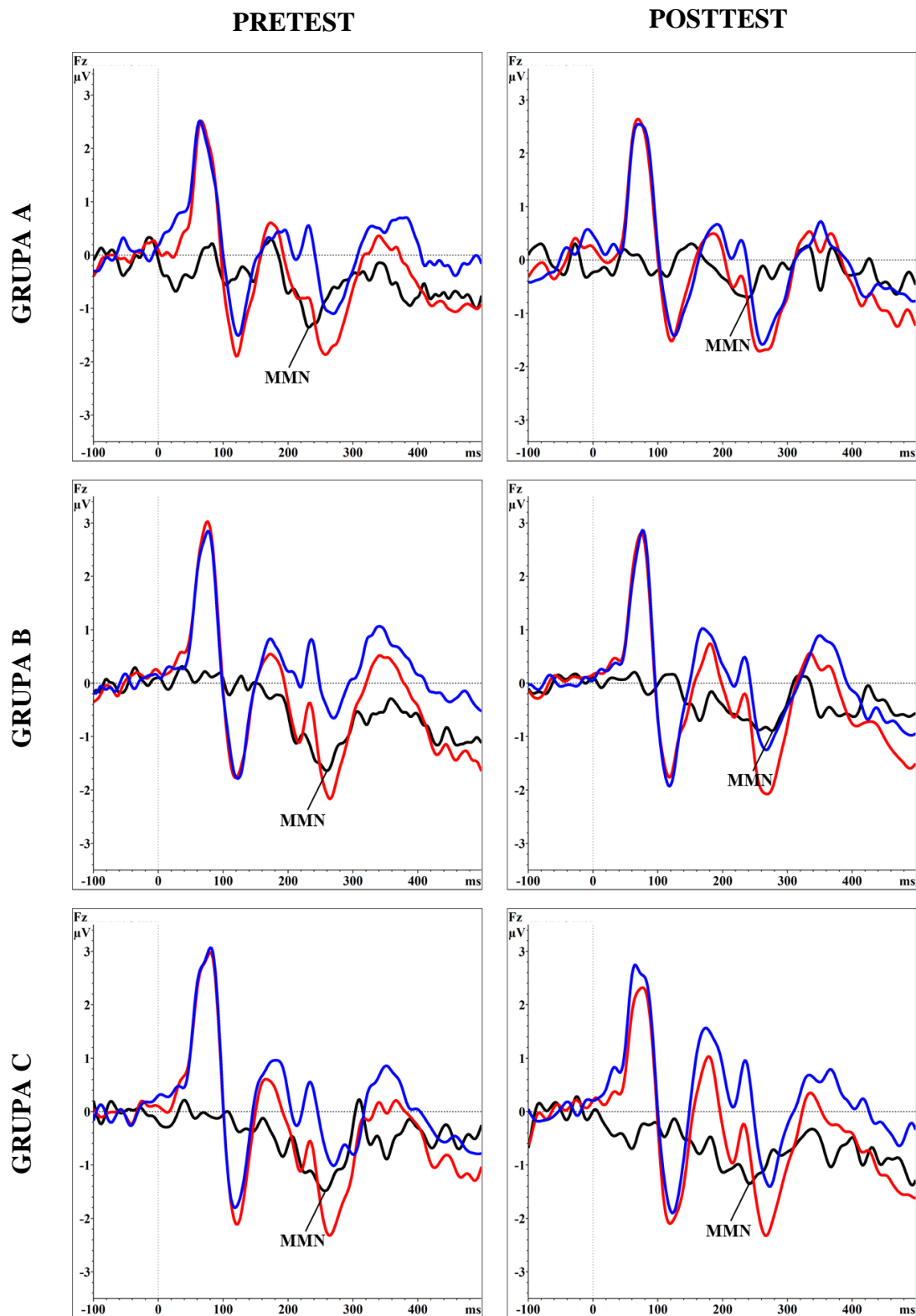
Test Kruskala-Wallis	Analizowana elektroda	Wyniki
nr 16.1	F3	$H(2) = 0,168; p = 0,919$
nr 16.3	Fz	$H(2) = 0,024; p = 0,988$
nr 16.5	F4	$H(2) = 0,672; p = 0,715$
nr 16.7	FC1	$H(2) = 0,051; p = 0,975$
nr 16.9	FCz	$H(2) = 0,078; p = 0,962$
nr 16.11	FC2	$H(2) = 0,490; p = 0,783$
nr 16.13	C3	$H(2) = 0,216; p = 0,898$
nr 16.15	Cz	$H(2) = 0,514; p = 0,774$
nr 16.17	C4	$H(2) = 0,474; p = 0,962$




Porównania wewnątrzgrupowe (*pretest vs. posttest*)

W grupie eksperymentalnej w pomiarze *posttest* uzyskano istotnie niższą amplitudę potencjału MMN w porównaniu do pomiaru *pretest*. Przeprowadzone analizy nie wykazały istotnych różnic w obu grupach kontrolnych w zakresie amplitudy potencjału MMN. Szczegółowe wyniki analiz statystycznych prezentuje Tabela 53, a przebieg uzyskanych potencjałów oraz topografii obrazują Ryciny 53 i 54.

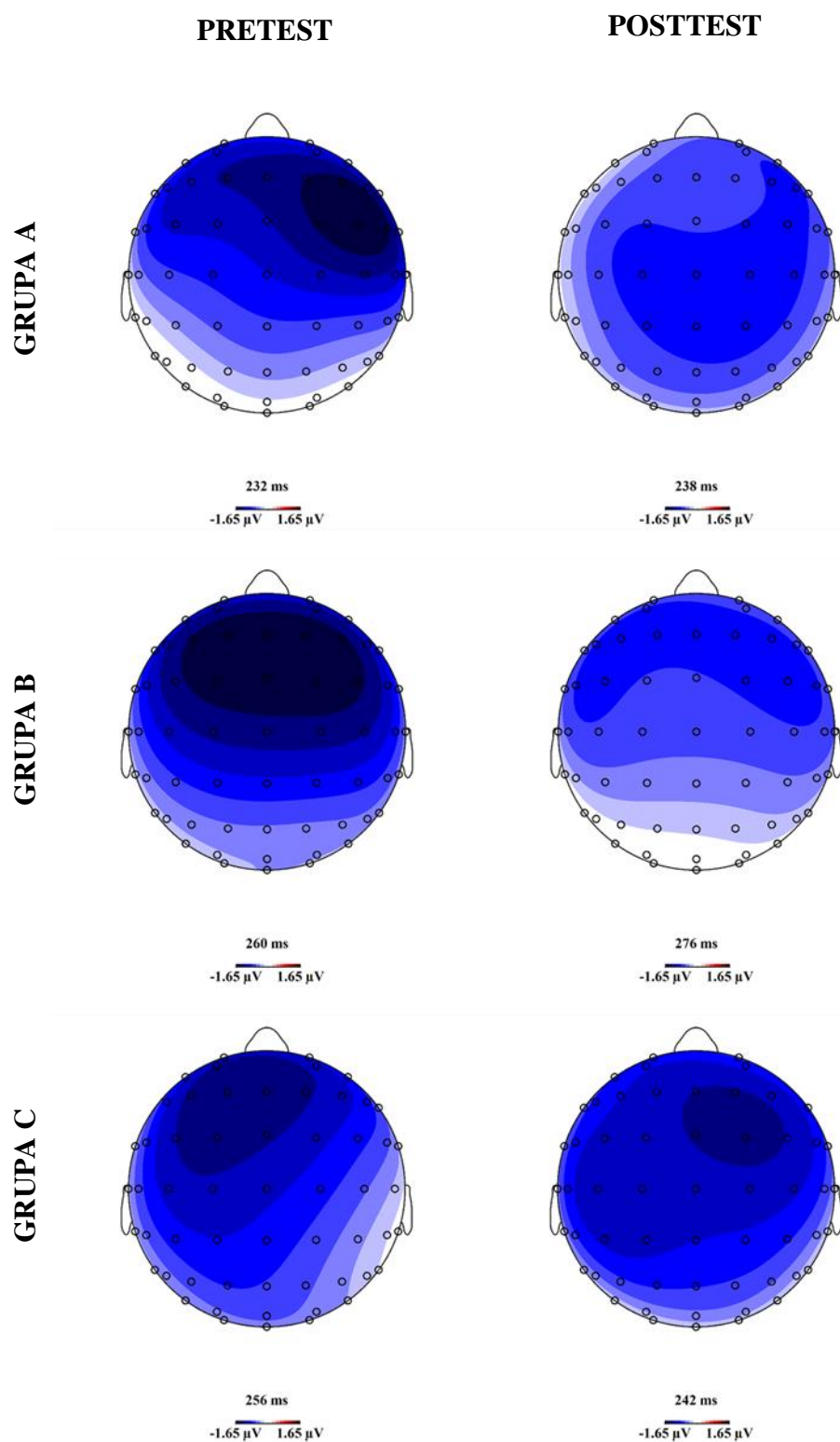
Tabela 53 Wyniki testu Wilcoxon dla amplitudy potencjału MMN w podziale na poszczególne grupy i analizowane elektrody.

Test Wilcoxon	Analizowana elektroda	Grupa		
		Eksperymentalna A	Kontrolna aktywna B	Kontrolna nieaktywna C
nr 16.2	F3	$Z = -1,478$ $p = 0,139$	$Z = -0,978$ $p = 0,328$	$Z = -0,445$ $p = 0,657$
nr 16.4	Fz	$Z = -2,090$ $p = 0,037$	$Z = -1,334$ $p = 0,182$	$Z = -0,178$ $p = 0,859$
nr 16.6	F4	$Z = -1,599$ $p = 0,110$	$Z = -0,806$ $p = 0,470$	$Z = -0,663$ $p = 0,508$
nr 16.8	FC1	$Z = -1,070$ $p = 0,285$	$Z = -0,784$ $p = 0,433$	$Z = -0,089$ $p = 0,929$
nr 16.10	FCz	$Z = -1,580$ $p = 0,114$	$Z = -0,706$ $p = 0,480$	$Z = -0,356$ $p = 0,722$
nr 16.12	FC2	$Z = -1,886$ $p = 0,059$	$Z = -0,106$ $p = 0,804$	$Z = -0,356$ $p = 0,722$
nr 16.14	C3	$Z = -0,968$ $p = 0,333$	$Z = -0,706$ $p = 0,480$	$Z = -0,178$ $p = 0,859$
nr 16.16	Cz	$Z = -0,357$ $p = 0,721$	$Z = -0,235$ $p = 0,814$	$Z = -0,711$ $p = 0,477$
nr 16.18	C4	$Z = -0,153$ $p = 0,878$	$Z = -0,760$ $p = 0,481$	$Z = -0,800$ $p = 0,424$



 potencjały wywołane w odpowiedzi na bodziec wyróżniony
  potencjały wywołane w odpowiedzi na bodziec kontrolny
  fala odjęta

Ryc. 53 Przebieg potencjałów wywołanych w odpowiedzi na bodziec wyróżniony oraz kontrolny, a także przebieg fali odjętej na przykładzie elektrody Fz w pomiarach *pretest* oraz *posttest*. Tylko w grupie eksperymentalnej odnotowano obniżenie amplitudy potencjału MMN.



Ryc. 54 Topografie potencjału MMN w pomiarach *pretest* oraz *posttest* w trzech grupach: A – eksperymentalnej; B – kontrolnej aktywnej oraz C – kontrolnej nieaktywnej. Uwidocznione w grupie eksperymentalnej A zmiany topografii potencjału MMN są spójne ze zmianami amplitudy potencjału MMN zaprezentowanych na Ryc. 53.

Potencjał N200

Wskaźnik: latencja

Wstępne porównania międzygrupowe (na podstawie wyników *pretest*)

Nie wykazano istotnych statystycznie różnic pomiędzy trzema grupami dla latencji potencjału N200 na żadnej z analizowanych elektrod.

Tabela 54 Podsumowanie wyników porównań międzygrupowych dla poszczególnych elektrod.

Test Kruskala-Wallisa	Analizowana elektroda	Wyniki
nr 17.1	F3	$H(2) = 0,329; p = 0,849$
nr 17.3	Fz	$H(2) = 3,661; p = 0,160$
nr 17.5	F4	$H(2) = 5,158; p = 0,076$
nr 17.7	FC1	$H(2) = 1,912; p = 0,384$
nr 17.9	FCz	$H(2) = 3,187; p = 0,203$
nr 17.11	FC2	$H(2) = 3,984; p = 0,136$
nr 17.13	C3	$H(2) = 1,406; p = 0,495$
nr 17.15	Cz	$H(2) = 0,676; p = 0,713$
nr 17.17	C4	$H(2) = 0,693; p = 0,707$

Porównania wewnątrzgrupowe (*pretest vs. posttest*)

Porównanie wyników *pretest* z wynikami *posttest* przy użyciu testu Wilcoxona nie wykazało różnic istotnych statystycznie z wyjątkiem wydłużenia latencji potencjału N200 na elektrodzie F4 w grupie kontrolnej aktywnej. Szczegółowe wyniki zaprezentowano w Tabeli 55, natomiast przebieg uzyskanego potencjału N200 obrazują Rycina 55 i 56.

Tabela 55 Wyniki testu Wilcoxona dla latencji potencjału N200 w podziale na poszczególne grupy i analizowane elektrody.

Test Wilcoxona	Analizowana elektroda	Grupa		
		Eksperymentalna A	Kontrolna aktywna B	Kontrolna nieaktywna C
nr 17.2	F3	$Z = -0,593$	$Z = -0,491$	$Z = -0,255$

		$p = 0,553$	$p = 0,623$	$p = 0,799$
nr 17.4	Fz	$Z = -0,831$ $p = 0,406$	$Z = -1,616$ $p = 0,106$	$Z = -0,624$ $p = 0,533$
nr 17.6	F4	$Z = -0,847$ $p = 0,397$	$Z = -2,490$ $p = 0,013$	$Z = -0,534$ $p = 0,594$
nr 17.8	FC1	$Z = -0,841$ $p = 0,400$	$Z = -1,732$ $p = 0,083$	$Z = -0,178$ $p = 0,859$
nr 17.10	FCz	$Z = -1,843$ $p = 0,065$	$Z = -1,692$ $p = 0,091$	$Z = -1,276$ $p = 0,202$
nr 17.12	FC2	$Z = -0,905$ $p = 0,366$	$Z = -1,783$ $p = 0,075$	$Z = -1,159$ $p = 0,247$
nr 17.14	C3	$Z = -0,280$ $p = 0,779$	$Z = -1,218$ $p = 0,223$	$Z = -0,044$ $p = 0,965$
nr 17.16	Cz	$Z = -0,830$ $p = 0,407$	$Z = -0,051$ $p = 0,959$	$Z = -0,255$ $p = 0,799$
nr 17.18	C4	$Z = -1,027$ $p = 0,305$	$Z = -0,044$ $p = 0,965$	$Z = -1,276$ $p = 0,202$

Wskaźnik: amplituda

Wstępne porównania międzygrupowe (na podstawie wyników *pretest*)

Nie wykazano różnic istotnych statystycznie pomiędzy trzema grupami dla amplitudy potencjału N200 na żadnej z analizowanych elektrod.

Tabela 56 Podsumowanie wyników porównań międzygrupowych dla poszczególnych elektrod.

Test Kruskala-Wallis	Analizowana elektroda	Wyniki
nr 18.1	F3	$H(2) = 0,202; p = 0,904$
nr 18.3	Fz	$H(2) = 0,230; p = 0,891$
nr 18.5	F4	$H(2) = 0,437; p = 0,804$
nr 18.7	FC1	$H(2) = 0,479; p = 0,787$
nr 18.9	FCz	$H(2) = 0,592; p = 0,744$
nr 18.11	FC2	$H(2) = 0,257; p = 0,879$

nr 18.13	C3	$H(2) = 0,842; p = 0,656$
nr 18.15	Cz	$H(2) = 0,602; p = 0,740$
nr 18.17	C4	$H(2) = 0,194; p = 0,908$

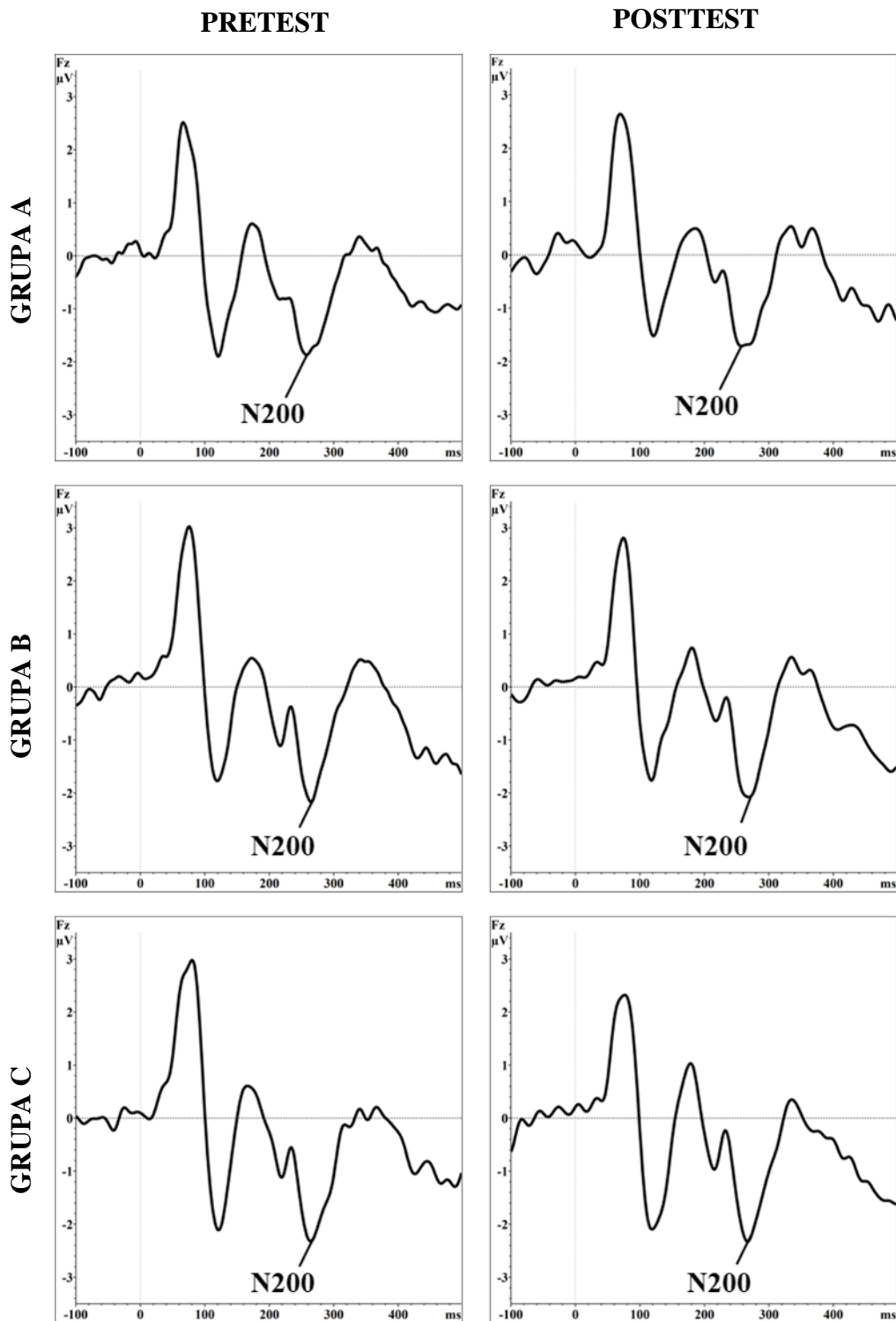
Porównania wewnątrzgrupowe (*pretest vs. posttest*)

Analiza porównawcza wyników *pretest* z wynikami *posttest* wykonana przy użyciu testu Wilcoxon nie wykazała istotnych statystycznie różnic w amplitudzie potencjału N200 na żadnej z analizowanych elektrod, w żadnej z trzech grup. Szczegółowe wyniki prezentuje Tabela 57, natomiast przebieg uzyskanego potencjału N200 przedstawiają Ryciny 55 oraz 56.

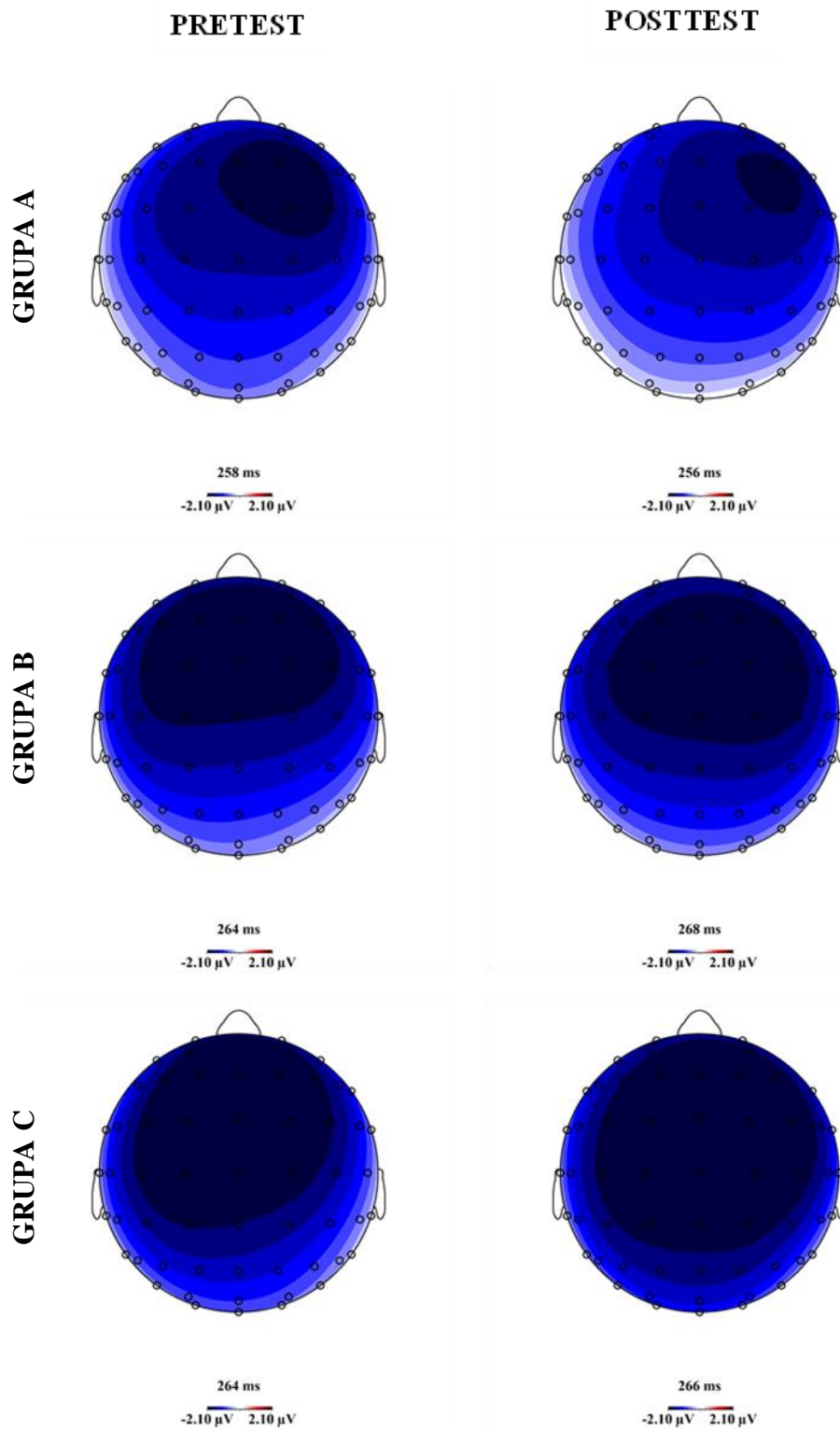
Tabela 57 Wyniki testu Wilcoxon dla amplitudy potencjału N200 w podziale na poszczególne grupy i analizowane elektrody.

Test Wilcoxon	Analizowana elektroda	Grupa		
		Eksperymentalna A	Kontrolna aktywna B	Kontrolna nieaktywna C
nr 18.2	F3	$Z = -1,172$ $p = 0,241$	$Z = -1,956$ $p = 0,050$	$Z = -0,089$ $p = 0,929$
nr 18.4	Fz	$Z = -1,127$ $p = 0,421$	$Z = -0,000$ $p = 1,000$	$Z = -0,711$ $p = 0,477$
nr 18.6	F4	$Z = -1,244$ $p = 0,241$	$Z = -0,078$ $p = 0,937$	$Z = -1,274$ $p = 0,203$
nr 18.8	FC1	$Z = -0,561$ $p = 0,575$	$Z = -0,471$ $p = 0,638$	$Z = -0,178$ $p = 0,859$
nr 18.10	FCz	$Z = -0,459$ $p = 0,646$	$Z = -0,078$ $p = 0,977$	$Z = -0,800$ $p = 0,424$
nr 18.12	FC2	$Z = -0,357$ $p = 0,721$	$Z = -0,549$ $p = 0,583$	$Z = -0,533$ $p = 0,594$
nr 18.14	C3	$Z = -0,968$ $p = 0,333$	$Z = -0,392$ $p = 0,695$	$Z = -0,356$ $p = 0,722$
nr 18.16	Cz	$Z = -0,663$ $p = 0,508$	$Z = -0,314$ $p = 0,754$	$Z = -0,080$ $p = 0,242$
nr 18.18	C4	$Z = -0,255$	$Z = 0,000$	$Z = -0,800$

 $p = 0,799$ $p = 1,000$ $p = 0,424$



Ryc. 55 Przebieg potencjałów wywołanych z uwzględnieniem potencjału N200 na elektrodzie Fz w warunkach Łatwym w pomiarach *pretest* i *posttest* w podziale na poszczególne grupy: A – eksperymentalna, B – kontrolna aktywna, C – kontrolna nieaktywna.



Ryc. 56 Topografia potencjału N200 w warunkach Łatwym w pomiarach *pretest* i *posttest* w podziale na poszczególne grupy: A – eksperymentalna, B – kontrolna aktywna, C – kontrolna nieaktywna.

PODSUMOWANIE

WPLYW TRENINGÓW NA WYKONANIE ZADANIA

Po treningu zaobserwowano:

- obniżenie amplitudy potencjału MMN tylko w grupie eksperymentalnej A.

Ponadto odnotowano wydłużenie:

- latencji potencjału MMN w grupie kontrolnej nieaktywnej;
- wydłużenie latencji potencjału N200 w grupie kontrolnej aktywnej

4.4. Elektrofizjologiczne korelaty funkcji poznawczych – testowanie hipotezy H5

W celach eksploracyjnych przeprowadzono analizy korelacyjne, aby ustalić czy w badanych grupach istnieje związek pomiędzy funkcjami poznawczymi ocenianymi w testach behawioralnych, a wartościami wskaźników uzyskanych w badaniach EEG. Wykonano korelacje pomiędzy wskaźnikami testów behawioralnych mierzących czasowe opracowywanie informacji, pamięć, uwagę i funkcje wykonawcze (Tab. 7, str. 112–113), a wskaźnikami elektrofizjologicznymi (amplitudą oraz latencją potencjałów MMN i N200, a także Różnicą amplitud potencjału P300 pomiędzy elektrodami i Amplitudą obciążenia poznawczego). Zaprezentowane powyżej holistyczne podejście w kwestii analiz korelacyjnych pozwoliło na dokładne zgłębienie zagadnienia, jakie zmiany na poziomie elektrofizjologicznym towarzyszą obserwowany zmianom poznawczym na poziomie behawioralnym. Istotne wyniki uzyskano

w przypadku korelacji:

- wskaźnika Pojemności Pamięci Krótkotrwałej a Różnicą amplitud potencjału P300 (korelacja nr 19.1);
- wskaźnika Progu Postrzegania Kolejności w zadaniu rozdzielnościowym a Amplitudą obciążenia poznawczego (korelacja nr 19.2).

Pozostałe korelacje pomiędzy wskaźnikami behawioralnymi a elektrofizjologicznymi były nieistotne.

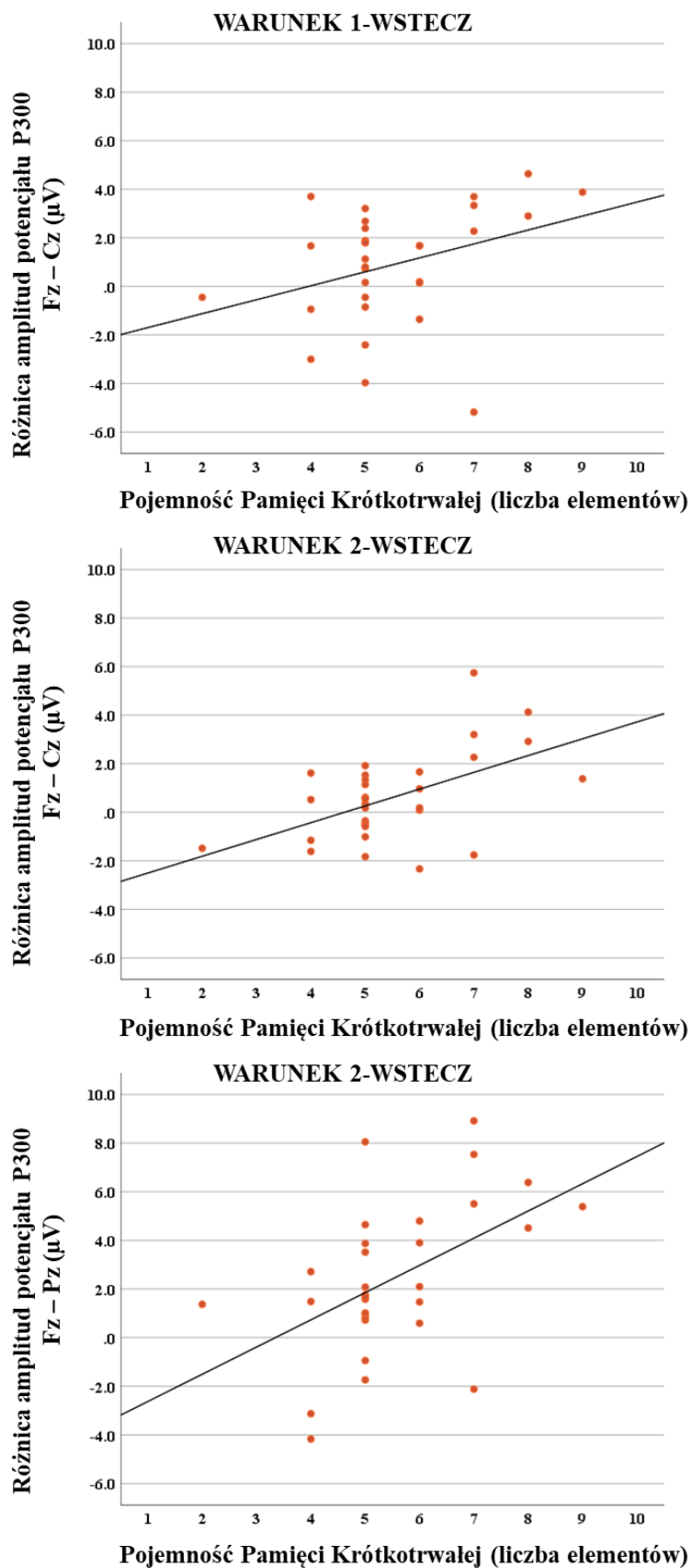
Korelacja nr 19.1

Wykonano analizy korelacyjne (*rho* Spearmana) pomiędzy wskaźnikiem Pojemności Pamięci Krótkotrwałej, a Różnicą amplitud potencjału P300 pomiędzy poszczególnymi elektrodami. Wskaźnik Różnica amplitud został szczegółowo opisany w Podrozdziale 3.6.3. (str. 125) – ma on na celu wyodrębnienie czystego zaangażowania poznawczego kory czołowej w wykonywane zadanie. Analizę przeprowadzono na wynikach z pomiaru *pretest* dla wszystkich osób badanych łącznie, co pozwoliło ocenić zależności pomiędzy sprawnością pamięci krótkotrwałej, a poziomem zaangażowania obszarów czołowych u osób starszych.

Wykazano dodatnią korelację pomiędzy wskaźnikiem Pojemności Pamięci Krótkotrwałej, a Różnicą amplitud potencjału P300 – większa pojemność pamięci krótkotrwałej jest powiązana z większym zaangażowaniem obszarów czołowych. Szczegółowe wyniki przedstawia Tabela 58, a wykresy uzyskanych korelacji – Ryc. 57.

Tabela 58 Wyniki analiz korelacyjnych pomiędzy wskaźnikami behawioralnymi oraz elektrofizjologicznymi.

Wskaźnik	n	Różnica amplitud potencjału P300 pomiędzy elektrodami			
		warunek 1-wstecz		warunek 2-wstecz	
		Fz – Cz	Fz – Pz	Fz – Cz	Fz – Pz
Pojemność Pamięci Krótkotrwałej	31	$r = 0,371$ $p = 0,040$	$r = 0,306$ $p = 0,095$	$r = 0,457$ $p = 0,010$	$r = 0,518$ $p = 0,003$



Ryc. 57 Wykresy rozrzutu wskaźnika Pojemności Pamięci Krótkotrwałej oraz wskaźników elektrofizjologicznych (Różnicy amplitud potencjału P300 pomiędzy elektrodami).

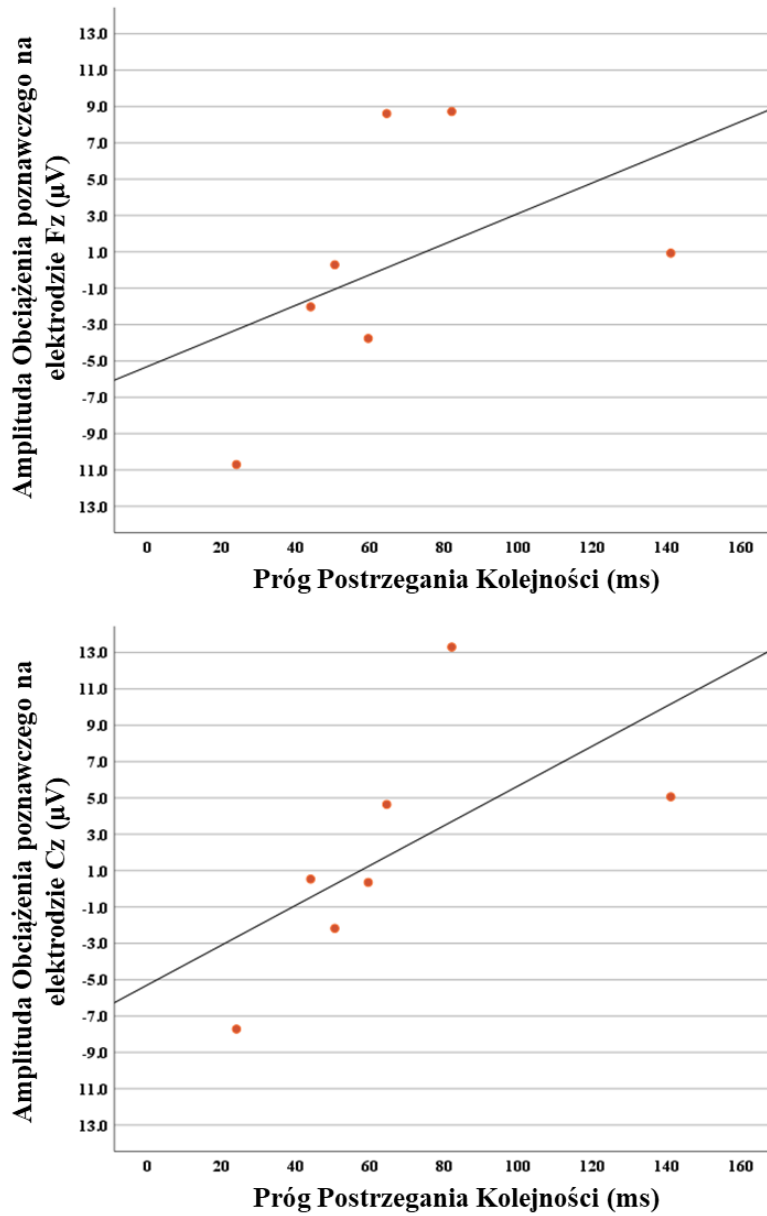
Korelacja nr 19.2

Wykonano analizę korelacji (*rho* Spearmana) pomiędzy Amplitudą obciążenia poznawczego na elektrodach Fz, Cz i Pz, a Progiem Postrzegania Kolejności w zadaniu rozdzielnościowym (PPK-R). Korelacje przeprowadzono na wynikach z pomiaru *posttest* w trzech grupach badanych, co pozwoliło ocenić zależności pomiędzy wskaźnikami behawioralnymi i elektrofizjologicznymi po zastosowanych interwencjach treningowych. Powyższe podejście umożliwiło weryfikację skuteczności treningu eksperymentalnego, ponieważ analizie poddano PPK-R, który jest wskaźnikiem ćwiczonej w ramach interwencji treningowej percepcji czasu.

Wykazano silną dodatnią korelację pomiędzy Amplitudą Obciążenia poznawczego w warunku 1–wstecz na elektrodach Fz oraz Cz, a PPK-R – niższa Amplituda Obciążenia poznawczego jest powiązana z niższym progiem czasowego przetwarzania informacji. Pozostałe korelacje w warunkach 1– i 2–wstecz były nieistotne statystycznie. Szczegółowe wyniki przedstawia Tabela 59, a wykresy uzyskanych korelacji obrazuje Ryc. 58.

Tabela 59 Wyniki analiz korelacyjnych pomiędzy wskaźnikami behawioralnymi oraz elektrofizjologicznymi.

Grupa	n	Wynik korelacji (warunek 1-wstecz)		
		Fz	Cz	Pz
Eksperymentalna A	7	$r = 0,786$ $p = 0,036$	$r = 0,857$ $p = 0,014$	$r = 0,536$ $p = 0,215$
Kontrolna aktywna B	11	$r = 0,322$ $p = 0,308$	$r = 0,217$ $p = 0,499$	$r = 0,105$ $p = 0,746$
Kontrolna nieaktywna C	12	$r = 0,559$ $p = 0,059$	$r = -0,105$ $p = 0,746$	$r = -0,182$ $p = 0,572$



Ryc. 58 Wykresy rozrzutu wskaźników PPK-R oraz Amplitudy obciążenia poznawczego (elektrody Fz oraz Cz w warunku 1-wstecz) w grupie eksperymentalnej A w pomiarze *posttest*.

PODSUMOWANIE

ANALIZ KORELACYJNYCH

- Wraz ze zwiększeniem pojemności pamięci krótkotrwałej wzrasta zaangażowanie poznawcze obszarów czołowych w wykonywane zadanie.
- Wykazano efekt treningu eksperymentalnego – tylko w grupie eksperymentalnej A zaobserwowano zależność pomiędzy czasowym przetwarzaniem informacji a obciążeniem poznawczym – niższy próg Czasowego przetwarzania informacji jest związany z mniejszą Amplitudą obciążenia poznawczego.

5. DYSKUSJA

5.1. Podsumowanie wykonanych badań i uzyskanych zależności

Celem mojej rozprawy doktorskiej było poszukiwanie odpowiedzi na pytanie, czy funkcjonowanie umysłu seniora można zmienić poprzez procedury treningowe. Badania koncentrowały się na poznaniu efektywności eksperymentalnego treningu percepcji czasu z zastosowaniem programu *Dr Neuronowski*[®] (www.neuronowski.com) oraz edukacyjnego treningu kontrolnego naszego autorstwa. Analiza zmian na poziomie behawioralnym została poszerzona badaniami elektrofizjologicznymi celem poznania zmian w działaniu sieci neuronalnej w wyniku zastosowanej interwencji.

Narzędzie *Dr Neuronowski*[®] zostało opracowane w Pracowni Neuropsychologii (Szelaąg i Szymaszek, 2016) i jest dostępne na polskim rynku. Z kolei edukacyjny trening kontrolny stanowił naszą autorską koncepcję treningu placebo. Trening placebo miał za zadanie stworzyć porównywalne do treningu eksperymentalnego warunki aktywności umysłowej, kontekstu społecznego i zaangażowania uczestnika badania w relacje międzyludzkie w trakcie wykonywanej interwencji. Trening kontrolny (placebo) nie odnosił się do zaangażowania czasowego opracowywania informacji, polegał na oglądaniu filmów edukacyjnych oraz popularnonaukowych. Każde spotkanie treningu kontrolnego było zwieńczone dyskusją na temat prezentowanych informacji. Oba treningi prowadzono według identycznego schematu badawczego, a więc liczba przeprowadzonych sesji oraz czas ich trwania w obydwu przypadkach były takie same.

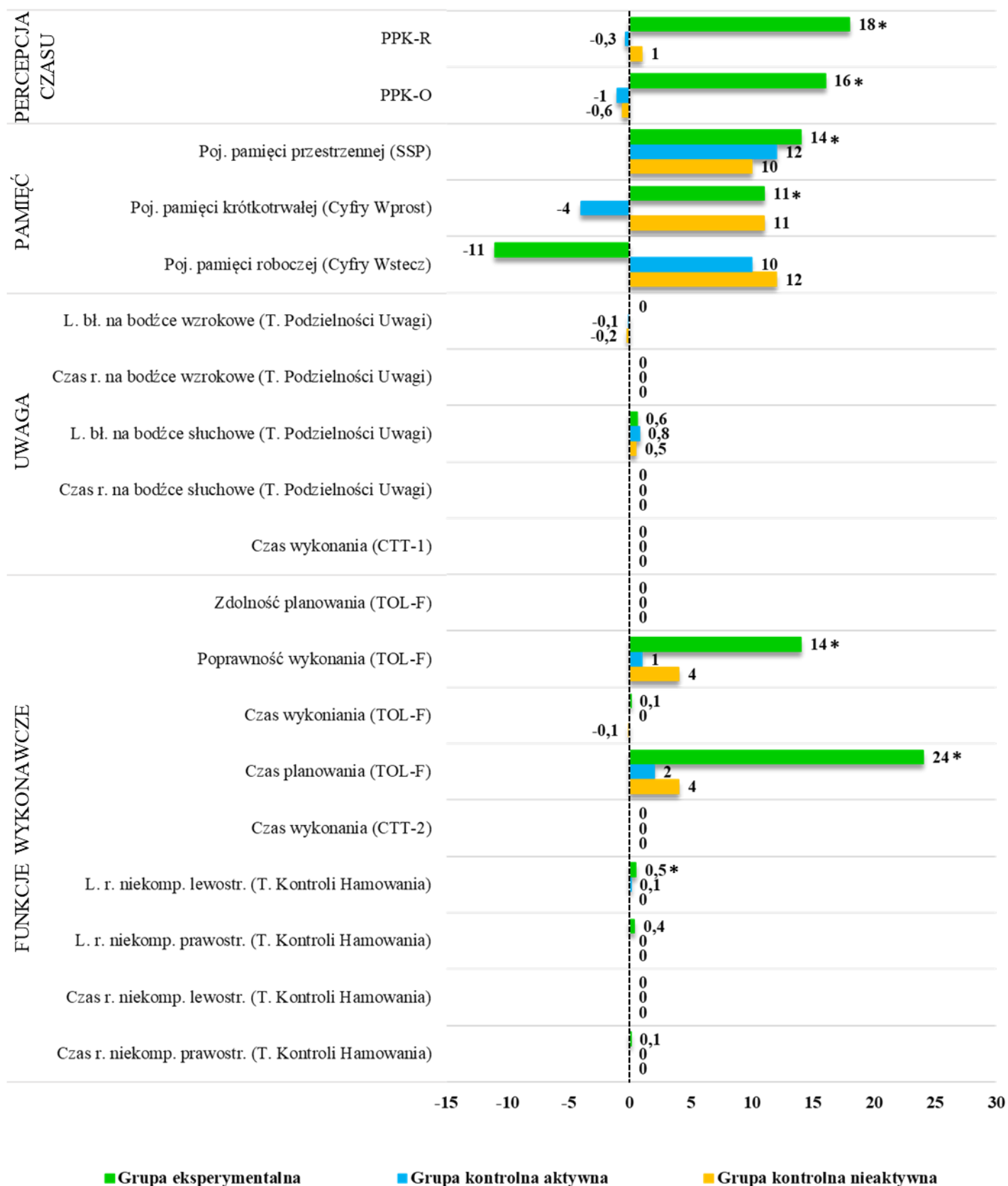
W przeprowadzonych przeze mnie badaniach zastosowano schemat uwzględniający pomiary funkcjonowania umysłu w *pre-* oraz *posttestie*. Każda osoba badana została losowa przydzielona do jednej z trzech grup badawczych: eksperymentalnej (Grupa A) – uczestniczącej w treningu *Dr Neuronowski*[®], kontrolnej aktywnej (Grupa B) – uczestniczącej w edukacyjnym treningu placebo lub kontrolnej nieaktywnej (Grupa C) – nieuczestniczącej w żadnej interwencji treningowej, ale testowanej dwukrotnie w odstępie czasu odpowiadającym trwaniu treningu w Grupach A i B. Benefity przeprowadzonych treningów weryfikowano za pomocą szeroko zakrojonej diagnostyki behawioralnej oraz elektrofizjologicznej.

Podsumowując uzyskane zależności, należy podkreślić, że w pomiarze *pretest* na poziomie wyników behawioralnych nie wykazano istotnych różnic pomiędzy trzema grupami. Podobnie, w przypadku badań elektrofizjologicznych w większości przypadków również nie wykazano różnic międzygrupowych w *pretestach*. Sporadyczne różnice istotne statystycznie, które naszym zdaniem mogły być przypadkowe, są opisane w Wynikach.

Ponieważ w trakcie uczestnictwa w projekcie osoby badane nie brały udziału w żadnych innych programach terapeutycznych wspomagających działanie mózgu, można założyć, że zmiany obserwowane w *posttestach* są bezpośrednio powiązane z zastosowanym treningiem. Wykazane zależności są dokładnie opisane w części Wyniki (str. 126–154). Ponadto, po omówieniu wykonanych analiz zamieszczono zbiorcze zestawienia podsumowujące zmiany uzyskane w testach behawioralnych (Tab. 23, str., 154–156).

Aby zilustrować ogólny profil zmian behawioralnych następujących w wyniku zastosowanych interwencji, poniżej podsumowano zaobserwowane zależności (Ryc. 59) z perspektywy procentowanych zmian uzyskanej poprawy lub pogorszenia. Szczegółowe zależności oraz ich szerszy kontekst omówione są w następnej części Dyskusji.

Poniższy wykres obrazuje procentowy poziom zmian uzyskanych w poszczególnych zadaniach behawioralnych przez osoby badane we wszystkich trzech badanych grupach. Prezentowany na wykresie procentowy Wskaźnik Poprawy (%WP) uzyskano poprzez: (1) odjęcie od wyników uzyskanych w pomiarze *posttest*, wyników z pomiaru *pretest*, (2) podzielenie otrzymanej różnicy przez wyniki pomiaru *pretest*, (3) pomnożeniu uzyskanych wartości przez 100%. Wartości dodatnie %WP oznaczają poprawę uzyskaną po treningu, natomiast wartości ujemne obrazują pogorszenie wyników. Różnice, które w porównaniach *pre- vs. posttest* są istotne statystycznie, zostały oznaczone gwiazdką.



Ryc. 59 Różnica w poziomie wykonania poszczególnych zadań w grupach: eksperymentalnej, kontrolnej aktywnej oraz kontrolnej nieaktywnej przedstawiona za pomocą Procentowego Wskaźnika Poprawy (%WP).

Jak ilustruje powyższe zestawienie, istotną poprawę funkcjonowania poznawczego zaobserwowano jedynie w grupie treningu poznawczego (Grupa A). Dotyczyła ona percepcji czasu (rozdzielczości czasowej „zegara neuronalnego”), efektywności pamięci (krótkotrwałej oraz przestrzennej) oraz funkcji wykonawczych (planowania i kontroli hamowania). Należy zaznaczyć, że nie zarejestrowano istotnych zmian w funkcjonowaniu poznawczym w obu grupach kontrolnych, tj. w Grupach B oraz C. Na podkreślenie zasługuje fakt, że w żadnej grupie nie zaobserwowano istotnego pogorszenia funkcji umysłowych.

W badaniach elektrofizjologicznych, w przypadku procedury Słuchowej pamięci roboczej nie wykazano wpływu treningu eksperymentalnego *Dr Neuronowski*[®] na analizowane neuronalne korelaty, ponieważ nie zaobserwowano istotnych zmian w zakresie latencji oraz amplitudy potencjału P300 (Ryc. 43, str. 181; Ryc. 45, str. 185). Natomiast analiza wyników uzyskanych przy zastosowaniu procedury Porównywania długości trwania bodźców słuchowych wykazała istotne obniżenie amplitudy potencjału MMN wyłącznie w grupie treningu poznawczego (Ryc. 53, str. 200). Jednocześnie, ponownie jedynie po zastosowaniu treningu *Dr Neuronowski*[®], zaobserwowano obniżenie amplitudy Wskaźnika obciążenia poznawczego (Ryc. 49, str. 189). Co więcej, tylko w Grupie A wykazano istotną korelację pomiędzy wartością tego wskaźnika a uzyskaną poprawą percepcji czasu.

Podsumowując, chociaż nie wykazano istotnych zmian w zakresie klasycznych potencjałów wywołanych (potencjału P300), uzyskano różnice stosując wskaźniki bardziej kompleksowe, tj. potencjał MMN oraz Wskaźnik obciążenia poznawczego. Oba powyższe wskaźniki mają wspólną cechę, ponieważ uzyskano je w wyniku zastosowania tzw. *fali odjętej* (szczegółowy opis uzyskania potencjału MMN zawiera Podrozdział 3.2.2.4.2., str. 94–96; a dokładny opis uzyskania Wskaźnika obciążenia poznawczego zawiera Podrozdział 3.6.2.1., str. 119). Powyższe zmiany zaobserwowane po treningu poznawczym wskazują na poprawę działania sieci neuronalnej w opracowywaniu informacji. Spójny charakter otrzymanych zmian zostanie dokładnie omówiony w kolejnej części Dyskusji.

5.2. Zmiany w funkcjonowaniu poznawczym zaobserwowane po treningu

5.2.1. Zmiany na poziomie behawioralnym

Percepcja czasu

W odniesieniu do percepcji czasu, wyłącznie w grupie treningu poznawczego (A) zaobserwowano istotną poprawę czasowego opracowywania informacji. W grupie tej w obu zadaniach dedykowanych rozdzielczości czasowej – zadaniu rozdzielnościowym oraz obuusznym – wykazano, że seniorzy potrzebują krótszej przerwy pomiędzy dwoma szybko następującymi dźwiękami, aby poprawnie określić ich kolejność wystąpienia (Ryc. 15, str. 127 oraz Ryc. 16 str. 128). Wynik ten należy interpretować jako usprawnienie rozdzielczości czasowej hipotetycznego „zegara” neuronalnego. W warunkach życia codziennego przekładać się to może na efektywniejsze przetwarzanie bodźców eksponowanych w sekwencjach, które nieustannie docierają do naszych narządów zmysłów.

Powyższe wyniki są zgodne z przewidywaniami i świadczą o wystąpieniu w wyniku treningu tzw. bliskiego transferu poprawy. Oznacza to, że uzyskano poprawę w domenie poznawczej, która podlegała bezpośrednim ćwiczeniom w zastosowanej interwencji terapeutycznej w Grupie A. Bezpośrednio ukierunkowane na usprawnienie rozdzielczości czasowe były następujące gry terapeutyczne: *Czereśnie, Dzięcioły, Budowa, Hipopotam i kot, Słoń i papuga, Afrykańskie zwierzęta, Kurza ferma oraz Armaty* wchodzące w skład Modułu 2; *Maestro* wchodzące w skład Modułu 6 oraz *Syczące węże 1* i *Syczące węże 2* wchodzące w skład Modułu 7.

Podobne wyniki, wskazujące na usprawnienie „zegara” mózgowego pod wpływem treningu percepcji czasu uzyskano we wcześniejszych badaniach (Mierzenich i wsp., 1996; Tallal i wsp., 1996), a także w badaniach prowadzonych w naszej Pracowni, która od wielu lat zajmuje się zagadnieniem czasowego opracowywania informacji oraz możliwością usprawniania działania ludzkiego umysłu poprzez stosowanie odpowiedniego treningu. Dzięki długiej tradycji badań nad percepcją czasu prowadzonych w Pracowni Neuropsychologii udało się wykazać, że usprawnienie percepcji czasu jest możliwe u pacjentów z afazją poudarową (Oroń i wsp., 2015; Szymaszek i wsp., 2017), u dzieci ze zdiagnozowanymi zaburzeniami rozwoju mowy i języka typu SLI (Dacewicz, 2018; Szelań i wsp., 2015), a także seniorów po 65. roku życia (Nowak, 2016; Szelań i Skolimowska, 2012).

Warto nadmienić, że wykonane przeze mnie badania dotyczą podobnego zagadnienia, niemniej charakteryzują się znaczącymi różnicami w porównaniu do badań wcześniejszych. W ramach realizacji niniejszej rozprawy doktorskiej przeprowadzono badania na liczniejszej grupie seniorów, ponadto aby uniknąć efektów sufitowych, zastosowany trening miał charakter adaptacyjny, cechował się bowiem zwiększonym poziomem trudności w poszczególnych zadaniach. Dodatkowo, na tle przytoczonych badań, w mojej rozprawie doktorskiej po raz pierwszy wykorzystano autorski trening kontrolny placebo (Grupa B), który miał na celu stworzenie podobnych warunków kontekstu społecznego. Porównanie wyników uzyskanych w grupie treningu poznawczego (A) i kontrolnej aktywnej (B) wykazało, że poprawa zaobserwowana w Grupie A wynika jedynie ze specyfiki zastosowanych ćwiczeń, nie zaś innych czynników związanych ze scenariuszem treningu, takich jak: przebywanie i stymulacja poznawcza w grupie współuczestników, kontakt z eksperymentatorami czy aktywizacja związana z przychodzeniem na zajęcia.

Przytoczone powyżej wyniki uzyskane w różnych badaniach na przestrzeni lat oraz wyniki zaprezentowane w niniejszej rozprawie doktorskiej wskazują, że niezależnie od etiologii występujących zaburzeń percepcji czasu, można ją skutecznie łagodzić za pomocą stosownych interwencji treningowych. Otrzymane przeze mnie wyniki potwierdzają H1 i wskazują, że wyniku treningu opartego na usprawnianiu percepcji czasu dochodzi do poprawy w zakresie czasowego opracowywania informacji.

Pamięć

Jak wskazano we Wstępie, pogorszenie pamięci jest najczęściej zgłaszanym problemem w kontekście obniżenia sprawności poznawczej przez osoby w podeszłym wieku (Karlawish i Clark, 2003; Krakowska i wsp., 2003; Rotenberg Shpigelman i wsp., 2017; Waldorff i wsp., 2008). W związku z tym skuteczna metoda usprawniająca pamięć wydaje się być niezwykle cennym narzędziem umożliwiającym osobom starszym zachowanie samodzielności oraz sprawczości.

W odniesieniu do uzyskanych przeze mnie wyników, zaobserwowany po treningu poznawczym w Grupie A istotnie zwiększony zakres Pojemności Pamięci Przestrzennej (Ryc. 17, str. 130) oraz Pojemności Pamięci Krótkotrwałej (Ryc. 18, str. 132) werbalnej dokumentuje, że *Dr Neuronowski*[®] jest efektywnym narzędziem pozwalającym zwiększyć bezpośredni zakres zapamiętywanego materiału o różnej modalności w pamięci krótkotrwałej. Rozważając ten wynik warto nadmienić, że program *Dr Neuronowski*[®] zawiera zadania uwzględniające

zarówno bodźce wzrokowe, jak i słuchowe, a więc umożliwia trening w obrębie różnych zmysłów. Powyższy wynik jest spójny z szeregiem innych badań, które wskazują na poprawę pamięci krótkotrwałej wskutek zastosowanych poznawczych interwencji treningowych (Kelly i wsp., 2014; Martin i wsp., 2011).

Jednocześnie, nie wykazano istotnych różnic we wskaźniku Pojemność Pamięci Roboczej (Ryc. 19, str. 133), badanej w teście Cyfry Wstecz. Odnosząc się do wykresu ilustrującego Procentowy Wskaźnik Poprawy (Ryc. 59, str. 215) można, co prawda, zauważyć pogorszenie w zakresie tej funkcji, jednak porównanie wyników *pre-* i *posttest* jest nieistotne statystycznie. Powyższy brak zmian w rozpiętości pamięci roboczej jest niespójny z dotychczas otrzymanymi wynikami, które wskazywały, że trening usprawniający percepcję czasu prowadzi również do poprawy w zakresie pamięci roboczej (Dacewicz, 2018; Nowak, 2016). Również nasza wcześniejsza praca badająca zależności pomiędzy efektywnością pamięci roboczej a percepcją czasu wykazała korelację pomiędzy tymi dwoma funkcjami (Jabłońska i wsp., 2020). Należy jednak zwrócić uwagę, że w powyższej pracy wyodrębniono dwie składowe pamięci roboczej: 1) przechowywanie (tymczasowy magazyn pamięci) oraz 2) manipulację (operowanie zapamiętanym materiałem w zależności od aktualnych potrzeb; Veltman i wsp., 2003). Wykryty związek dotyczył jedynie relacji pomiędzy percepcją czasu a manipulacją. Na tej podstawie wyciągnięto wniosek, że to właśnie manipulacja jest dynamicznym aspektem pamięci roboczej, który wymaga sprawnej matrycy czasowej oraz sprawnie funkcjonującego „zegara” neuronalnego (Jabłońska i wsp., 2020). W celu wyjaśnienia powyższych rozbieżności, tj. pomiędzy naszym wcześniejszym a obecnym badaniem, należałoby prowadzić dalsze badania, ze szczególnym uwzględnieniem wyżej wymienionych procesów składowych pamięci roboczej.

W wykonanych przeze mnie badaniach w grupach kontrolnych B (aktywnej) i C (nieaktywnej) nie wykazano istotnych różnic w zakresie żadnego z trzech analizowanych wskaźników dotyczących pamięci krótkotrwałej oraz roboczej. Zbliżone wartości Procentowego Wskaźnika Poprawy (%WP) obu grup kontrolnych do wartości %WP grupy eksperymentalnej (Ryc. 59, str. 215) mogą wynikać z wystąpienia nietypowych wyników testów osiągniętych przez pojedyncze osoby badane z grup kontrolnych (Ryc. 18, str. 132; Ryc. 19, str. 133).

Na usprawnienie pamięci były bezpośrednio ukierunkowane następujące gry terapeutyczne: *Jarmark różności*, *Pomieszanie z poplątaniem*, *Jaka to melodia?* oraz *Pudelka z niespodziankami* wchodzące w skład Modułu 3, a także gry: *Labirynty*, *Uwaga! Przeszkoda!* i *Gdzie tu iść?* należące do Modułu 4 oraz gra *Memo słowne* z Modułu 5. Jednocześnie gry

usprawniające czasowe opracowywanie informacji z Modułów 2, 6 i 7 miały za zadanie pośrednio stymulować procesy pamięciowe.

Powyższe wyniki są częściowo zgodne z H1 i potwierdzają, że trening percepcji czasu prowadzi do poprawy w zakresie pamięci krótkotrwałej przestrzennej (badanej za pomocą Testu Pojemności Pamięci Przestrzennej) i krótkotrwałej werbalnej (badanej za pomocą podtestu Cyfry Wprost). Jednocześnie, otrzymane wyniki nie potwierdzają H1 w zakresie pamięci roboczej (badanej za pomocą podtestu Cyfry Wstecz) i dokumentują, że pamięć robocza nie ulega treningowi.

Uwaga

W domenie uwagi w żadnej z grup nie wykazano istotnych zmian świadczących o skuteczności treningu. Oznacza to, że zarówno *Dr Neuronowski*[®], jak i trening kontrolny nie przyczyniły się do poprawy w zakresie podzielności i utrzymywania uwagi. Gry ukierunkowane na trening procesów uwagi to: *Bańki*, *Pianino*, *Miny*, *Memo dźwiękowe* należące do Modułu 1, *Memo słowne* z Modułu 5, a także *Maestro* z Modułu 6. Ponownie, gry usprawniające rozdzielczość czasową z Modułów 2, 6 i 7 miały za zadanie w sposób pośredni trenować uwagę.

Warto nadmienić, że Test Podzielności Uwagi, który służył do oceny procesów uwagowych, zawiera zarówno bodźce wzrokowe, jak i werbalne. Oznacza to, że brak zmian związanych z treningiem jest niezależny od modalności prezentowanych bodźców.

Również w poprzednich badaniach, które dotyczyły czujności uwagi, po treningu percepcji czasu nie zaobserwowano skrócenia czasów reakcji u osób starszych (Skolimowska, 2011; Szelaąg i Skolimowska, 2012). Wskazywałoby to, że czujność uwagi nie jest związana z rozdzielczością czasową „zegara” neuronalnego. Jednakże w przytoczonych badaniach literaturowych odnotowano poprawę w zakresie trwałości uwagi (Skolimowska, 2011; Szelaąg i Skolimowska, 2012). Biorąc powyższe pod uwagę, można przypuszczać, że mechanizmy treningu *Dr Neuronowski*[®] oddziałują wyłącznie na aspekt uwagi związany z jej trwałością, rozumianą jako zdolność do koncentracji na określonym zadaniu przez dłuższy czas (Glisky, 2007). W wykonanych przeze mnie badaniach nie zastosowałam narzędzi dedykowanych ocenie trwałości uwagi, bowiem takie badania były już wcześniej prowadzone w naszej Pracowni. W kolejnych badaniach poruszających omawianą tematykę u osób starszych należałoby jednak uwzględnić w procedurach diagnostycznych także testy skupiające się na ocenie trwałości uwagi.

Warto dodać, że badania dotyczące efektywności usprawnienia czasowego opracowywania informacji u dzieci ze specyficznymi zaburzeniami językowymi (SLI) wskazały na skuteczność tego treningu w różnych aspektach uwagi (Dacewicz, 2018). Można domniemywać, że uzyskane przez nie zależności mogą być związane z wiekiem osób badanych, dlatego w zakresie procesów uwagowych trening eksperymentalny *Dr Neuronowski*[®] jest znacznie bardziej skuteczny u dzieci niż u osób w wieku senioralnym.

Zaobserwowane wyniki nie potwierdzają H1 w zakresie procesów uwagowych, wskazując, że po treningu percepcji czasu u seniorów nie występuje poprawa w zakresie sprawności uwagi.

Funkcje wykonawcze

W ocenie sprawności funkcji wykonawczych skoncentrowałam się na ich trzech aspektach: planowaniu, elastyczności poznawczej i kontroli hamowania.

Po treningu istotną poprawę funkcjonowania w zakresie funkcji wykonawczych zaobserwowałam tylko w grupie treningu poznawczego (Grupa A). Dotyczyła ona Poprawności wykonania oraz Czasu planowania w teście TOL-F oraz Liczby reakcji niekompatybilnych lewostronnych w Teście Kontroli Hamowania. Natomiast w obu grupach kontrolnych (Grupach B oraz C) nie wykazano istotnych różnic w pomiarze *posttest* w porównaniu do pomiaru *pretest* dla żadnego analizowanego wskaźnika charakteryzującego sprawność funkcji wykonawczych.

W odniesieniu do danych przytoczonych we Wstępie, literatura przedmiotu wskazuje, że wraz z wiekiem planowanie, rozumiane jako globalny aspekt funkcji wykonawczych, jest mniej efektywne i u osób w wieku senioralnym pojawiają się znaczące trudności w tym aspekcie (Sorel i Pennequin, 2008). Wyniki uzyskane w niniejszym badaniu pozwalają na interpretację, że poprzez odpowiednią stymulację poznawczą, funkcje wykonawcze u seniorów można usprawnić.

Należy jednak zwrócić uwagę, że w odniesieniu do testu TOL-F, zmiany w sprawności planowania były zróżnicowane w zależności od zastosowanego wskaźnika pomiaru. Podczas gdy dla Zdolności planowania (liczba zadań wykonanych poprawnie w minimalnej liczbie ruchów) i Czasu wykonania (średni czas realizowania zadania) nie zaobserwowano istotnych różnic, to uwidoczniły się one w Poprawności wykonania (liczba wszystkich poprawnie wykonanych zadań zarówno w minimalnej, jak i w nadmiarowej liczbie ruchów) oraz w Czasie planowania (średni czas opracowywania rozwiązania; por. Wskaźniki wykonania, str. 78)

W efekcie zastosowania treningu poznawczego *Dr Neuronowski*[®] poprawie uległy dwa wskaźniki testu TOL-F: Poprawność wykonania (Ryc. 26, str. 143) oraz Czas planowania (Ryc. 27, str. 144). Zmiany w zakresie Poprawności wykonania oznaczają, że w efekcie treningu poznawczego osoby badane były w stanie poprawnie rozwiązać większą liczbę zadań, chociaż niekoniecznie wykorzystywały do tego możliwie najbardziej optymalną strategię i mogły w trakcie zadania popełniać błędy. Co więcej zaobserwowano skrócenie Czasu planowania, rozumianego jako faza przygotowawcza niezbędna do rozwiązania zadania testowego, w trakcie której następuje opracowanie strategii działania (Jabłońska i wsp., 2022). Jednocześnie Czas wykonania zadań nie uległ zmianie. Skrócenie Czasu planowania przy niezmiennym Czasie wykonania należy rozumieć jako usprawnienie procesu planowania, który ma miejsce jeszcze przed przystąpieniem do realizacji zadania. Wspomniane zależności wskazują, że w wyniku treningu *Dr Neuronowski*[®], proces planowania jest bardziej efektywny, ponieważ badany w pierwszej kolejności ustala plan działania, a następnie przystępuje do jego realizacji. Takie holistyczne podejście do zadania, spojrzenie na określony problem jako całość i wstępne zaplanowanie kolejnych kroków w celu rozwiązania danego zadania wydaje się też być bardziej efektywne z punktu widzenia życia codziennego.

Należy zauważyć, że nie odnotowano zmian w zakresie Zdolności planowania w teście TOL-F (Ryc. 25, str. 142). Wskaźnik ten odzwierciedla najbardziej optymalny i modelowy sposób wykonania zadania, a więc rozwiązanie zadania poprzez wykonanie minimalnej liczby ruchów, aby osiągnąć cel, czyli wykonać zadanie. Oznacza to, że badany osiągający wysoki wynik w tym wskaźniku miał precyzyjnie zaplanowane kolejne kroki i nie wykonywał zbędnych ruchów, aby zrealizować zadanie. Brak zmian w zakresie Zdolności planowania oznacza, że nie udało się usprawnić planowania rozumianego jako precyzyjny i bezbłędny proces umożliwiający osiągnięcie celu.

Wcześniejsze badania przeprowadzone przez nas zespół wskazują na związek pomiędzy funkcjami wykonawczymi i percepcją czasu (Jabłońska i wsp., 2022). Podobnie jak to przedstawiono powyżej w odniesieniu do pamięci roboczej (por. str. 219), planowanie to również dynamiczny proces, wymagający stałej manipulacji bieżąco przetwarzanym materiałem. Oznacza to, że usprawnienie matrycy neuronalnej, a więc swoistego „zegara” neuronalnego, powiązane jest z poprawą funkcji wykonawczych w zakresie omówionych wyżej wskaźników.

Powyższe wyniki wskazują, że u osób w wieku senioralnym w grupie treningu poznawczego funkcje wykonawcze ulegają treningowi w sposób wybiórczy. Chociaż nie uzyskano poprawy

w zakresie wskaźnika planowania obrazującego najbardziej optymalny sposób działa (wskaźnik Zdolność planowania), to nie ulega wątpliwości, że nastąpiła poprawa planowania (na podstawie wskaźnika Poprawność wykonania) poprzez skrócenie Czasu planowania. Wydaje się, że powyższa specyfika uzyskanych zależności może być związana z wiekiem osób badanych, a zastosowany przez nas trening funkcji poznawczych ma swoje ograniczenia.

W domenie funkcji wykonawczych w grupie treningu poznawczego zaobserwowano także zwiększenie liczby poprawnych reakcji niekompatybilnych lewostronnych w Teście Kontroli Hamowania. A więc po ukończeniu treningu *Dr Neuronowski*[®] osoby badane osiągnęły większą poprawność w warunku konfliktowym (gdy w lewym polu widzenia prezentowana była strzałka zwrócona w prawo; por. Podrozdział 3.2.1.4. Diagnoza funkcji wykonawczych, str. 81). Oznacza to, że po treningu poznawczym opartym na usprawnieniu czasowego opracowywania informacji badany lepiej wyhamowuje reakcję automatyczną w opisanej sytuacji konfliktowej (tu: lewe/prawe pole widzenia i kierunek grotu strzałki w prawo/lewo). Obserwowanej poprawy, ale tylko w lewostronnych ekspozycjach, nie należy jednak odnosić do asymetrii funkcjonalnej mózgu. Zastosowanie bodźców prezentowanych w lewym bądź prawym polu widzenia w teście ma wyłącznie na celu wygenerowanie przykładowej sytuacji konfliktowej, w przypadku której osobie badanej trudniej wyhamować pierwszą reakcję (Zimmermann i Fimm, 2007). Powyższa sytuacja testowa nie spełnia natomiast założeń eksperymentalnego badania asymetrii funkcjonalnej mózgu, stąd nie może być interpretowana w kategorii lateralizacji funkcji poznawczych.

Uzyskany wynik odbiega od zakładanych rezultatów, ponieważ *Dr Neuronowski*[®] to narzędzie trenujące funkcje poznawcze w sposób globalny i niezależny od strony ekspozycji. Co istotne, wszelkie bodźce wzrokowe lub słuchowe występowały w teście z taką samą częstotliwością zarówno w prawym oraz lewym polu percepcyjnym. Z tego względu oczekiwano zwiększonej poprawności odpowiedzi w sytuacjach konfliktowych prezentowanych zarówno w lewym, jak i prawym polu widzenia. Interpretując powyższy wynik, wskazujący na wybiórczy wzrost poprawności odpowiedzi w sytuacji konfliktowej prezentowanej w lewym polu widzenia, należy zwrócić uwagę na dominującą, kulturową preferencję tej strony pola percepcyjnego. Jak wskazuje literatura przedmiotu, na kierunek przeszukiwania pola percepcyjnego zasadniczy wpływ ma utrwalony kulturowo kierunek analizy informacji związany ze zwyczajami językowymi i kierunkiem pisania oraz czytania tekstu (tzw. *scanning*). W kręgu kultury europejskiej oraz amerykańskiej język zapisuje się od strony lewej do prawej (Maass i Russo, 2003), co przekłada się na eksplorację pól wzrokowych w takim samym kierunku. Z kolei

użytkownicy języka hebrajskiego czy arabskiego wykazują dominację przeszukiwania pola percepcji od strony prawej do lewej, co jest również zgodne z zasadami zapisu i odczytywania tekstów ich języka (Nachshon, 1985; Tversky i wsp., 1991). Maass i Russo (2003) na podstawie swoich badaniach wskazują, że kierunek przeszukiwania pola wzrokowego jest w dużej mierze rezultatem kulturowego nawyku, który nabywamy w trakcie nauki czytania i pisania. Biorąc powyższe pod uwagę, wysoce prawdopodobne jest, że również w przypadku moich badań, kulturowa preferencja kierunku przeszukiwania pola wzrokowego miała wpływ na otrzymane rezultaty. Z racji opisanego powyżej uprzywilejowania w naszej kulturze, lewe pole widzenia, wydaje się być bardziej czułe na zmiany w działaniu matrycy neuronalnej. Stąd, w polu tym w Grupie A pojawiły się po treningu zmiany w funkcjonowaniu poznawczym, a więc wystąpiła lepsza kontrola hamowania stanowiąca przykład funkcji wykonawczych. Nie jest wykluczone, że dłuższy trening zaowocowałby usprawnieniem analizy informacji także w polu prawym, które nie jest torowane scanniem. W przyszłych badaniach należałoby wybrać testy, w których kulturowo utrwalony kierunek skanowania pola percepcyjnego nie oddziałuje na ogólny wynik.

Gry bezpośrednio ukierunkowane na usprawnienie funkcji wykonawczych to: *Labirynty*, *Uwaga! Przeszkoda!*, *Gdzie tu iść?*, *Znajdź różnice* oraz *Skarby słowne* należące do Modułu 4. W tym przypadku również ćwiczenia trenujące percepcję czasu z Modułów 2, 6 oraz 7 miały za zadanie w sposób pośredni stymulować funkcje wykonawcze.

Zaobserwowane wyniki częściowo potwierdzają H1, dokumentując, że tylko niektóre aspekty funkcji wykonawczych podlegają u seniorów treningowi percepcji czasu.

Podsumowując wyniki behawioralne, w grupie treningu poznawczego udało się uzyskać poprawę w zakresie czasowego opracowywania informacji, pamięci krótkotrwałej oraz funkcji wykonawczych. Nie wykazano skuteczności treningu percepcji czasu w stosunku do pamięci roboczej oraz podzielności i utrzymywania uwagi. Jednocześnie nie wykazano zmian istotnych statystycznie w grupach kontrolnej aktywnej oraz kontrolnej nieaktywnej. Powyższe wyniki w znacznym stopniu potwierdzają H1, zgodnie z którą w wyniku treningu czasowego opracowywania informacji nastąpi usprawnienie różnych funkcji poznawczych (por. Podrozdział 2.2. Hipotezy badawcze, str. 61).

5.2.2. Zmiany na poziomie elektrofizjologicznym

5.2.2.1. Wpływ poziomu trudności zadania na wykonanie zadania Słuchowej pamięci roboczej – pomiar *pretest*

W pomiarze *pretest* analiza wpływu trudności zadania na jego wykonanie dla wszystkich osób badanych łącznie potwierdziła oczekiwane przez nas zależności. Wskaźniki behawioralne zarejestrowane w badaniu elektrofizjologicznym, wykazały, że warunek 2–wstecz, wymagający większego zaangażowania pamięci roboczej, okazał się istotnie trudniejszy niż warunek 1–wstecz. W warunku 2–wstecz osoby badane uzyskały mniej poprawnych odpowiedzi i częściej reagowały błędnie na bodźce dystrakcyjne, a ich czasy reakcji były istotnie dłuższe w porównaniu do warunku 1–wstecz (por. Ryc. 33, str. 162). Jednocześnie nie wykazano różnic w amplitudach potencjału P300 pomiędzy dwoma omawianymi warunkami zadania *n*–wstecz (por. Ryc. 34, str. 165). Oznacza to, że pomimo obserwowanych istotnych różnic w stopniu trudności obu zadań na poziomie behawioralnym, odpowiedź elektrofizjologiczna mózgu na warunki 1–wstecz oraz 2–wstecz była podobna, co sugerowałoby zbliżony poziom trudności tych warunków. Wskazuje to, że amplituda

potencjału P300 nie jest dostatecznie czułą miarą do wykazania różnic w trudności zadania w wykonanych przeze mnie badaniach.

Jednak wykonana analiza topografii potencjału P300 wskazuje na istotnie obniżoną amplitudę tego potencjału w rejonach ciemieniowych w porównaniu do obszarów czołowo-centralnych. Powyższa zależność dotyczy obu testowanych warunków zadania, tj. 1–wstecz oraz 2–wstecz. Literatura przedmiotu jasno wskazuje, że potencjał P300 ma topografię zlokalizowaną typowo w okolicach ciemieniowych mózgu (Kida i wsp., 2012), natomiast w przeprowadzonych przeze mnie badaniach zauważyłam przesunięcie topografii z charakterystycznych rejonów ciemieniowych w stronę obszarów czołowych. Zjawisko to zostało już zaobserwowane w poprzednich badaniach (Alperin i wsp., 2014; Dinteren i wsp., 2014; Lubitz i wsp., 2017; Reuter i wsp., 2013). To swoiste przesunięcie rozumiane jest jako angażowanie dodatkowych zasobów neuronalnych w celu sprostania wymogom trudniejszego zadania. Jest to mechanizm kompensujący deficyty poznawcze wynikające z procesu zdrowego starzenia. Powyższe zmiany na poziomie neuronalnym odpowiadają charakterystyce modelu starzenia poznawczego CRUNCH (por. Teorie wyjaśniające poznawcze starzenie, str. 24). Zgodnie z tym modelem, wykorzystanie dodatkowych obszarów kory czołowej ma w konsekwencji umożliwić utrzymanie stabilnego wykonania zadań na poziomie behawioralnym (Dinteren i wsp., 2014). Wykonane przeze mnie badania potwierdzają występowanie tego mechanizmu kompensacyjnego u zdrowych osób w wieku senioralnym w omawianym zadaniu elektrofizjologicznym.

W tym miejscu warto także zwrócić uwagę na wyniki analiz korelacyjnych, które zostały przeprowadzone na pomiarze *pretest* dla wszystkich osób badanych łącznie (por. 4.4. Elektrofizjologiczne korelaty wybranych funkcji poznawczych – testowanie H5, str. 207). W celu analizy czystego zaangażowania poznawczego kory czołowej zdefiniowałam wskaźnik różnicy pomiędzy amplitudą potencjału P300 na elektrodzie umieszczonej frontalnie z pozostałymi elektrodami ulokowanymi centralnie i ciemieniowo, (tj. Fz – Cz oraz Fz – Pz; por. Podrozdział 3.6.3, str. 125.) Wykazano, że wraz ze zwiększeniem pojemności pamięci krótkotrwałej wzrasta zaangażowanie poznawcze obszarów czołowych w wykonywane zadanie. Powyższy wynik jest spójny z omawianym przesunięciem potencjału P300 z rejonów centralnych w stronę obszarów czołowych.

Powyższe wyniki, uzyskane w pomiarze *pretest*, potwierdzają H4 i wskazują na zmianę typowej topografii potencjału P300 z okolic ciemieniowych na okolice czołowe.

5.2.2.2. Procedura 1 – Słuchowa pamięć robocza

Wyniki behawioralne zarejestrowane w badaniu elektrofizjologicznym (pomiar posttest vs. pretest oraz omówienie różnic w pomiarze pretest)

W odniesieniu do wyników behawioralnych tylko w grupie treningu poznawczego zaobserwowano istotne wydłużenie czasu reakcji w warunku 1–wstecz. Jednocześnie, w grupie kontrolnej aktywnej w warunku 2–wstecz wykazano istotny wzrost liczby poprawnych reakcji, spadek liczby fałszywych alarmów oraz skrócenie czasu reakcji. Co więcej, istotne zmiany w warunku 2–wstecz zaobserwowano również w grupie kontrolnej nieaktywnej, gdzie zanotowano istotny spadek liczby fałszywych alarmów oraz skrócenie czasu reakcji. Należy nadmienić, że zgodnie z przyjętymi przeze mnie hipotezami (por. Podrozdział 2.2. Hipotezy badawcze, str. 61), nie oczekiwano zmian istotnych statystycznie w obu zastosowanych grupach kontrolnych. Co więcej, analizy w pomiarze *pretest* wykazały, że grupa treningu poznawczego osiągnęła istotnie niższą poprawność w porównaniu do obu grup kontrolnych. Powyższe wyniki prawdopodobnie są efektem braku równoliczności grup w badaniu Słuchowej pamięci roboczej. Mniejsza liczba poprawnie zarejestrowanych badań EEG w grupie treningu *Dr Neuronowski*[®] (n=7) wynikała z problemów technicznych w trakcie zapisu procedury Słuchowej pamięci roboczej (por. Tab. 36, str. 169–170). Biorąc pod uwagę, że uzyskano wyniki istotne statystycznie w obu liczniejszych grupach kontrolnych (n=11 w grupie B; n=12 w grupie C), prawdopodobnym wydaje się stwierdzenie, że różnice istotne statystycznie nie zostały wychwycone w grupie treningu percepcji czasu ze względu na zbyt małą liczbę osób badanych włączonych do tego badania, a uzyskane wydłużenie czasu reakcji w warunku 1-wstecz mogło wynikać z czynników przypadkowych.

Wobec przyjętego schematu badawczego (por. Podrozdział 3.4. Schemat prowadzonych badań, str. 111), zastosowanie grupy kontrolnej nieaktywnej miało na celu monitorowanie wystąpienia efektu test–retest (Boot i wsp., 2011). Udział osób badanych poddanych wyłącznie pomiarom diagnostycznym (tj. pomiar *pre*– oraz *posttest*) bez ich zaangażowania w procedury treningowe, umożliwia skuteczną kontrolę efektu uczenia się, który może wystąpić przy kolejnych wykonaniach tych samych testów diagnostycznych (Au i wsp., 2020). Również Lange i Süß (2015) podkreślają ogromną rolę grupy kontrolnej nieaktywnej w monitorowaniu efektu powtórnego pomiaru w badaniach treningowych. Wskazują oni na możliwość dokładniejszej interpretacji uzyskanych wyników przy zastosowaniu grupy pasywnej w schemacie badawczym dotyczącym interwencji treningowych.

Biorąc powyższe pod uwagę, należy uznać, że uzyskanie wyników istotnych statystycznie w grupie kontrolnej nieaktywnej wskazuje na wystąpienie opisanego powyżej efektu test–retest. Oznacza to, że prawdopodobnie mogło wystąpić wyuczenie się przez osoby badane zadania diagnostycznego w związku z jego dwukrotnym wykonaniem, co z kolei uniemożliwia interpretację uzyskanych wyników behawioralnych w kontekście efektu zastosowanych procedur treningowych. W celu uniknięcia powyższych zależności, w przyszłości należałoby skomplikować procedurę poprzez zastosowanie trudniejszych warunków zadania (np. 3–wstecz lub 4–wstecz).

Wyniki elektrofizjologiczne – potencjał P300 (pomiar posttest vs. pretest)

W żadnym z obu analizowanych warunków (1– oraz 2–wstecz) w grupie treningu poznawczego nie zaobserwowano zmian w zakresie latencji oraz amplitudy potencjału P300 (por. Ryc. 43, str. 181), który jest wskaźnikiem aktualizacji informacji w pamięci roboczej (Dolu i wsp., 2005). Oznaczałoby to, że trening *Dr Neuronowski*[®] nie wpłynął na parametry analizowanego potencjału P300, a więc nie udało się usprawnić procesów pamięci roboczej. Jednocześnie nie wykazano różnic istotnych statystycznie w grupach kontrolnej aktywnej oraz kontrolnej nieaktywnej. Pozwala to stwierdzić to, że potencjał P300 indukowany w ramach zastosowanych dwóch poziomów trudności (1– oraz 2–wstecz), może nie być adekwatną miarą do oceny potreningowych zmian w aktywności mózgu.

Jak wskazują wnioski z metaanalizy Jiang i wsp. (2015), potencjał P300 jest czułym wskaźnikiem ogólnego poziomu funkcjonowania umysłowego, a także skutecznym miernikiem deterioracji poznawczej. Pavarini wraz z zespołem (2018) przeprowadziła z kolei metaanalizę, która skupiła się na charakterystyce komponentu P300 u osób starszych. Przegląd obejmował 26 artykułów uwzględniających łącznie 940 zdrowych osób badanych w wieku senioralnym. Na podstawie przeprowadzonych analiz stwierdzono, że u zdrowych seniorów latencja potencjału P300 wzrasta o 2 ms wraz z każdym kolejnym rokiem, natomiast amplituda obniża się w sposób liniowy. Co istotne, na podstawie uzyskanych wyników autorzy zwracają uwagę, że poziom edukacji nie ma wpływu na parametry komponentu P300. Z kolei w przypadku chorób neurodegeneracyjnych, takich jak choroba Parkinsona lub choroba Alzheimera, bądź w zaburzeniach psychicznych, np. depresji, obserwuje się jeszcze większy wzrost latencji potencjału (Pavarini i wsp., 2018). Opisane zależności wskazują, że u osób w wieku senioralnym potencjał P300 jest skutecznym miernikiem pozwalającym ocenić poziom funkcji poznawczych.

Biorąc pod uwagę wysoką czułość komponentu P300, po treningu poznawczym *Dr Neuronowski*[®] oczekiwano zmian w zakresie latencji i amplitudy przytoczonego potencjału P300. Jednak jak wspomiano w Podrozdziale 5.2.2.1. (Wpływ poziomu trudności zadania na wykonanie zadania Słuchowej pamięci roboczej, str. 225), na poziomie elektrofizjologicznym nie zaobserwowano różnic pomiędzy warunkami 1–wstecz oraz 2–wstecz. To właśnie zbliżony przebieg obu komponentów uzyskanych w warunkach 1– i 2–wstecz sugeruje, że wskaźnik P300 otrzymany przeze mnie w niniejszym badaniu nie jest wystarczająco czuły, aby na poziomie elektrofizjologicznym wykazać potreningowe zmiany. Napotkane przeze mnie wyzwania związane z procedurą Słuchowej pamięci roboczej pozwalają stwierdzić, że w celu zmaksymalizowania czułości wskaźnika P300 w przyszłych badaniach należy zastosować bardziej rozbudowaną procedurę *n*-wstecz, która uwzględnia trudniejsze warunki tego zadania (np. 4– lub 5–wstecz).

Powyższe wyniki nie potwierdzają H3 i wskazują, że w wyniku treningu czasowego opracowywania informacji nie doszło do oczekiwanych zmian na poziomie elektrofizjologicznym ocenianym przy pomocy parametrów potencjału P300.

Wyniki elektrofizjologiczne – amplituda wskaźnika Obciążenie poznawcze (pomiar posttest vs. pretest)

Jak wspomiano w Metodzie, w wykonanych przeze mnie badaniach zastosowano także wskaźnik Obciążenia poznawczego, który odzwierciedla wysiłek poznawczy niezbędny do wykonania określonego zadania³. Odzwierciedla on kompleksową zależność pomiędzy wymogami zadania i faktycznymi zasobami badanego. W literaturze podkreśla się także, że metoda EEG jest najczulszym wskaźnikiem pomiaru obciążenia poznawczego, a w szczególności zalecana jest tu procedura *n*-wstecz (Berka i wsp., 2007; Christensen i wsp., 2012).

W wykonanych przeze mnie badaniach, po treningu *Dr Neuronowski*[®] wykazano obniżenie amplitudy Obciążenia poznawczego w warunku 1–wstecz. Wskazuje to na swoiste zmniejszenie wysiłku mentalnego włożonego w wykonanie tego zadania. Zmiany

³Dla przypomnienia: Obciążenie poznawcze definiowane jest jako rozbieżność pomiędzy wymogami zadania, a zasobami danej osoby, pozwalającymi wykonać zadanie. Obciążenie poznawcze wzrasta wraz z trudnością/skomplikowaniem zadania (Pergher i wsp., 2019). Wskaźnik ten odzwierciedla czysty wysiłek poznawczy niezbędny do wykonania danego zadania (por. 3.6.2.1. Zadanie 1 – Słuchowa pamięć robocza, str. 119).

te zaobserwowano wyłącznie w grupie treningu poznawczego, różnice w obu grupach kontrolnych były nieistotne statystycznie. Powyższe zależności wskazują na modyfikacje w działaniu sieci neuronalnej, jakie powstały w wyniku treningu eksperymentalnego. Jak wspominałam wcześniej, program interwencyjny *Dr Neuronowski*[®] skupia się na usprawnieniu matrycy neuronalnej, na której osadzone są różne funkcje poznawcze. Odnosząc się do przedstawionej we Wstępie propozycji nowej taksonomii funkcji umysłowych (str. 57–58), poprawa działania pojedynczego mechanizmu (jakim w tym przypadku jest czasowe opracowywanie informacji), w konsekwencji usprawnia działanie całego systemu, a więc także innych funkcji poznawczych. Usprawnienie tego mechanizmu, wykazane w moich badaniach, przejawia się w zaobserwowanym obniżeniu amplitudy wskaźnika Obciążenia poznawczego. Niższa amplituda zaobserwowana po treningu eksperymentalnym wskazuje, że osoby badane mogły angażować mniej zasobów poznawczych, aby sprostać wymogom zadania. Należy podkreślić, że na poziomie behawioralnym w grupie eksperymentalnej nie zaobserwowano zmian w pomiarach *pre-* oraz *posttest* w zakresie poprawności wykonania zadania *n-wstecz*. Oznacza to, że spadek amplitudy Obciążenia poznawczego wystąpił przy braku widocznych zmian w behawiorze. Możliwe, że zarejestrowane przeze mnie zmiany dla Obciążenia poznawczego stanowią wczesne oznaki usprawnienia działania sieci neuronalnej, które jeszcze nie ujawniły się w innych miarach (potencjale P300 i wskaźnikach behawioralnych). Można więc przypuszczać, że zaobserwowane przeze mnie zmiany mogą być odporne na ograniczenia spowodowane stosunkowo nielicznymi grupami uczestników, którzy wzięli udział w badaniu elektrofizjologicznym. Wspomniane ograniczenia mogły spowodować przedstawione powyżej rozbieżności w potreningowych zmianach w przypadku niektórych wskaźników behawioralnych i parametrów fali P300. Konkludując, wskaźnik Obciążenie poznawcze wydaje się być czulszą miarą zmian w działaniu sieci neuronalnej, gdyż uwzględnia kompleksowe relacje pomiędzy klasycznymi parametrami elektrofizjologicznymi.

Powyższe zależności wskazują, że trening poznawczy *Dr Neuronowski*[®] skutecznie usprawnia procesy poznawcze. W efekcie badani wykorzystują mniej zasobów poznawczych, aby skutecznie i poprawnie wykonać określone zadania. Można przypuszczać, że wydłużony trening lub pomiar zmian po dłuższym czasie od ukończenia treningu mógłby mieć wpływ na transparentną poprawę także w zakresie innych uwzględnionych w badaniu wskaźników funkcjonowania poznawczego.

Jak podano w Metodzie, wskaźnik Obciążenia poznawczego uzyskano z zastosowaniem fali odjętej w procedurze badającej potencjał P300 (por. 3.6.2.1. Zadanie 1 – Słuchowa pamięć

robocza, str. 118). Odnosząc się do przebiegu potencjałów obserwowanych w grupie eksperymentalnej w pomiarze *posttest* w porównaniu do pomiaru *pretest* (por. Ryc. 49, str. 189) można jednak zauważyć obniżenie amplitudy potencjału P300 w odpowiedzi na bodziec docelowy. Choć nie jest to zmiana istotna statystycznie, wydaje się prawdopodobne, że może ona stanowić podstawę obserwowanego istotnego obniżenia amplitudy wskaźnika Obciążenia poznawczego. W odniesieniu do literatury przedmiotu, przyjmuje się, że redukcja amplitudy potencjału P300 oznacza, że badani angażują mniej zasobów uwagowych w celu sprostania wymogom zadania (Gray i wsp., 2004; Polich, 2007). Biorąc powyższe pod uwagę, można przyjąć, że trening poznawczy *Dr Neuronowski*[®] prowadzi do obniżenia poziomu obciążenia poznawczego, ponieważ procesowanie odbieranych bodźców jest dla osób badanych mniej wymagające.

Powyższe zależności potwierdzają H3 i wskazują, że w wyniku treningu czasowego opracowywania informacji doszło do oczekiwanych zmian na poziomie elektrofizjologicznym. Istotne różnice zaobserwowano przy pomocy wskaźnika Obciążenia poznawczego, który nie został pierwotnie uwzględniony w H3. Podsumowując, uzyskane wyniki potwierdziły H3, jednocześnie wskazując, że to wskaźnik Obciążenia poznawczego okazał się znacznie czulszą miarą niż klasyczne parametry potencjału P300.

5.2.2.3. Wpływ poziomu trudności zadania na wykonanie zadania Porównywanie długości trwania bodźców słuchowych – pomiar *pretest*

Na podstawie analizy wykonanej na pomiarze *pretest* dla wszystkich osób badanych łącznie wykazano, że wyłącznie w warunkach łatwym ujawnił się potencjał MMN (por. Podrozdział 4.3.2.1. Wpływ poziomu trudności zadania, str. 192). Pomiędzy warunkami średniotrudnym oraz trudnym nie uzyskano różnic istotnych statystycznie. Również inspekcja wzrokowa nie ujawniła wystąpienia fali przypominającej potencjał niezgodności (por. Ryc. 51, str. 194). Pozwala to stwierdzić, że w obu tych przypadkach nie udało się zaobserwować potencjału MMN. Powyższe zależności mogą być związane ze schematem zastosowanej przez mnie procedury, w ramach której wyodrębniono trzy poziomy trudności, różniące się długością trwania bodźca wyróżnionego (por. Podrozdział 3.2.2.2. Procedura 2 – Porównywanie długości trwania bodźców słuchowych; str. 87). W przypadku warunków średniotrudnego oraz trudnego, różnica pomiędzy bodźcem standardowym a wyróżnionym wynosiła odpowiednio 20 ms oraz

10 ms. Biorąc pod uwagę wyniki pomiaru *pretest* dotyczące percepcji czasu mierzonej za pomocą PPK-R w każdej z trzech badanych grup (Grupa A=78 ms; Grupa B=74 ms; Grupa C=69 ms; por. Tab. 11, str. 126), można zauważyć, że warunki średniotrudny oraz trudny mieszczą się w innej, niż warunek łatwy, domenie czasowej. W warunku łatwym różnica pomiędzy bodźcem standardowym a wyróżnionym wynosi 60 ms (por. Podrozdział 3.2.2.2. Procedura 2 – Porównywanie długości trwania bodźców słuchowych; str. 87), jest więc zbliżona do zakresu mechanizmu kontrolującego sekwencjonowanie bodźców, jaką charakteryzują się osoby zakwalifikowane do udziału w niniejszym badaniu (por. w Tab. 11, str. 126). Z kolei w warunkach średniotrudnym oraz trudnym, różnica pomiędzy bodźcami (odpowiednio 20 ms i 10 ms) mieści się znacznie poniżej PPK-R, co wskazuje, że owa różnica nie została w ogóle zarejestrowana przez osoby badane.

5.2.2.4. Procedura 2 – Porównywanie długości trwania bodźców słuchowych

Potencjał MMN (omówienie różnic w pomiarze pretest oraz pomiar posttest vs. pretest)

W przypadku amplitudy potencjału MMN nie zaobserwowano różnic międzygrupowych w pomiarze *pretest*. Jednocześnie, wykazano istotne obniżenie amplitudy potencjału MMN na elektrodzie Fz wyłącznie w grupie treningu *Dr Neuronowski*[®]. Z kolei wyniki uzyskane w obu grupach kontrolnych były nieistotne statystycznie.

W odniesieniu do latencji potencjału MMN w pomiarze *pretest* wykazano dłuższą latencję fali niezgodności w grupie kontrolnej aktywnej na elektrodach F3 oraz FC1 w porównaniu do grup: eksperymentalnej oraz kontrolnej nieaktywnej. Z kolei docelowa analiza pomiarów *pre- vs. posttest* wskazała na wydłużenie latencji potencjału MMN na elektrodach Fz oraz F4 wyłącznie w grupie kontrolnej nieaktywnej.

W odniesieniu do literatury przedmiotu należy nadmienić, że znaczna część badań koncentruje się na amplitudzie, a nie na latencji potencjału MMN. Szereg dotychczas opublikowanych prac wskazuje na występujące wraz z wiekiem obniżenie amplitudy potencjału MMN u osób dorosłych i starszych (Cooper i wsp., 2006; Czigler i wsp., 1992; Gaeta i wsp., 1998; Pekkonen i wsp., 1996). Natomiast wyniki badań dotyczących wpływu wieku na latencję potencjału MMN są niespójne. Część z nich rzeczywiście wskazuje na współwystępujące wraz z wiekiem zmiany w zakresie latencji omawianego potencjału (Gaeta i wsp., 1998; Cooper i wsp., 2006).

Jednakże na podstawie różnych paradygmatów oraz procedur badawczych, Schiff i wsp. (2008) stwierdzają, że wraz z wiekiem dochodzi do zmian wyłącznie w zakresie amplitudy potencjału MMN. U osób w wieku senioralnym obserwuje się obniżenie amplitudy omawianego potencjału, natomiast wiek nie ma wpływu na latencję potencjału MMN (Schiff i wsp., 2008). W związku z powyższym, zmiany w zakresie latencji potencjału MMN uzyskane w niniejszym badaniu mogą być uznane za przypadkowe.

Literatura przedmiotu wskazuje, że potencjał MMN związany jest z automatycznym i przeduwagowym przetwarzaniem bodźców. Przyjmuje się, że fala niezgodności jest neurofizjologicznym znacznikiem słuchowej pamięci czuciowej (ang. *auditory sensory memory*; Näätänen i Winkler, 1999). Potencjał MMN uznawany jest za przeduwagowy wskaźnik procesów związanych z przetwarzaniem bodźców i występuje w sytuacji, w której bieżąco prezentowany bodziec odbiega od reprezentacji echoicznego śladu pamięciowego poprzednich bodźców (Lindín i wsp., 2013). Wskazuje się, że słuchowy potencjał MMN jest obiektywną miarą zdolności do różnicowania słuchowego (ang. *auditory discrimination*), a więc zdolności detekcji zmian akustycznych w środowisku (Näätänen i Alho, 1997). Ponieważ potencjał MMN jest generowany niezależnie od zaangażowania uwagi, przyjmuje się, że zachodzi automatycznie, bez świadomego wykorzystywania procesów poznawczych (Picton i wsp., 2000). Gaeta i wsp. (1998) wskazują na dwie możliwe przyczyny zmian amplitudy potencjału MMN, które są związane z wiekiem. Jedno z potencjalnych wyjaśnień zakłada, że ślad pamięciowy danego bodźca może być uboższy u osób starszych w porównaniu do osób młodych. Prawdopodobne wydaje się także pogorszenie skuteczności działania mechanizmu porównawczego, który pozwala określić niezgodność pomiędzy prezentowanymi bodźcami (Gaeta i wsp., 1998).

Wedle hipotezy, w wyniku treningu poznawczego oczekiwano wzrostu amplitudy potencjału MMN jako miary skuteczności treningu *Dr Neuronowski*[®]. Jednakże zaobserwowane przeze wyniki wskazują na obniżenie amplitudy fali niezgodności. Powyższy wynik jest spójny z ogólną tendencją obserwowaną w wykonanych przeze mnie badaniach. Podobne wyniki uzyskano także w przypadku wskaźnika amplitudy Obciążenia poznawczego, który również uległ obniżeniu (por. Podrozdział 5.2.2.2. Procedura 1 – Słuchowa pamięć robocza, str. 227). Odnosząc się do przebiegu zarejestrowanych potencjałów wywołanych (por. Ryc. 53, str. 200), można zauważyć, że po treningu poznawczym potencjał wywołany w odpowiedzi na bodziec wyróżniony ma zbliżony przebieg oraz amplitudę do potencjału wywołanego w odpowiedzi na bodziec standardowy. Powyższe zależności wskazują, że po treningu *Dr Neuronowski*[®]

bodziec wyróżniony jest procesowany w podobny sposób do bodźca standardowego, co wskazuje z kolei na swoiste uproszczenie sposobu przetwarzania nietypowych bodźców odbieranych z otoczenia.

Warto również wspomnieć przytoczone we Wstępie badanie, które wskazuje, że obniżenie aktywacji mózgu można traktować jako miarę skuteczności zastosowanych oddziaływań treningowych. Belleville i wsp. (2014) podkreślają, że jeśli w wyniku treningu poznawczego dochodzi do wyspecjalizowania funkcji, to jednocześnie można zaobserwować zredukowaną aktywność mózgu. Dzieje się tak, ponieważ wzrost efektywności zaangażowanych w zadanie obszarów mózgu przyczynia się do redukcji aktywności mózgu.

Prawdopodobnym wydaje się stwierdzenie, że unikalny mechanizm usprawnienia percepcji czasu, który zachodzi w wyniku treningu *Dr Neuronowski*[®], znajduje swoje odzwierciedlenie w przeprowadzonych przeze mnie badaniach elektrofizjologicznych w postaci obniżenia amplitud analizowanych wskaźników i prowadzi do mniejszego zaangażowania procesów poznawczych w celu sprostania wymogom zadania. Zaangażowanie mniejszych zasobów umożliwia wykonanie określonej aktywności umysłowej na podobnym poziomie. Jest to niezwykle istotne z punktu widzenia osób w wieku senioralnym, ponieważ trening *Dr Neuronowski*[®] indukuje swoisty mechanizm kompensujący, który pozwala na aktywne równoważenie procesów starzenia poznawczego.

Powyższe wyniki nie potwierdzałyby H3, wskazując, że w wyniku treningu percepcji czasu nie doszło do oczekiwanych zmian na poziomie elektrofizjologicznym ocenianym przy pomocy parametrów fali niezgodności MMN. Jednakże zaobserwowane zmiany dokumentują wystąpienie innego rodzaju poprawy na poziomie elektrofizjologicznym, która nastąpiła w wyniku treningu poznawczego *Dr Neuronowski*[®].

Potencjał N200 (pomiar posttest vs. pretest)

Jak wspomniano we Wstępie, potencjał N200 traktowany jest jako wskaźnik kontroli uwagi (Zendel i wsp., 2016). W odniesieniu do przeprowadzonych analiz, w grupie treningu poznawczego oraz kontrolnej nieaktywnej nie wykazano zmian w zakresie latencji i amplitudy potencjału N200 na żadnej z analizowanych elektrod. Wyłącznie w grupie kontrolnej aktywnej zaobserwowano wydłużenie latencji potencjału N200 na elektrodzie F4. Powyższa zmiana wydaje się jednak przypadkowa.

Otrzymane przeze mnie wyniki w zakresie potencjału N200 są częściowo spójne z wynikami behawioralnymi dotyczącymi kontroli hamowania, ponieważ w przypadku Testu Kontroli Hamowania zaobserwowano wyłącznie zmiany powiązane z kulturową preferencją lewego pola percepcyjnego (por. Podrozdział 5.2.1. Zmiany na poziomie behawioralnym str. 223–224). Powyższe zależności wskazują, że aspekt funkcji wykonawczych związany z kontrolą zachowania nie poddaje się treningowi *Dr Neuronowski*[®] lub jest powiązany z silnymi uwarunkowaniami kulturowymi.

Uzyskane przeze mnie wyniki nie potwierdzają H3 i wskazują, że wyniku treningu percepcji czasu nie dochodzi zmian na poziomie elektrofizjologicznym ocenianym przy pomocy parametrów potencjału N200.

5.2.3. Stabilność efektów uzyskanych w wyniku przeprowadzonego treningu

W odniesieniu do schematu procedur zastosowanych w niniejszym badaniu (por. Ryc. 14, str. 111) po upływie 8 tygodni od zakończenia treningów przeprowadzono Pomiar 3, a więc ocenę odroczoną (ang. *follow-up*). Diagnoza odroczonej została przeprowadzona w obu grupach uwzględniających procedury treningowe, a więc w grupie treningu poznawczego (A) i grupie kontrolnej aktywnej (B). W ramach procedur diagnostycznych powtórzono wszystkie testy behawioralne zastosowane w zarówno w pomiarach *pre-* oraz *posttest*.

Analizy statystyczne miały na celu porównanie różnic pomiędzy wynikami uzyskanymi w Pomiarze 3 (ocena odroczonej), a Pomiarze 2 (ocena *posttest*). Jak wiadomo, badania podłużne charakteryzują się swoistymi wzywaniem i często wraz z upływem czasu występują trudności z dostępnością osób badanych, aby wykonać kolejne procedury. W przeprowadzonych przeze mnie badaniach również nie udało się uniknąć tego problemu. Wystąpił on na etapie diagnozy odroczonej. W ocenie *posttest* w grupach A oraz B zebrano wyniki behawioralne łącznie od 51 osób badanych, natomiast w przypadku diagnozy odroczonej w grupach A i B udało się pozyskać obserwacje od 29 osób.

Analizom poddano wszystkie wskaźniki behawioralne, które uległy poprawie w wyniku treningu poznawczego (por. Tab. 23, str. 154–156). Przyjęto, że brak różnic istotnych statystycznie pomiędzy wynikami z Pomiarów 3 i 2, oznacza stabilność uzyskanych efektów.

Natomiast wykazanie różnicy pomiędzy wynikami Pomiarów 3 oraz 2 ilustruje albo dalej idącą poprawę, albo jej zanik (w zależności od kierunku uzyskanych zmian).

Otrzymane przez mnie wyniki wskazują na bardzo wysoką skuteczność treningu *Dr Neuronowski*[®], ponieważ po upływie 8 tygodni nie zaobserwowano zmian istotnych statystycznie pomiędzy pomiarem odroczonym a pomiarem *posttest* dla żadnego z analizowanych wskaźników. Oznacza to, że poprawa osiągnięta w zakresie czasowego opracowywania informacji, pamięci krótkotrwałej oraz funkcji wykonawczych jest stabilna w czasie, co znacząco podkreśla efektywność zastosowanego treningu poznawczego. Co więcej, w pomiarze odroczonym w grupie treningu poznawczego odnotowano dalszą poprawę percepcji czasu. Powyższy wynik może świadczyć o odroczonej skuteczności treningu *Dr Neuronowski*[®], chociaż w ograniczonym zakresie. Interesująca wydaje się możliwość, że już po ustaniu interwencji treningowej, zachodzą dalsze zmiany w działaniu matrycy neuronalnej, które zaindukowano podczas treningu. Zależność ta wymaga dalszych, pogłębionych badań. Zaobserwowano także polepszenie funkcji wykonawczych w grupie kontrolnej aktywnej B. Jest to wynik, którego nie zakładano, a do jego interpretacji niezbędne są kolejne badania, które pomogłyby zrozumieć zaobserwowany efekt.

Wyniki dotychczas opublikowanych badań w zakresie stabilności uzyskanych efektów treningów poznawczych są niespójne. Zelinski wraz z zespołem (2011) przeprowadziła badanie dotyczące skuteczności treningu poznawczego na grupie 487 seniorów, którzy mieli ukończone 65 lat. Osoby badane zostały losowo przydzielone do jednej z dwóch grup: eksperymentalnej lub kontrolnej aktywnej. Badacze wykazali poprawę funkcji poznawczych (pamięci oraz tempa przetwarzania informacji) w pomiarze *posttest*. Efekt ten utrzymał się w czasie, natomiast zaobserwowano jego osłabienie. W pomiarze odroczonym osoby badane osiągały gorsze rezultaty niż w pomiarze *posttest*, jednocześnie wyniki te były lepsze niż w pomiarze *pretest*. Autorzy wskazują, że powyższe wyniki podkreślają znaczenie regularnego i nieprzerwanego stosowania programu treningowego w celu utrzymania uzyskanej poprawy w zakresie funkcji poznawczych (Zelinski i wsp., 2011). Z kolei Fairchild i wsp. (2013) w celu podtrzymania efektów treningów podkreślają konieczność stosowania tzw. sesji wspomagających (*ang.* booster trainings), a więc dodatkowych sesji treningowych, które odbywają się już po zakończeniu pierwotnego programu treningowego. Natomiast badania dotyczące 8-tygodniowego, wielokomponentowego treningu poznawczego, który został przeprowadzony na grupie 77 osób (średnia wieku osób badanych wynosiła 65 lat) nie wykazały istotnej statystycznie poprawy w żadnej z ćwiczonych funkcji poznawczych (treningowi podlegała

pamięć, uwaga, funkcje wykonawcze oraz funkcje wzrokowo-przestrzenne; Srisuwan i wsp., 2020).

Warto podkreślić, że pomiar odroczonego to niezwykle istotny czynnik wpływający na rozwój skutecznych metod treningowych. Dane zebrane w ten sposób mogą prowadzić do lepszego zrozumienia, jak treningi poznawcze przyczyniają się do trwałych zmian funkcjonowania poznawczego u osób badanych (Rahe i wsp., 2015).

Przytoczone wyniki potwierdzają H2 i wskazują, że w wyniku treningu eksperymentalnego doszło do poprawy funkcji poznawczych, która jest stabilna i utrzymuje się w czasie.

5.2.4. Transfer poprawy

W prezentowanych badaniach zaobserwowano transfer poprawy z domeny czasowej do innych domen poznawczych w przypadku pamięci oraz funkcji wykonawczych.

Jak wskazano we Wstępie (por. Podrozdział 1.4.1., str. 51), u podłoża działania ludzkiego umysłu leży specyficzna dynamika czasowa, która kształtuje ramy jego funkcjonowania, tworząc swoistą matrycę czasową (Szeląg i wsp., 2004). Oznacza to więc, że wszystkie funkcje poznawcze w czasie, są więc osadzone na wspomnianej matrycy czasowej. W związku z tym procesy umysłowe człowieka można rozpatrywać jako ciąg dynamicznych funkcji. Mając to na względzie, prawdopodobnym wydaje się, że transfer daleki nastąpił wskutek treningu mechanizmu czasowego, który został wkomponowany w każdą grę programu *Dr Neuronowski*[®]. W odniesieniu do nowej taksonomii funkcji poznawczych (por. Podrozdział 1.4.3., str. 57–58), usprawnienie funkcji logistycznej, jaką jest czasów opracowywanie informacji doprowadziło do poprawy w zakresie funkcji kontekstowych (pamięci oraz funkcji wykonawczych jako funkcji, u których wykazano poprawę istotną statystycznie). Analogiczna sytuacja związana jest z wynikami badań elektrofizjologicznych opisanych powyżej. Usprawnienie percepcji czasu jako funkcji logistycznej wygenerowało obniżenie amplitud wskaźnika Obciążenia poznawczego oraz fali niezgodności. Jednocześnie należy podkreślić, że zjawisko transferu dalekiego najprawdopodobniej zaszło w drodze dwóch procesów. Pierwszy mechanizm został opisany powyżej, dodatkowo zaobserwowana poprawa mogła zostać wsparta bezpośrednim treningiem poszczególnych funkcji poznawczych w ramach wykonywanych zadań ćwiczeniowych.

W tym miejscu należy także podkreślić znaczenie przeprowadzonych analiz korelacyjnych, które także wskazują na występujące związki pomiędzy percepcją czasu a elektrofizjologicznymi korelatami funkcji poznawczych w pomiarze *posttest* (por. Podrozdział 4.4. Elektrofizjologiczne korelaty wybranych funkcji poznawczych – testowanie H5, str. 207). Wyłącznie w grupie treningu poznawczego wykazano związek pomiędzy czasowym przetwarzaniem informacji, a wskaźnikiem Obciążenia poznawczego, który uwidoczniał się jako istotna korelacja pomiędzy tymi wskaźnikami (por. Ryc. 58, str. 211). Po zastosowaniu treningu *Dr Neuronowski*[®] u osób badanych zaobserwowano następującą zależność: niższy próg Czasowego przetwarzania informacji jest związany z mniejszą Amplitudą obciążenia poznawczego. Oznacza to, że osoby charakteryzujące się sprawniejszą percepcją czasu angażują mniej zasobów poznawczych aby zrealizować określone zadanie. Korelacje te w obu grupach kontrolnych były nieistotne statystycznie. Powyższy wynik stanowi przejaw transferu dalekiego i przykład integracyjnego działania mózgu (Konorski, 1969) oraz potwierdza H5.

Biorąc pod uwagę spójność w zakresie uzyskanych wyników, można przyjąć, że to właśnie poprawa percepcji czasu, a w konsekwencji poprawa innych funkcji poznawczych poprzez wystąpienie zjawiska transferu dalekiego stanowi mechanizm usprawniający w programie treningowym *Dr Neuronowski*[®]. Odnosząc się do słów Susanne Jaeggi, pionierki zajmującej się badaniem efektywności treningów poznawczych, należy odejść od zero-jedynkowej oceny skuteczności programów interwencyjnych. Badacze nie powinni skupiać się na pytaniu: „Czy trening działa?”, tylko starać się odpowiedzieć na pytanie: „Jakie warunki treningowe prowadzą do najlepszych efektów?” (Jaeggi i wsp., 2011). Wg Jaeggi i wsp. (2011) to właśnie poznanie czynników wpływających na zjawisko transferu jest kluczowe i pozwoli stworzyć najbardziej efektywne programy treningowe.

Podsumowując wyniki elektrofizjologiczne, w grupie treningu poznawczego udało się uzyskać poprawę w zakresie czasowego opracowywania informacji, pamięci krótkotrwałej oraz funkcji wykonawczych. Nie wykazano skuteczności treningu percepcji czasu w stosunku do pamięci roboczej oraz podzielności i utrzymywania uwagi. Jednocześnie nie wykazano zmian istotnych statystycznie w grupach kontrolnej aktywnej oraz kontrolnej nieaktywnej. Powyższe wyniki w znacznym stopniu potwierdzają H1, zgodnie z którą w wyniku treningu czasowego opracowywania informacji nastąpi usprawnienie różnych funkcji poznawczych (por. Podrozdział 2.2. Hipotezy badawcze, str. 61).

5.3. Ograniczenia przeprowadzonego badania i dalsze kierunki prac badawczych

Jednym z celów niniejszej pracy była weryfikacja skuteczności zmodyfikowanego programu treningowego *Dr Neuronowski*[®] w grupie osób w wieku senioralnym. Uzyskane wyniki wskazują, że zastosowany program interwencyjny może być skuteczną metodą usprawniającą funkcje poznawcze seniorów, a w szczególności: percepcję czasu, pamięć oraz funkcje wykonawcze. Niemniej, przeprowadzone przeze mnie badania obciążone były pewnymi ograniczeniami, które zostały podsumowane poniżej.

Mała liczebność grup

Stosunkowo niewielka liczebność grup stanowi znaczące ograniczenie niniejszego badania. Bardzo surowe medyczne i psychologiczne kryteria rekrutacji, które miały na celu zadbać o bezpieczeństwo seniorów, a także o spójną i zbliżoną charakterystykę osób badanych spowodowała, że wiele osób nie mogło zostać włączonych do tego projektu. Wstępnie, do udziału w badaniu zgłosiło się ok. 350 seniorów, jednakże zdrowotne kryteria kwalifikacji spełniły ostatecznie wyłącznie 94 osoby. Niemniej, zastosowanie restrykcyjnych kryteriów

włączania badanych do projektu było niezbędne aby uniknąć wpływów związanych z aktualnym stanem zdrowia seniorów.

Należy także nadmienić, że najprawdopodobniej ta restrykcyjna kwalifikacja spowodowała, że osoby badane nie stanowią reprezentatywnej grupy do wyciągnięcia uogólnionych wniosków odnośnie większej populacji seniorów. Wobec występowania poważnych problemów zdrowotnych, trening funkcji poznawczych może nie być wystarczająco skuteczny gdyż potrzebne są wówczas inne działania medyczne. Ponadto, van Beijsterveldt i wsp. (2002) podkreślają, że osoby badane, które angażują się i w pełni kończą projekt wymagający dużych nakładów czasowych, są osobami charakteryzującymi się wysoką motywacją poznawczą, co jak wynika z mojej obserwacji pozostaje w związku z indywidualnymi zasobami takimi jak: zdobyte wykształcenie, pozycja społeczna i dobry stan zdrowia.

Ponadto, typowo dla badań podłużnych, odnotowałam przypadki rezygnacji z udziału w projekcie. Pełny udział seniora w badaniu obejmował okres około trzech miesięcy, na które składało się łącznie około 12 sesji diagnostycznych oraz 24 sesje treningowe. Wymagana przez nas czasochłonność i systematyczność zniechęcała niektóre osoby badane. Warto nadmienić, że część obecnie publikowanych badań umożliwia odbywanie sesji treningowych w domu (Gigler i wsp., 2013; Nouchi i wsp., 2013). Chociaż jest to aspekt, który mógłby ułatwić prowadzenie badań podłużnych, uważam, że należy traktować go z dużą ostrożnością. W przypadku naszego projektu, sesje treningowe odbywały się wyłącznie w Instytucie Biologii Doświadczalnej PAN. Powyższa sytuacja umożliwiła monitorowanie każdej sesji treningowej u każdej osoby badanej, co pozwala na uzyskanie względnej pewności, że badani przykładali się do trenowanych zadań. Jednocześnie, nadzorowanie przeze mnie każdego treningu pozwoliło na monitorowanie i natychmiastowe rozwiązywanie wszelkich trudności i problemów natury technicznej.

Dysproporcja płci

Należy podkreślić, że większość grupy (87%) stanowiły kobiety. Obserwowana dysproporcja odzwierciedla charakterystykę populacji seniorów w Polsce, ponieważ kobiety stanowią prawie 60% osób powyżej 60. roku życia, co jest związane z większą umieralnością mężczyzn w tej grupie wiekowej (GUS, 2021). Co więcej, zauważa się, że kobiety w wieku senioralnym, chętniej niż mężczyźni angażują się w aktywne spędzanie wolnego czasu i dalszą edukację. Dane Głównego Urzędu Statystycznego z 2019 r. wskazują, że to kobiety stanowią prawie 85%

słuchaczy i uczestników Uniwersytetów Trzeciego Wieku. Prowadzone przeze mnie szeroko zakrojona rekrutacja i aktywne poszukiwanie osób badanych (kluby seniora, działkowcy, szachiści, marketing bezpośredni) nie dało spodziewanego rezultatu i nie udało się zainteresować udziałem ani zakwalifikować do projektu większego odsetka mężczyzn.

Zredukowana grupa uczestników w badaniu odroczonej

W przypadku diagnozy odroczonej, nie udało się uniknąć trudności związanych z rezygnacją uczestników na tym etapie badania i wiele osób badanych odmówiło udziału w Pomiarze 3. Spowodowało to stosunkowo niewielkie liczebności grup treningu poznawczego oraz treningu kontrolnego aktywnego, a co za tym idzie zebrano ograniczoną ilość danych, co utrudniło wnioskowanie dotyczące stabilności uzyskanych wyników. Przyszłe badania powinny uwzględnić czynniki wysoko motywujące, które zachęcą uczestnika badania do udziału w projekcie na każdym jego etapie.

Pomimo powyższych trudności, przeprowadzone przeze mnie badanie charakteryzuje kilka istotnych zalet. Zgodnie z aktualnie wprowadzonymi standardami badań (Bruderer-Hofstetter i wsp., 2018; Green i wsp., 2014; Morat i wsp., 2021), schemat prowadzonych badań obejmował wprowadzenie dwóch grup kontrolnych: aktywnej oraz nieaktywnej. Wszystkie spotkania diagnostyczne oraz treningowe prowadzone były w odpowiednio do tego przygotowanych pomieszczeniach, z ogromną dbałością o komfort i bezpieczeństwo osób badanych. Zadbano, aby w pomieszczeniach było cicho oraz spokojnie, unikano rozpraszających bodźców. Identyczny standard zachowano w przypadku każdej osoby badanej na każdym etapie projektu. Badani korzystali z dokładnie takiego samego sprzętu diagnostycznego oraz treningowego. Aby zminimalizować wpływ eksperymentatora na uzyskane wyniki, sesje diagnostyczne przeprowadzali zmieniający się zgodnie z grafiką dyżurów badacze zatrudnieni w projekcie NCN. Osoby badane traktowano w sposób zindywidualizowany oraz dbano o możliwie jak najwyższy poziom motywacji.

5.4. Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzone przeze mnie badanie pozwoliło stwierdzić, że program terapeutyczny *Dr Neuronowski*[®] jest efektywną metodą, która umożliwia poprawę funkcji poznawczych u osób w wieku senioralnym. Częstkowe wnioski są zamieszczone w ramach po omówieniu poszczególnych wyników kolejnych procedur.

Odnosząc się do praktycznych implikacji wyników uzyskanych w niniejszej rozprawie doktorskiej, można stwierdzić, że *Dr Neuronowski*[®] z wbudowanym unikalnym komponentem percepcji czasu, stanowi skuteczną alternatywę dla klasycznych treningów komputerowych. Wysoka efektywność treningu *Dr Neuronowski*[®] wiąże się z jego podstawowymi cechami: jest to wielomodalny i adaptacyjny program komputerowy. Jak wskazuje literatura przedmiotu (Matysiak i Brzezicka; 2017) są to właściwości, które umożliwiają osiągnięcie najlepszych rezultatów treningowych.

Podsumowując, odnotowano poprawę w zakresie: percepcji czasu, pamięci krótkotrwałej werbalnej oraz przestrzennej, zdolności planowania i kontroli hamowania. Wykazano także, że poprawa ta była stabilna w czasie i utrzymywała się przez okres 2 miesięcy od ukończenia treningów. Co więcej, zmianom na poziomie behawioralnym, towarzyszyły zmiany na poziomie elektrofizjologicznym. Zaobserwowano obniżenie amplitudy fali niezgodności oraz wskaźnika Obciążenia poznawczego, co wskazuje na usprawnienie działania sieci neuronalnej.

Przeprowadzone przeze mnie badania pozwalają wnioskować, że funkcjonowanie poznawcze seniora można usprawniać poprzez odpowiedni trening.

Podsumowując:

- trening percepcji czasu jest skuteczną metodą usprawniającą: czasowe opracowywanie informacji, pamięć krótkotrwałą werbalną oraz przestrzenną, zdolność planowania oraz kontrolę hamowania. Nie wykazano poprawy w zakresie pamięci roboczej, podzielności oraz utrzymania uwagi (H1);
- poprawa uzyskana po treningu percepcji czasu jest stabilna w czasie (H2);
- wystąpiło przesunięcie topografii potencjału P300 z typowych okolic ciemieniowych w okolice czołowe (H4);

- większa sprawność w zakresie percepcji czasu wiąże się z mniejszym mentalnym zaangażowaniem w celu sprostania wymogom zadania (H5);
- nie potwierdzono skrócenia latencji ani wzrostu amplitudy potencjałów: P300, MMN oraz N200 (H3). Jednakże wykazano spadek amplitudy MMN i nowo opracowanego wskaźnika obciążenia poznawczego.

BIBLIOGRAFIA

1. Aguiar Jr, A. S., Castro, A. A., Moreira, E. L., Glaser, V., Santos, A. R., Tasca, C. I., Latini, A., i Prediger, R. D. (2011). Short bouts of mild-intensity physical exercise improve spatial learning and memory in aging rats: involvement of hippocampal plasticity via AKT, CREB and BDNF signaling. *Mechanisms of Ageing and Development*, 132(11-12), 560–567. <http://doi.org/10.1016/j.mad.2011.09.005>
2. Allain, P., Nicoleau, S., Pinon, K., Etcharry-Bouyx, F., Barré, J., Berrut, G., Dubas, F., i Le Gall, D. (2005). Executive functioning in normal aging: A study of action planning using the Zoo Map Test. *Brain and Cognition*, 57(1), 4–7. <http://doi.org/10.1016/j.bandc.2004.08.011>
3. Alloway, T., I Alloway, R. (2009). The efficacy of working memory training in improving crystallized intelligence. *Nature Precedings*, 1–1. <https://doi.org/10.1038/npre.2009.3697.1>
4. Alperin, B. R., Mott, K. K., Rentz, D. M., Holcomb, P. J., i Daffner, K. R. (2014). Investigating the age-related “anterior shift” in the scalp distribution of the P3b component using principal component analysis. *Psychophysiology*, 51(7), 620–633. <https://doi.org/10.1111/psyp.12206>
5. Amenedo, E., i Escera, C. (2000). The accuracy of sound duration representation in the human brain determines the accuracy of behavioural perception. *European Journal of Neuroscience*, 12(7), 2570–2574. <https://doi.org/10.1046/j.1460-9568.2000.00114.x>
6. Au, J., Gibson, B. C., Bunarjo, K., Buschkuehl, M., i Jaeggi, S. M. (2020). Quantifying the difference between active and passive control groups in cognitive interventions using two meta-analytical approaches. *Journal of Cognitive Enhancement*, 4, 192–210. <https://doi.org/10.1007/s41465-020-00164-6>
7. Baddeley, A. (1992). Working memory. *Science*, 255(5044), 556–559. <https://doi.org/10.1126/science.1736359>
8. Baddeley, A. D., i Hitch, G. (1974). Working memory. *Psychology of Learning and Motivation*, 8, 47–89. [https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60452-1](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60452-1)
9. Baltes, P. B., i Lindenberger, U. (1997). Emergence of a powerful connection between sensory and cognitive functions across the adult life span: a new window to the study of cognitive aging?. *Psychology and Aging*, 12(1), 12. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.12.1.12>

10. Baltes, P. B. i Willis, S. L. (1982). Plasticity and enhancement of intellectual functioning in old age. W: F. I. Craik. S. Trehub (red.), *Aging and cognitive processes* (s. 353-389). New York: Plenum.
11. Barczak, A. (2014). Wykształcenie, aktywność umysłowa i socjalna jako czynniki protekcyjne otępienia. *Aktualności Neurologiczne*, 3(14), 161–166. <https://doi.org/10.15557/AN.2014.0018>
12. Basak, C., Qin, S., i O'Connell, M. A. (2020). Differential effects of cognitive training modules in healthy aging and mild cognitive impairment: A comprehensive meta-analysis of randomized controlled trials. *Psychology and Aging*, 35(2), 220–249. <https://doi.org/10.1037/pag0000442>
13. Basak, C., i Verhaeghen, P. (2011). Aging and switching the focus of attention in working memory: age differences in item availability but not in item accessibility. *Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 66(5), 519–526. <http://doi.org/10.1093/geronb/gbr028>
14. Baykara, E., Könen, T., Unger, K., i Karbach, J. (2021). MRI predictors of cognitive training outcomes. *Journal of Cognitive Enhancement*, 5(2), 245–258. <https://doi.org/10.1007/s41465-020-00188-y>
15. Bednarek, H., Przedniczek, M., Olszewska, J. M., Niewiarowski, J., i Orzechowski, J. (2021). The near-and far-transfer effects of cognitive training on attentional networks in women and men. *Journal of Cognitive Psychology*, 33(4), 453–469. <https://doi.org/10.1080/20445911.2021.1916508>
16. Belleville, S., Clement, F., Mellah, S., Gilbert, B., Fontaine, F., i Gauthier, S. (2011). Training-related brain plasticity in subjects at risk of developing Alzheimer's disease. *Brain*, 134(6), 1623–1634. <https://doi.org/10.1093/brain/awr037>
17. Belleville, S., Cloutier, S., Mellah, S., Willis, S., Vellas, B., Andrieu, S., Coley, N., Ngandu, T., MAPT/DSA group. (2022). Is more always better? Dose effect in a multidomain intervention in older adults at risk of dementia. *Alzheimer's & Dementia*, 1–11. <https://doi.org/10.1002/alz.12544>
18. Belleville, S., Mellah, S., de Boysson, C., Demonet, J. F., i Bier, B. (2014). The pattern and loci of training-induced brain changes in healthy older adults are predicted by the nature of the intervention. *PloS one*, 9(8), e102710. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0102710>
19. Bennett, D. A., Schneider, J. A., Tang, Y., Arnold, S. E., i Wilson, R. S. (2006). The effect of social networks on the relation between Alzheimer's disease pathology and

- level of cognitive function in old people: a longitudinal cohort study. *The Lancet Neurology*, 5(5), 406-412. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(06\)70417-3](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(06)70417-3)
20. Berka, C., Levendowski, D. J., Lumicao, M. N., Yau, A., Davis, G., Zivkovic, V. T., Olmstead, R. E., Tremoulet, P. D. i Craven, P. L. (2007). EEG correlates of task engagement and mental workload in vigilance, learning, and memory tasks. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 78(5), B231–B244. <https://doi.org/10.3390/brainsci13010095>
 21. Berry A. S., Zanto T. P., Clapp W. C., Hardy J. L., Delahunt P. B., Mahncke H. W., i Gazzaley A. (2010). The influence of perceptual training on working memory in older adults. *PLoS One*, 5, e11537. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0011537>
 22. Bélanger, E., Ahmed, T., Vafaei, A., Curcio, C. L., Phillips, S. P., i Zunzunegui, M. V. (2016). Sources of social support associated with health and quality of life: a cross-sectional study among Canadian and Latin American older adults. *BMJ open*, 6(6), e011503. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2016-011503>
 23. Bherer, L. (2015). Cognitive plasticity in older adults: effects of cognitive training and physical exercise. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1337(1), 1–6. <https://doi.org/10.1111/nyas.12682>
 24. Boman, I. L., Lindstedt, M., Hemmingsson, H., i Bartfai, A. (2004). Cognitive training in home environment. *Brain Injury*, 18(10), 985–995. <https://doi.org/10.1080/02699050410001672396>
 25. Boot, W. R., Blakely, D. P., i Simons, D. J. (2011). Do action video games improve perception and cognition? *Frontiers in Psychology*, 2, 226. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00226>
 26. Borella, E., Carretti, B., Riboldi, F., i De Beni, R. (2010). Working memory training in older adults: evidence of transfer and maintenance effects. *Psychology and Aging*, 25(4), 767. <https://doi.org/10.1037/a0020683>
 27. Bottiroli, S., i Cavallini, E. (2009). Can computer familiarity regulate the benefits of computer-based memory training in normal aging? A study with an Italian sample of older adults. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 16(4), 401–418. <https://doi.org/10.1080/13825580802691763>
 28. Bourassa, K. J., Memel, M., Woolverton, C., i Sbarra, D. A. (2017). Social participation predicts cognitive functioning in aging adults over time: comparisons with physical health, depression, and physical activity. *Aging & Mental Health*, 21(2), 133–146. <https://doi.org/10.1080/13607863.2015.1081152>

29. Boyke, J., Driemeyer, J., Gaser, C., Büchel, C., i May, A. (2008). Training-induced brain structure changes in the elderly. *Journal of Neuroscience*, 28(28), 7031–7035. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0742-08.2008>
30. Brehmer, Y., Kalpouzos, G., Wenger, E., i Lövdén, M. (2014). Plasticity of brain and cognition in older adults. *Psychological Research*, 78(6), 790–802. <https://doi.org/10.1007/s00426-014-0587-z>
31. Brehmer, Y., Li, S.-C., Müller, V., von Oertzen, T., i Lindenberger, U. (2007). Memory plasticity across the life span: uncovering children’s latent potential. *Developmental Psychology*. 43, 465–478. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.43.2.465>
32. Brehmer, Y., Rieckmann, A., Bellander, M., Westerberg, H., Fischer, H., i Bäckman, L. (2011). Neural correlates of training-related working-memory gains in old age. *Neuroimage*, 58(4), 1110–1120. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.06.079>
33. Brickman, A. M., i Stern, Y. (2009). Aging and memory in humans. W: P. R. Hof. C. V. Mobbs (red.), *Handbook of the neuroscience of aging* (s. 243–248). Elsevier Academic Press.
34. Bruderer-Hofstetter, M., Rausch-Osthoff, A. K., Meichtry, A., Münzer, T., i Niedermann, K. (2018). Effective multicomponent interventions in comparison to active control and no interventions on physical capacity, cognitive function and instrumental activities of daily living in elderly people with and without mild impaired cognition—A systematic review and network meta-analysis. *Ageing Research Reviews*, 45, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2018.04.002>
35. Brzeziński, J., Gaul, M., Hornowska, E., Jaworowska, A., Machowski, A., i Zakrzewska, M. (2011). *WAIS-R (PL)–Skala inteligencji Wechslera dla dorosłych–wersja zrewidowana*. Warszawa: Pracownia Testów Psychologicznych Polskiego Towarzystwa Psychologicznego
36. Bugos J. A., Perlstein W. M., McCrae C. S., Brophy T. S., i Bedenbaugh P. H. (2007). Individualized piano instruction enhances executive functioning and working memory in older adults. *Ageing and Mental Health*, 11, 464–471. <https://doi.org/10.1080/13607860601086504>
37. Buhusi, C. V. i Meck, W. H. (2005). What makes us tick? Functional and neural mechanisms of interval timing. *Nature Reviews Neuroscience*, 6(10), 755–765. <https://doi.org/10.1038/nrn1764>

38. Burke, D. M., i MacKay, D. G. (1997). Memory, language, and ageing. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 352(1363), 1845–1856. <https://doi.org/10.1098/rstb.1997.0170>
39. Burgess, N., i Hitch, G. J. (2006). A revised model of short-term memory and long-term learning of verbal sequences. *Journal of Memory and Language*, 55(4), 627–652. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2006.08.005>
40. Butler, M., McCreedy, E., Nelson, V. A., Desai, P., Ratner, E., Fink, H. A., Hemmy, L., McCarten, J., Barclay, T., Brasure, M., Davila, H. i Kane, R. L. (2018). Does cognitive training prevent cognitive decline? A systematic review. *Annals of Internal Medicine*, 168(1), 63–68. <https://doi.org/10.7326/M17-1531>
41. Byczewska-Konieczny, K. (2017). *Jak starzeje się umysł?: o funkcjonowaniu poznawczym osób starszych i jego zróżnicowaniu indywidualnym*. Kraków: Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego.
42. Cabeza, R. (2002). Hemispheric asymmetry reduction in older adults: the HAROLD model. *Psychology and Aging*, 17(1), 85. <https://doi.org/10.1037//0882-7974.17.1.85>
43. Cabeza, R., Albert, M., Belleville, S., Craik, F., Duarte, A., Grady, C., Lindenberger, U., Nyberg, L., Park, D., Reuter-Lorenz, P., Rugg, M., Steffener, J., Rajah, M. N. (2018). Cognitive neuroscience of healthy aging: Maintenance, reserve, and compensation. *Nature Reviews. Neuroscience*, 19(11), 701–710. <https://doi.org/10.1038/s41583-018-0068-2>
44. Cabeza, R., Grady, C. L., Nyberg, L., McIntosh, A. R., Tulving, E., Kapur, S., Jennings, J. M., Houle, S., i Craik, F. I. (1997). Age-related differences in neural activity during memory encoding and retrieval: a positron emission tomography study. *Journal of Neuroscience*, 17(1), 391–400. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.17-01-00391.1997>
45. Cambridge Cognition (2014). *CANTABeclipse Test Administration Guide*. Cambridge UK: Cambridge Cognition.
46. Cameron, J., Rendell, P. G., Ski, C. F., Kure, C. E., McLennan, S. N., Rose, N. S., Prior, D., i Thompson, D. R. (2015). PROspective MEMory Training to improve HEart failUre Self-care (PROMETHEUS): study protocol for a randomised controlled trial. *Trials*, 16(1), 1–14. <https://doi.org/10.1186/s13063-015-0721-2>
47. Camina, E., i Güell, F. (2017). The neuroanatomical, neurophysiological and psychological basis of memory: Current models and their origins. *Frontiers in Pharmacology*, 8, 438. <https://doi.org/10.3389/fphar.2017.00438>

48. Cao, W., Cao, X., Hou, C., Li, T., Cheng, Y., Jiang, L., Luo, C., Li, C. i Yao, D. (2016). Effects of cognitive training on resting-state functional connectivity of default mode, salience, and central executive networks. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 8, 70. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2016.00070>
49. Carhart, R. (1971). Observations on relations between thresholds for pure tones and for speech. *Journal of Speech and Hearing Disorders*. 36, 476–483. <https://doi.org/10.1044/jshd.3604.476>
50. Clare, L., i Woods, B. (2003). Cognitive rehabilitation and cognitive training for early-stage Alzheimer's disease and vascular dementia. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 4. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD003260>
51. Chein, J.M., Morrison, A.B. (2010). Expanding the mind's workspace: Training and transfer effects with a complex working memory span task. *Psychonomic Bulletin & Review*, 17(2), 193–199. <https://doi.org/10.3758/PBR.17.2.193>
52. Chen, Y., Lv, C., Li, X., Zhang, J., Chen, K., Liu, Z., Li, H., Fan, J., Qin, T., Luo, L., i Zhang, Z. (2019). The positive impacts of early-life education on cognition, leisure activity, and brain structure in healthy aging. *Aging (Albany NY)*, 11(14), 4923. <https://doi.org/10.18632/aging.102088>
53. Chen, Y. N., Mitra, S., i Schlaghecken, F. (2008). Sub-processes of working memory in the N-back task: an investigation using ERPs. *Clinical Neurophysiology*, 119(7), 1546–1559. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2008.03.003>
54. Chiu, H. L., Chu, H., Tsai, J. C., Liu, D., Chen, Y. R., Yang, H. L., i Chou, K. R. (2017). The effect of cognitive-based training for the healthy older people: A meta-analysis of randomized controlled trials. *PloS one*, 12(5), e0176742. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0176742>
55. Christensen, J. C., Estepp, J. R., Wilson, G. F., i Russell, C. A. (2012). The effects of day-to-day variability of physiological data on operator functional state classification. *NeuroImage*, 59(1), 57–63. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.07.091>
56. Cohen, J. D. (2004). Cognitive control (executive functions): role of prefrontal cortex. W: J. S. Neil. B. B. Paul (red.), *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences* (s. 2089–2094). Oxford: Pergamon.
57. Commodari, E., i Guarnera, M. (2008). Attention and aging. *Aging Clinical and Experimental Research*, 20(6), 578–584. <https://doi.org/10.1007/BF03324887>

58. Cooper, R. J., Todd, J., McGill, K., i Michie, P. T. (2006). Auditory sensory memory and the aging brain: a mismatch negativity study. *Neurobiology of Aging*, 27(5), 752–762. <http://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2005.03.012>
59. Corbett, A., Owen, A., Hampshire, A., Grahn, J., Stenton, R., Dajani, S., Burns, A., Howard, R., Williams, N., Williams, G., i Ballard, C. (2015). The effect of an online cognitive training package in healthy older adults: an online randomized controlled trial. *Journal of the American Medical Directors Association*, 16(11), 990-997. <http://doi.org/10.1016/j.jamda.2015.06.014>
60. Corbetta, M., i Shulman, G. L. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 3(3), 201–215. <https://doi.org/10.1038/nrn755>
61. Cornwell, B., i Laumann, E. O. (2015). The health benefits of network growth: New evidence from a national survey of older adults. *Social Science & Medicine*, 125, 94–106. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2013.09.011>
62. Corsi, P. M. (1972). *Human memory and the medial temporal region of the brain*. Nieopublikowana rozprawa doktorska. Wydział Psychologii, McGill University.
63. Cowan, N. (2008). What are the differences between long-term, short-term, and working memory?. *Progress in Brain Research*, 169, 323–338. [https://doi.org/10.1016/S0079-6123\(07\)00020-9](https://doi.org/10.1016/S0079-6123(07)00020-9)
64. Crawford, J. R., Bryan, J., Luszcz, M. A., Obonsawin, M. C., i Stewart, L. (2000). The executive decline hypothesis of cognitive aging: Do executive deficits qualify as differential deficits and do they mediate age-related memory decline? *Aging, Neuropsychology and Cognition*, 7, 9–31. <https://doi.org/10.1076/anec.7.1.9.806>
65. Czigler, I., Csibra, G., i Csontos, A. (1992). Age and inter-stimulus interval effects on event-related potentials to frequent and infrequent auditory stimuli. *Biological Psychology*, 33(2–3), 195–206. [http://doi.org/10.1016/0301-0511\(92\)90031-o](http://doi.org/10.1016/0301-0511(92)90031-o)
66. Daniluk, B., i Szepietowska, E. M. (2011). Zaburzenia pamięci w następstwie uszkodzeń mózgu. W: Ł. Domańska. A. Borkowska (red.), *Podstawy Neuropsychologii Klinicznej*, (s. 23–40). Lublin: Wydawnictwo UMCS.
67. Dacewicz, A. (2018). *Zastosowanie treningu czasowego opracowywania informacji w rehabilitacji dzieci ze specyficznym zaburzeniem rozwoju mowy i języka (SLI)*. Nieopublikowana rozprawa doktorska, Instytut Biologii Doświadczalnej im. M. Nenckiego, Polska Akademia Nauk, Warszawa.

68. Davis, S. W., Dennis, N. A., Daselaar, S. M., Fleck, M. S., i Cabeza, R. (2008). Que PASA? The posterior–anterior shift in aging. *Cerebral Cortex*, *18*(5), 1201–1209. <http://doi.org/10.1093/cercor/bhm155>
69. de Gobbi Porto, F. H., Fox, A. M., Tusch, E. S., Sorond, F., Mohammed, A. H., i Daffner, K. R. (2015). In vivo evidence for neuroplasticity in older adults. *Brain Research Bulletin*, *114*, 56–61. <http://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2015.03.004>
70. De Marco, M., Meneghello, F., Duzzi, D., Rigon, J., Pilosio, C., i Venneri, A. (2016). Cognitive stimulation of the default-mode network modulates functional connectivity in healthy aging. *Brain Research Bulletin*, *121*, 26–41. <http://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2015.12.001>
71. Dennis, N. A, Cabeza, R. (2008). Neuroimaging of healthy cognitive aging. W: F. Craik. T. Salthouse (red.), *Handbook of aging and cognition: Third edition*, (s. 1-54). New York: Psychology Press.
72. Dew, I. T., i Cabeza, R. (2011). The porous boundaries between explicit and implicit memory: behavioral and neural evidence. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1224*(1), 174–190. <http://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2010.05946.x>
73. Diamond M. C. (1993). An optimistic view of the aging brain. *Generations*, *17*(1), 31–33. <http://doi.org/10.1093/geront/gnu124>
74. Dinteren, v., R., Arns, M., Jongsma, M. L., i Kessels, R. P. (2014). Combined frontal and parietal P300 amplitudes indicate compensated cognitive processing across the lifespan. *Frontiers in Aging Neuroscience*, *6*, 294. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2014.00294>
75. Dolcos, F., Rice, H. J., i Cabeza, R. (2002). Hemispheric asymmetry and aging: right hemisphere decline or asymmetry reduction. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *26*(7), 819–825. [https://doi.org/10.1016/s0149-7634\(02\)00068-4](https://doi.org/10.1016/s0149-7634(02)00068-4)
76. Dolu, N., Başar-Eroğlu, C., Özsesmi, Ç., i Süer, C. (2005, March). An assessment of working memory using P300 wave in healthy subjects. *International Congress Series*, *1278*, 7–10. <https://doi.org/10.1016/j.ics.2004.11.056>
77. Donkers, F. C., i Van Boxtel, G. J. (2004). The N2 in go/no-go tasks reflects conflict monitoring not response inhibition. *Brain and Cognition*, *56*(2), 165–176. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2004.04.005>
78. Drag, L. L., i Bieliauskas, L. A. (2010). Contemporary review 2009: cognitive aging. *Journal of Geriatric Psychiatry and Neurology*, *23*(2), 75–93. <https://doi.org/10.1177/0891988709358590>

79. Draganski, B., Gaser, C., Busch, V., Schuierer, G., Bogdahn, U., i May, A. (2004). Changes in grey matter induced by training. *Nature*, 427(6972), 311–312. <https://doi.org/10.1038/427311a>
80. Duncan, C. C., Barry, R. J., Connolly, J. F., Fischer, C., Michie, P. T., Näätänen, R., Polich, J., Reinvang, I., i Van Petten, C. (2009). Event-related potentials in clinical research: guidelines for eliciting, recording, and quantifying mismatch negativity, P300, and N400. *Clinical Neurophysiology*, 120(11), 1883–1908. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2009.07.045>
81. Durstewitz, D. (2003). Self-organizing neural integrator predicts interval times through climbing activity. *Journal of Neuroscience*, 23(12), 5342–5353. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.23-12-05342.2003>
82. Enright, P. L. (2003). The six-minute walk test. *Respiratory care*, 48(8), 783–785.
83. Engvig, A., Fjell, A. M., Westlye, L. T., Moberget, T., Sundseth, Ø., Larsen, V. A., i Walhovd, K. B. (2010). Effects of memory training on cortical thickness in the elderly. *Neuroimage*, 52(4), 1667–1676. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.05.041>
84. Engvig, A., Fjell, A. M., Westlye, L. T., Moberget, T., Sundseth, Ø., Larsen, V. A., i Walhovd, K. B. (2012). Memory training impacts short-term changes in aging white matter: a longitudinal diffusion tensor imaging study. *Human Brain Mapping*, 33(10), 2390–2406. <https://doi.org/10.1002/hbm.21370>
85. Erickson, K. I., Colcombe, S. J., Wadhwa, R., Bherer, L., Peterson, M. S., Scalf, P. E., Kim, J., Alvarado, M., i Kramer, A. (2007). Training-induced plasticity in older adults: Effects of training on hemispheric asymmetry. *Neurobiology of Aging*, 28(2), 272–283. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2005.12.012>
86. Fairchild, J. K., Friedman, L., Rosen, A. C., i Yesavage, J. A. (2013). Which older adults maintain benefit from cognitive training? Use of signal detection methods to identify long-term treatment gains. *International Psychogeriatrics*, 25(4), 607–616. <https://doi.org/10.1017/S1041610212002049>
87. Fairchild J. K., i Scogin F. R. (2010). Training to Enhance Adult Memory (TEAM): An investigation of the effectiveness of a memory training program with older adults. *Aging & Mental Health*, 14, 364–373. <https://doi.org/10.1080/13607860903311733>
88. Fink, M., Churan, J., i Wittmann, M. (2005). Assessment of auditory temporal-order thresholds—A comparison of different measurement procedures and the influences of age and gender. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 23(5–6), 281–296.

89. Fitzgibbons, P. J., i Gordon-Salant, S. (1998). Auditory temporal order perception in younger and older adults. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 41(5), 1052–1060. <https://doi.org/10.1044/jslhr.4105.1052>
90. Fitzgibbons, P. J., i Gordon-Salant, S. (2004). Age effects on discrimination of timing in auditory sequences. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 116(2), 1126–1134. <https://doi.org/10.1121/1.1765192>
91. Folstein, M. F., Folstein, S. E., i Fanjiang, G. (2001). *MMSE: Mini-Mental State Examination: Clinical Guide*. Psychological Assessment Resources.
92. Fraisse, P. (1963). *The psychology of time*. New York: Harper & Row.
93. Fraisse, P. (1967). Time differential threshold in a regular series of intervals. *L'Année Psychologique*, 67(1), 43. <https://doi.org/10.3406/psy.1967.27548>
94. Gaeta, H., Friedman, D., Ritter, W., i Cheng, J. (1998). An event-related potential study of age-related changes in sensitivity to stimulus deviance. *Neurobiology of Aging*, 19(5), 447–459. [http://doi.org/10.1016/S0197-4580\(98\)00087-6](http://doi.org/10.1016/S0197-4580(98)00087-6)
95. Gajewski, P. D., i Falkenstein, M. (2018). ERP and behavioral effects of physical and cognitive training on working memory in aging: a randomized controlled study. *Neural Plasticity*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/3454835>
96. Gajewski, P. D., Wild-Wall, N., Schapkin, S. A., Erdmann, U., Freude, G., i Falkenstein, M. (2010). Effects of aging and jobdemands on cognitive flexibility assessed by task switching. *Biological Psychology*, 85, 187–199. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2010.06.009>
97. Garrido, M. I., Kilner, J. M., Stephan, K. E., i Friston, K. J. (2009). The mismatch negativity: a review of underlying mechanisms. *Clinical Neurophysiology*, 120(3), 453–463. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2008.11.029>
98. Gates, N., i Valenzuela, M. (2010). Cognitive exercise and its role in cognitive function in older adults. *Current Psychiatry Reports*, 12(1), 20–27. <https://doi.org/10.1007/s11920-009-0085-y>
99. Gazzaley, A., Cooney, J. W., Rissman, J., i D'esposito, M. (2005). Top-down suppression deficit underlies working memory impairment in normal aging. *Nature Neuroscience*, 8(10), 1298–1300. <https://doi.org/10.1038/nn1543>
100. Gazzaley, A., Clapp, W., Kelley, J., McEvoy, K., Knight, R. T., i D'Esposito, M. (2008). Age-related top-down suppression deficit in the early stages of cortical visual memory processing. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(35), 13122–13126. <https://doi.org/10.1073/pnas.0806074105>

101. Geerligs, L., Saliassi, E., Maurits, N. M., i Lorist, M. M. (2012). Compensation through increased functional connectivity: neural correlates of inhibition in old and young. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 24(10), 2057–2069. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00270
102. Gevins, A., i Cutillo, B. (1993). Spatiotemporal dynamics of component processes in human working memory. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 87(3), 128–143. [https://doi.org/10.1016/0013-4694\(93\)90119-G](https://doi.org/10.1016/0013-4694(93)90119-G)
103. Ghisletta, P., Bickel, J. F., i Lövdén, M. (2006). Does activity engagement protect against cognitive decline in old age? Methodological and analytical considerations. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 61(5), 253–261. <https://doi.org/10.1093/geronb/61.5.p253>
104. Gigler, K. L., Blomeke, K., Shatil, E., Weintraub, S., i Reber, P. J. (2013). Preliminary evidence for the feasibility of at-home online cognitive training with older adults. *Gerontechnology: International Journal On The Fundamental Aspects Of Technology To Serve The Ageing Society*, 12(1), 26–35. <http://doi.org/10.4017/gt.2013.12.1.007.00>
105. Glisky, E. L. (2007). Changes in cognitive function in human aging. W: D. Riddle (red.), *Brain aging: models, methods, and mechanisms*. Frontiers in Neuroscience.
106. Główny Urząd Statystyczny (2019). *Uniwersytety Trzeciego Wieku w roku akademickim 2017/2018*. <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/edukacja/edukacja/uniwersytety-trzeciego-wieku-w-roku-akademickim-20172018,11,2.html>
107. Główny Urząd Statystyczny (2021). *Sytuacja osób starszych w Polsce w 2020 r.* <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/osoby-starsze/osoby-starsze/sytuacja-osob-starszych-w-polsce-w-2020-roku,2,3.html>
108. Golino, M. T. S., Mendoza, C. F., i Golino, H. F. (2017). Effects of cognitive training on cognitive performance of healthy older adults. *The Spanish Journal of Psychology*, 20, 769–785.
109. Goodman, R., Manson, G. A., i Tremblay, L. (2020). Age-related differences in sensorimotor transformations for visual and/or somatosensory targets: planning or execution?. *Experimental Aging Research*, 46(2), 128–138. <https://doi.org/10.1017/sjp.2017.38>
110. Guye, S., Röcke, C., Mérillat, S., Bastian, C. C. V., i Martin, M. (2021). Cognitive Training Across the Adult Lifespan. W: T. Strobach. J. Karbach (red.), *Cognitive Training*, (s. 141–151). Springer, Cham.

111. Guzman-Marin, R., i McGinty, D. (2006). Sleep deprivation suppresses adult neurogenesis: clues to the role of sleep in brain plasticity. *Sleep and Biological Rhythms*, 4(1), 27–34. <https://doi.org/10.1111/j.1479-8425.2006.00203.x>
112. Grady, C. L., Maisog, J. M., Horwitz, B., Ungerleider, L. G., Mentis, M. J., Salerno, J. A., Pietrini, P., Wagner, E., i Haxby, J. V. (1994). Age-related changes in cortical blood flow activation during visual processing of faces and location. *Journal of Neuroscience*, 14(3), 1450–1462. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.14-03-01450.1994>
113. Gray, H. M., Ambady, N., Lowenthal, W. T., i Deldin, P. (2004). P300 as an index of attention to self-relevant stimuli. *Journal of Experimental Social Psychology*, 40(2), 216–224. [https://doi.org/10.1016/S0022-1031\(03\)00092-1](https://doi.org/10.1016/S0022-1031(03)00092-1)
114. Green, C. S., Strobach, T., i Schubert, T. (2014). On methodological standards in training and transfer experiments. *Psychological Research*, 78, 756–772. <https://doi.org/10.1007/s00426-013-0535-3>
115. Gross, A. L., Parisi, J. M., Spira, A. P., Kueider, A. M., Ko, J. Y., Saczynski, J. S., Samus, Q. M., i Rebok, G. W. (2012). Memory training interventions for older adults: A meta-analysis. *Aging & Mental Health*, 16(6), 722–734. <https://doi.org/10.1080/13607863.2012.667783>
116. Guye, S., i von Bastian, C. C. (2017). Working memory training in older adults: Bayesian evidence supporting the absence of transfer. *Psychology and Aging*, 32(8), 732. <https://doi.org/10.1037/pag0000206>
117. Hara, Y., i Naveh-Benjamin, M. (2015). The role of reduced working memory storage and processing resources in the associative memory deficit of older adults: Simulation studies with younger adults. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 22(2), 129–154. <https://doi.org/10.1080/13825585.2014.889650>
118. Harada, C. N., Love, M. C. N., i Triebel, K. L. (2013). Normal cognitive aging. *Clinics in Geriatric Medicine*, 29(4), 737–752. <https://doi.org/10.1016/j.cger.2013.07.002>
119. Haring, A. E., Zhuravleva, T. Y., Alperin, B. R., Rentz, D. M., Holcomb, P. J., i Daffner, K. R. (2013). Age-related differences in enhancement and suppression of neural activity underlying selective attention in matched young and old adults. *Brain Research*, 1499, 69–79. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2013.01.003>
120. Hartman, M., i Dusek, J. (1994). Direct and indirect memory tests: What they reveal about age differences in interference. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 1(4), 292–309. <https://doi.org/10.1080/13825589408256583>

121. Hasher, L. (2015). Inhibitory deficit hypothesis. *The Encyclopedia of Adulthood and Aging*, 1–5. <https://doi.org/10.1002/9781118521373.wbeaa259>
122. Hasher, L., i Zacks, R. T. (1988). Working memory, comprehension, and aging: A review and a new view. *Psychology of Learning and Motivation*, 22, 193–225. [https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60041-9](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60041-9)
123. Hasher, L., Zacks, R. T., i May, C. P. (1999). Inhibitory control, circadian arousal, and age. W: D. Gopher. A. Koriat (red.), *Attention and performance XVII: Cognitive regulation of performance: Interaction of theory and application*, (s. 653–675). The MIT Press.
124. Hering, A., Rendell, P. G., Rose, N. S., Schnitzspahn, K. M., i Kliegel, M. (2014). Prospective memory training in older adults and its relevance for successful aging. *Psychological Research*, 78(6), 892–904. <https://doi.org/10.1007/s00426-014-0566-4>
125. Hirsh, I. J., i Sherrick Jr, C. E. (1961). Perceived order in different sense modalities. *Journal of Experimental Psychology*, 62(5), 423 .
126. Hötting, K., i Röder, B. (2013). Beneficial effects of physical exercise on neuroplasticity and cognition. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 37(9), 2243–2257.
127. Hughes, T. F., Chang, C. C. H., Vander Bilt, J., i Ganguli, M. (2010). Engagement in reading and hobbies and risk of incident dementia: the MoVIES project. *American Journal of Alzheimer's Disease & Other Dementias*[®], 25(5), 432–432. <https://doi.org/10.1037/h0045283>
128. Jabłońska, K., Piotrowska, M., Bednarek, H., Szymaszek, A., Marchewka, A., Wypych, M., i Szelaąg, E. (2020). Maintenance vs. manipulation in auditory verbal working memory in the elderly: new insights based on temporal dynamics of information processing in the millisecond time range. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 12, 194. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2020.00194>
129. Jabłońska, K., Stańczyk, M., Piotrowska, M., Szymaszek, A., Łukomska, B., Bednarek, H., i Szelaąg, E. (2022). Age as a moderator of the relationship between planning and temporal information processing. *Scientific Reports*, 12(1), 1548. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-05316-6>
130. Jacobsen, T., Schröger, E., Horenkamp, T., i Winkler, I. (2003). Mismatch negativity to pitch change: varied stimulus proportions in controlling effects of neural refractoriness on human auditory event-related brain potentials. *Neuroscience letters*, 344(2), 79–82. [https://doi.org/10.1016/S0304-3940\(03\)00408-7](https://doi.org/10.1016/S0304-3940(03)00408-7)

131. Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., Perrig, W. J., i Meier, B. (2010). The concurrent validity of the N-back task as a working memory measure. *Memory*, *18*(4), 394–412. <https://doi.org/10.1080/09658211003702171>
132. Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., Shah, P., i Jonides, J. (2014). The role of individual differences in cognitive training and transfer. *Memory & Cognition*, *42*(3), 464–480. <https://doi.org/10.3758/s13421-013-0364-z>
133. Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., Jonides, J., i Shah, P. (2011). Short-and long-term benefits of cognitive training. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *108*(25), 10081–10086. <https://doi.org/10.1073/pnas.1103228108>
134. Jamadar, S. D. (2020). The CRUNCH model does not account for load-dependent changes in visuospatial working memory in older adults. *Neuropsychologia*, *142*, 107446. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2020.107446>
135. Jedrzejewski, M. K., Ewbank, D. C., Wang, H., i Trojanowski, J. Q. (2014). The impact of exercise, cognitive activities, and socialization on cognitive function: results from the national long-term care survey. *American Journal of Alzheimer's Disease & Other Dementias*[®], *29*(4), 372–378. <https://doi.org/10.1177/1533317513518646>
136. Jiang, S., Qu, C., Wang, F., Liu, Y., Qiao, Z., Qiu, X., Yang, X., I Yang, Y. (2015). Using event-related potential P300 as an electrophysiological marker for differential diagnosis and to predict the progression of mild cognitive impairment: a metaanalysis. *Neurological Sciences*, *36*, 1105–1112. <https://doi.org/10.1007/s10072-015-2099-z>
137. Jodzio, K. (2012). Neuropsychologia jesieni życia. *Psychologia Rozwojowa*, *17*(1), 85–98.
138. Jonides, J., Marshuetz, C., Smith, E. E., Reuter-Lorenz, P. A., Koeppe, R. A., i Hartley, A. (2000). Age differences in behavior and PET activation reveal differences in interference resolution in verbal working memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *12*(1), 188–196. <https://doi.org/10.1162/089892900561823>
139. Jonaitis, E., La Rue, A., Mueller, K. D., Kosciak, R. L., Hermann, B., i Sager, M. A. (2013). Cognitive activities and cognitive performance in middle-aged adults at risk for Alzheimer's disease. *Psychology and Aging*, *28*(4), 1004. <https://doi.org/10.1037/a0034838>
140. Joo, E. Y., Kim, H., Suh, S., i Hong, S. B. (2014). Hippocampal substructural vulnerability to sleep disturbance and cognitive impairment in patients with chronic primary insomnia: magnetic resonance imaging morphometry. *Sleep*, *37*(7), 1189–1198. <https://doi.org/10.5665/sleep.3836>

141. Kaliman, P., Álvarez-López, M. J., Cosín-Tomás, M., Rosenkranz, M. A., Lutz, A., i Davidson, R. J. (2014). Rapid changes in histone deacetylases and inflammatory gene expression in expert meditators. *Psychoneuroendocrinology*, *40*, 96–107. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2013.11.004>
142. Kagerer, F. A., Wittmann, M., Szelağ, E., i Steinbüchel, N. V. (2002). Cortical involvement in temporal reproduction: evidence for differential roles of the hemispheres. *Neuropsychologia*, *40*(3), 357–366. [https://doi.org/10.1016/s0028-3932\(01\)00111-7](https://doi.org/10.1016/s0028-3932(01)00111-7)
143. Kanabus, M., Szelağ, E., Rojek, E., i Pöppel, E. (2002). Temporal order judgement for auditory and visual stimuli. *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, *62*(4), 263–270.
144. Kaneko, Y., Suzuki, M., Nagai, K., i Uchiyama, M. (2021). Differential effects of aging and cognitive decline on visual exploration behavior in the elderly. *Neuroscience Research*, *171*, 62–66. <https://doi.org/10.1016/j.neures.2021.03.007>
145. Karbach, J. (2014). Game-based cognitive training for the aging brain. *Frontiers in Psychology*, *5*, 1100. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01100>
146. Karbach, J., i Kray, J. (2009). How useful is executive control training? Age differences in near and far transfer of task-switching training. *Developmental Science*, *12*(6), 978–990. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2009.00846.x>
147. Karbach, J., i Verhaeghen, P. (2014). Making working memory work: a meta-analysis of executive-control and working memory training in older adults. *Psychological Science*, *25*(11), 2027–2037. <https://doi.org/10.1177/0956797614548725>
148. Karlawish, J. H., i Clark, C. M. (2003). Diagnostic evaluation of elderly patients with mild memory problems. *Annals of Internal Medicine*, *138*(5), 411–419. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-138-5-200303040-00011>
149. Karmarkar, U. R., i Buonomano, D. V. (2007). Timing in the absence of clocks: encoding time in neural network states. *Neuron*, *53*(3), 427–438. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2007.01.006>
150. Katsuki, F., i Constantinidis, C. (2014). Bottom-up and top-down attention: different processes and overlapping neural systems. *The Neuroscientist*, *20*(5), 509–521. <https://doi.org/10.1177/1073858413514136>
151. Katz, B., Jaeggi, S., Buschkuhl, M., Stegman, A., i Shah, P. (2014). Differential effect of motivational features on training improvements in school-based cognitive training. *Frontiers in Human Neuroscience*, *8*, 242. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00242>
152. Kelly, M. E., Loughrey, D., Lawlor, B. A., Robertson, I. H., Walsh, C., i Brennan, S. (2014). The impact of cognitive training and mental stimulation on cognitive and

- everyday functioning of healthy older adults: a systematic review and meta-analysis. *Ageing Research Reviews*, 15, 28–43. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2014.02.004>
153. Klempin, F., i Kempermann, G. (2007). Adult hippocampal neurogenesis and aging. *European Archives of Psychiatry and Clinical Neuroscience*, 257(5), 271–280. <https://doi.org/10.1007/s00406-007-0731-5>
154. Kliegl, R., Smith, J., i Baltes, P. B. (1990). On the locus and process of magnification of age differences during mnemonic training. *Developmental Psychology*, 26, 894–904. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.26.6.894>
155. Kida, T., Kaneda, T., i Nishihira, Y. (2012). Dual-task repetition alters event-related brain potentials and task performance. *Clinical Neurophysiology*, 123(6), 1123–1130. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2011.10.001>
156. Kim, E. Y., i Kim, K. W. (2014). A theoretical framework for cognitive and non-cognitive interventions for older adults: Stimulation versus compensation. *Ageing & Mental Health*, 18(3), 304–315. <https://doi.org/10.1080/13607863.2013.868404>
157. Kirchoff, B. A., Anderson, B. A., Barch, D. M., i Jacoby, L. L. (2012). Cognitive and neural effects of semantic encoding strategy training in older adults. *Cerebral Cortex*, 22(4), 788–799. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhr129>
158. Kirchner, W. K. (1958). Age differences in short-term retention of rapidly changing information. *Journal of Experimental Psychology*, 55(4), 352. <https://doi.org/10.1037/h0043688>
159. Kołodziejczyk, I. (2007). Neuropsychologia starzenia poznawczego. *Kosmos*, 56(1–2), 49–62.
160. Konorski, J. (1969). *Integracyjna działalność mózgu*. Warszawa: Państwowe Wydawnictwo Naukowe.
161. Kossut, M. (2019). Neuroplastyczność - podstawowe mechanizmy. *Neuropsychiatria i Neuropsychologia*, 14, 1–8. <https://doi.org/10.5114/nan.2019.87727>
162. Kronovsek, T., Hermand, E., Berthoz, A., Castilla, A., Gallou-Guyot, M., Daviet, J.C., Perrochon, A. (2021). Age-related decline in visuo-spatial working memory is reflected by dorsolateral prefrontal activation and cognitive capabilities. *Behavioural Brain Research*, 398. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2020.112981>
163. Kueider, A. M., Parisi, J. M., Gross, A. L., i Rebok, G. W. (2012). Computerized cognitive training with older adults: a systematic review. *PloS one*, 7(7), e40588. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0040588>

164. Kung, B. C., i Willcox, T. O. Jr. (2007). Examination of hearing and balance. W: A. H. V. Schapira (red.), *Neurology and Clinical Neuroscience* (318–327), Philadelphia: Mosby.
165. Küper, K., Gajewski, P. D., Frieg, C., i Falkenstein, M. (2017). A randomized controlled ERP study on the effects of multi-domain cognitive training and task difficulty on task switching performance in older adults. *Frontiers in Human Neuroscience*, *11*, 184. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00184>
166. Laker, D. R. (1990). Dual dimensionality of training transfer. *Human Resource Development Quarterly*, *1*(3), 209–223. <https://doi.org/10.1002/hrdq.3920010303>
167. Lampit, A., Hallock, H., Suo, C., Naismith, S.L., Valenzuela, M., 2015. Cognitive training induced short-term functional and long-term structural plastic change is related to gains in global cognition in healthy older adults: a pilot study. *Frontiers in Aging Neuroscience*, *7*, 14–27. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2015.00014>
168. Lampit, A., Hallock, H., i Valenzuela, M. (2014). Computerized cognitive training in cognitively healthy older adults: A systematic review and meta-analysis of effect modifiers. *Plos Medicine*, *11*, e1001756. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1001756>
169. Lange, S., i Süß, H. M. (2015). Experimental evaluation of near-and far-transfer effects of an adaptive multicomponent working memory training. *Applied Cognitive Psychology*, *29*(4), 502–514. <https://doi.org/10.1002/acp.3126>
170. Lenahan, M. E., Summers, M. J., Saunders, N. L., Summers, J. J., i Vickers, J. C. (2015). Relationship between education and age-related cognitive decline: A review of recent research. *Psychogeriatrics*, *15*(2), 154–162. <https://doi.org/10.1111/psyg.12083>
171. Lewandowska, M., Pluta, A., Szkiełkowska A., Skarżyński, H. (2017). Ocena zdolności do analizowania zdarzeń akustycznych w czasie (podstawy teoretyczne, dostępne testy). *Nowa Audiofonologia*, *6*(1), 63–68. <https://doi.org/10.17431/901414>
172. Li, Z., Moore, A. B., Tyner, C., i Hu, X. (2009). Asymmetric connectivity reduction and its relationship to “HAROLD” in aging brain. *Brain Research*, *1295*, 149–158. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2009.08.004>
173. Light, G. A., Swerdlow, N. R., i Braff, D. L. (2007). Preattentive sensory processing as indexed by the MMN and P3a brain responses is associated with cognitive and psychosocial functioning in healthy adults. *Journal of cognitive neuroscience*, *19*(10), 1624–1632. <https://doi.org/10.1162/jocn.2007.19.10.1624>

174. Linares, R., Bajo, M. T., i Pelegrina, S. (2016). Age-related differences in working memory updating components. *Journal of Experimental Child Psychology*, *147*, 39–52. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2016.02.009>
175. Lindenberger, U. (2014). Human cognitive aging: corrigir la fortune?. *Science*, *346*(6209), 572–578. <https://doi.org/10.1126/science.1254403>
176. Lindenberger, U., i Mayr, U. (2014). Cognitive aging: is there a dark side to environmental support?. *Trends in cognitive sciences*, *18*(1), 7–15. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2013.10.006>
177. Lindín, M., Correa, K., Zurrón, M., i Díaz, F. (2013). Mismatch negativity (MMN) amplitude as a biomarker of sensory memory deficit in amnesic mild cognitive impairment. *Frontiers in Aging Neuroscience*, *5*, 79. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2013.00079>
178. Litwin, H. (2006). Social networks and self-rated health: a cross-cultural examination among older Israelis. *Journal of Aging and Health*, *18*(3), 335–358. <https://doi.org/10.1177/0898264305280982>
179. Litwin, H., i Stoeckel, K. J. (2016). Social network, activity participation, and cognition: A complex relationship. *Research on Aging*, *38*(1), 7–97. <https://doi.org/10.1177/0164027515581422>
180. Logan, J. M., Sanders, A. L., Snyder, A. Z., Morris, J. C., i Buckner, R. L. (2002). Under-recruitment and nonselective recruitment: dissociable neural mechanisms associated with aging. *Neuron*, *33*(5), 827–840. [https://doi.org/10.1016/S0896-6273\(02\)00612-8](https://doi.org/10.1016/S0896-6273(02)00612-8)
181. Lövdén, M., Bäckman, L., Lindenberger, U., Schaefer, S., i Schmiedek, F. (2010). A theoretical framework for the study of adult cognitive plasticity. *Psychological Bulletin*, *136*(4), 659–676. <https://doi.org/10.1037/a0020080>
182. Lövdén, M., Bodammer, N. C., Kühn, S., Kaufmann, J., Schütze, H., Tempelmann, C., Heinze, H., E., Schmiedek, F., i Düzel, Lindenberger, U. (2010). Experience-dependent plasticity of white-matter microstructure extends into old age. *Neuropsychologia*, *48*(13), 3878–3883. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2010.08.026>
183. Lubitz, A. F., Niedeggen, M., i Feser, M. (2017). Aging and working memory performance: electrophysiological correlates of high and low performing elderly. *Neuropsychologia*, *106*, 42–51. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2017.09.002>
184. Luo, C., Zhang, X., Cao, X., Gan, Y., Li, T., Cheng, Y., Cao, W., Jiang, L., Yao, D., i Li, C. (2016). The lateralization of intrinsic networks in the aging brain implicates the

- effects of cognitive training. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 8, 32. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2016.00032>
185. Lustig, C., Hasher, L., i Zacks, R. T. (2007). Inhibitory deficit theory: Recent developments in a "new view". W: D. S. Gorfein i C. M. MacLeod (red.), *Inhibition in cognition*, 145–162. American Psychological Association.
186. Lustig, C., Shah, P., Seidler, R., i Reuter-Lorenz, P. A. (2009). Aging, training, and the brain: A review and future directions. *Neuropsychology Review*, 19(4), 504–522. <https://doi.org/10.1007/s11065-009-9119-9>
187. Łojek, E., Stańczak, J. (2012). *CTT – Kolorowy Test Połączeń. Wersja dla dorosłych*. Warszawa: Pracownia Testów Psychologicznych Polskiego Towarzystwa Psychologicznego.
188. Maass, A., i Russo, A. (2003). Directional bias in the mental representation of spatial events: Nature or culture?. *Psychological Science*, 14(4), 296–301. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.14421>
189. Madden, D. J., Whiting, W. L., and Huettel, S. A. (2005). Age-related changes in neural activity during visual perception and attention. W: R. Cabeza, L. Nyberg. D. Park (red.), *Cognitive Neuroscience of Aging: Linking Cognitive and Cerebral Aging* (s. 157–185). New York: Oxford.
190. Maguire, E. A., Gadian, D. G., Johnsrude, I. S., Good, C. D., Ashburner, J., Frackowiak, R. S., i Frith, C. D. (2000). Navigation-related structural change in the hippocampi of taxi drivers. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97(8), 4398–4403. <https://doi.org/10.1073/pnas.070039597>
191. Maguire, E. A., Woollett, K., i Spiers, H. J. (2006). London taxi drivers and bus drivers: a structural MRI and neuropsychological analysis. *Hippocampus*, 16(12), 1091–1101. <https://doi.org/10.1002/hipo.20233>
192. Mahajan, Y., i McArthur, G. (2011). The effect of a movie soundtrack on auditory event-related potentials in children, adolescents, and adults. *Clinical Neurophysiology*, 122(5), 934–941. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2010.08.014>
193. Mahncke, H. W., Connor, B. B., Appelman, J., Ahsanuddin, O. N., Hardy, J. L., Wood, R. A., Joyce, N., Boniske, T., Atkins, S., i Merzenich, M. M. (2006). Memory enhancement in healthy older adults using a brain plasticity-based training program: a randomized, controlled study. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(33), 12523–12528. <https://doi.org/10.1073/pnas.0605194103>

194. Malarska, A. (2005). *Statystyczna analiza danych wspomagana programem SPSS*. Kraków: Wydawnictwo SPSS.
195. Martin, M., Clare, L., Altgassen, A. M., i Cameron, M. H. (2011). Cognition-based interventions for older people and people with mild cognitive impairment. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 4, 1–40. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD006220.pub2>
196. Matell, M. S., i Meck, W. H. (2004). Cortico-striatal circuits and interval timing: coincidence detection of oscillatory processes. *Cognitive Brain Research*, 21(2), 139–170. <https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2004.06.012>
197. Mattay, V. S., Fera, F., Tessitore, A., Hariri, A. R., Berman, K. F., Das, S., Meyer-Lindenberg, A., Goldberg, T. E., Callicott, J., H. i Weinberger, D. R. (2006). Neurophysiological correlates of age-related changes in working memory capacity. *Neuroscience letters*, 392(1–2), 32–37. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2005.09.025>
198. Matthews, W. J., i Meck, W. H. (2014). Time perception: the bad news and the good. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 5(4), 429–446. <https://doi.org/10.1002/wcs.1298>
199. Matysiak, O. A. i Brzezicka, A. (2017). Skuteczność treningów poznawczych w grupie osób starszych—przeгляд badań. *Studia Psychologica: Theoria et praxis.*, 17(2), 5–21. <https://doi.org/10.21697/sp.2017.17.2.01>
200. Merzenich, M.M., Jenkins, W.M., Johnston, P., Schreiner, C., Miller, S.L. i Tallal, P. (1996). Temporal processing deficits of language-learning impaired children ameliorated by training. *Science*, 271, 81–84. <https://doi.org/10.1126/science.271.5245.77>
201. Mewborn, C. M., Lindbergh, C. A., i Stephen Miller, L. (2017). Cognitive interventions for cognitively healthy, mildly impaired, and mixed samples of older adults: A systematic review and meta-analysis of randomized-controlled trials. *Neuropsychology Review*, 27(4), 403–439. <https://doi.org/10.1007/s11065-017-9350-8>
202. McArdle, J. J., Ferrer-Caja, E., Hamagami, F., i Woodcock, R. W. (2002). Comparative longitudinal structural analyses of the growth and decline of multiple intellectual abilities over the life span. *Developmental Psychology*, 38(1), 115–142. <https://doi.org/10.1037/0012-1649.38.1.115>
203. McNab, F., Varrone, A., Farde, L., Jucaite, A., Bystritsky, P., Forsberg, H., i Klingberg, T. (2009). Changes in cortical dopamine D1 receptor binding associated with cognitive training. *Science Signalling*, 323(5915), 800–802. <https://doi.org/10.1126/science.1166102>

204. Merzenich, M. M., Jenkins, W. M., Johnston, P., Schreiner, C., Miller, S. L., i Tallal, P. (1996). Temporal processing deficits of language-learning impaired children ameliorated by training. *Science*, 271(5245), 77–81. <https://doi.org/10.1126/science.271.5245.77>
205. Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., i 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>
206. Morat, M., Morat, T., Zijlstra, W., i Donath, L. (2021). Effects of multimodal agility-like exercise training compared to inactive controls and alternative training on physical performance in older adults: a systematic review and meta-analysis. *European Review of Aging and Physical Activity*, 18(1), 1–20. <https://doi.org/10.1186/s11556-021-00256-y>
207. Morrison, A. B., i Chein, J. M. (2011). Does working memory training work? The promise and challenges of enhancing cognition by training working memory. *Psychonomic Bulletin & Review*, 18(1), 46–60. <https://doi.org/10.3758/s13423-010-0034-0>
208. Mowszowski, L., Batchelor, J., i Naismith, S. L. (2010). Early intervention for cognitive decline: can cognitive training be used as a selective prevention technique?. *International Psychogeriatrics*, 22(4), 537–548. <https://doi.org/10.1017/S1041610209991748>
209. Mowszowski, L., Lampit, A., Walton, C. C., i Naismith, S. L. (2016). Strategy-based cognitive training for improving executive functions in older adults: a systematic review. *Neuropsychology Review*, 26(3), 252–270. <https://doi.org/10.1007/s11065-016-9329-x>
210. Mozolic J. L., Long A. B., Morgan A. R., Rawley-Payne M., i Laurienti P. J. (2011). A cognitive training intervention improves modality-specific attention in a randomized controlled trial of healthy older adults. *Neurobiology of Aging*, 32, 655–668. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2009.04.013>
211. Murphy, T., Dias, G. P., i Thuret, S. (2014). Effects of diet on brain plasticity in animal and human studies: mind the gap. *Neural Plasticity*, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/563160>
212. Nachshon, I. (1985). Directional preferences in perception of visual stimuli. *International Journal of Neuroscience*, 25(3-4), 161–174. <https://doi.org/10.3109/00207458508985369>
213. Naveh-Benjamin, M., Brav, T. K., i Levy, O. (2007). The associative memory deficit of older adults: the role of strategy utilization. *Psychology and Aging*, 22(1), 202–208. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.22.1.202>

214. Näätänen, R., i Alho, K. (1997). Mismatch negativity—the measure for central sound representation accuracy. *Audiology and Neurotology*, 2(5), 341–353. <https://doi.org/10.1159/000259255>
215. Näätänen, R., Paavilainen, P., Rinne, T. i Alho, K. (2007). The mismatch negativity (MMN) in basic research of central auditory processing: a review. *Clinical Neurophysiology*, 118(12), 2544–2590. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2007.04.026>
216. Näätänen, R., Sussman, E. S., Salisbury, D., i Shafer, V. L. (2014). Mismatch negativity (MMN) as an index of cognitive dysfunction. *Brain Topography*, 27(4), 451–466. <https://doi.org/10.1007/s10548-014-0374-6>
217. Näätänen, R., i Winkler, I. (1999). The concept of auditory stimulus representation in cognitive neuroscience. *Psychological Bulletin*, 125(6), 826–859. <http://doi.org/10.1037/0033-2909.125.6.826>
218. Nguyen, L., Murphy, K., i Andrews, G. (2019). Cognitive and neural plasticity in old age: A systematic review of evidence from executive functions cognitive training. *Ageing Research Reviews*, 53, 100912. <http://doi.org/10.1016/j.arr.2019.100912>
219. Nguyen, L., Murphy, K., i Andrews, G. (2019). Immediate and long-term efficacy of executive functions cognitive training in older adults: A systematic review and meta-analysis. *Psychological Bulletin*, 145(7), 698. <https://doi.org/10.1037/bul0000196>
220. Nichols, E. S., Erez, J., Stojanoski, B., Lyons, K. M., Witt, S. T., Mace, C. A., Khalid, S., i Owen, A. M. (2021). Longitudinal white matter changes associated with cognitive training. *Human Brain Mapping*, 42(14), 4722–4739. <https://doi.org/10.1002/hbm.25580>
221. Norris, D. (2017). Short-term memory and long-term memory are still different. *Psychological Bulletin*, 143(9), 992. <https://doi.org/10.1037/bul0000108>
222. Nouchi, R., Taki, Y., Takeuchi, H., Hashizume, H., Nozawa, T., Kambara, T., Sekiguchi, A., Miyauchi, C., M., Kotozaki, Y., Nouchi, H. i Kawashima, R. (2013). Brain training game boosts executive functions, working memory and processing speed in the young adults: a randomized controlled trial. *PloS one*, 8(2), e55518. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0055518>
223. Nowak, K. (2016). *Zastosowanie treningu percepcji czasu w usprawnianiu poznawczym seniorów: badania neuropsychologiczne i elektrofizjologiczne*. Nieopublikowana rozprawa doktorska, Instytut Biologii Doświadczalnej im. M. Nenckiego, Polska Akademia Nauk, Warszawa.
224. Nowak, K., Dacewicz, A., Broczek, K., Kupisz-Urbanska, M., Galkowski, T., i Szelag, E. (2016). Temporal information processing and its relation to executive functions in

- elderly individuals. *Frontiers in Psychology*, 7, 1599. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01599>
225. Nyberg, L., Lövdén, M., Riklund, K., Lindenberger, U., i Bäckman, L. (2012). Memory aging and brain maintenance. *Trends in Cognitive Sciences*, 16(5), 292–305. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2012.04.005>
226. Nyberg, L., Sandblom, J., Jones, S., Neely, A. S., Petersson, K. M., Ingvar, M., i Bäckman, L. (2003). Neural correlates of training-related memory improvement in adulthood and aging. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(23), 13728–13733. <https://doi.org/10.1073/pnas.1735487100>
227. Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9(1), 97–113. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(71\)90067-4](https://doi.org/10.1016/0028-3932(71)90067-4)
228. Olfers, K. J., i Band, G. P. (2018). Game-based training of flexibility and attention improves task-switch performance: near and far transfer of cognitive training in an EEG study. *Psychological Research*, 82(1), 186–202. <https://doi.org/10.1007/s00426-017-0933-z>
229. Oroń, A. (2013). *Trening percepcji czasu wyzwaniem dla terapii afazji: badania behawioralne, elektrofizjologiczne i fMRI*. Nieopublikowana rozprawa doktorska, Instytut Biologii Doświadczalnej im. M. Nenckiego, Polska Akademia Nauk, Warszawa.
230. Oroń, A., Szymaszek, A., i Szelaǳ, E. (2015). Temporal information processing as a basis for auditory comprehension: Clinical evidence from aphasic patients. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 50(5), 604–615. <https://doi.org/10.1111/1460-6984.12160>
231. Oroń, A. (2016). Percepcja czasu – przegląd modeli teoretycznych i metod badań. *Nowa Audiofonologia*, 5(1), 15–22. <https://doi.org/10.17431/895693>
232. Owen, A. M., Hampshire, A., Grahn, J. A., Stenton, R., Dajani, S., Burns, A. S., Howard, R., i Ballard, C. G. (2010). Putting brain training to the test. *Nature*, 465(7299), 775–778. <https://doi.org/10.1038/nature09042>
233. Paavilainen, P. (2013). The mismatch-negativity (MMN) component of the auditory event-related potential to violations of abstract regularities: a review. *International Journal of Psychophysiology*, 88(2), 109–123. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2013.03.015>
234. Paban, V., Jaffard, M., Chambon, C., Malafosse, M., i Alescio-Lautier, B. (2005). Time course of behavioral changes following basal forebrain cholinergic damage in rats:

- environmental enrichment as a therapeutic intervention. *Neuroscience*, 132(1), 13-32.
<https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2004.11.024>
235. Park, D. C., Lautenschlager, G., Heden, T., Davidson, N. S., Smith, A. D., i Smith, P. K. (2002). Models of visuospatial and verbal memory across the adult life span. *Psychology and Aging*, 17(2), 290–320. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.17.2.299>
236. Pascual-Leone, A., Freitas, C., Oberman, L., Horvath, J.C., Halko, M., Eldaief, M., Bashir, S., Vernet, M., Shafi, M., Westover, B., Vahabzadeh-Hagh, A.M., Rotenberg, A., 2011. Characterizing brain cortical plasticity and network dynamics across the age-span in health and disease with TMS-EEG and TMS-fMRI. *Brain Topography* 24(3-4), 302–315. <https://doi.org/10.1007/s10548-011-0196-8>
237. Patel, S. H., i Azzam, P. N. (2005). Characterization of N200 and P300: selected studies of the event-related potential. *International Journal of Medical Sciences*, 2(4), 147. <https://doi.org/10.7150/ijms.2.147>
238. Pavarini, S. C. I., Brigola, A. G., Luchesi, B. M., Souza, É. N., Rossetti, E. S., Fraga, F. J., Costa Guarisco, L. P., Terassi, M., Oliveira, N. A., Hortense, P., Pedroso, R. V., i Ottaviani, A. C. (2018). On the use of the P300 as a tool for cognitive processing assessment in healthy aging: A review. *Dementia & Neuropsychologia*, 12, 1–11. <https://doi.org/10.1590/1980-57642018dn12-010001>
239. Pekkonen, E., Rinne, T., Reinikainen, K., Kujala, T., Alho, K., i Näätänen, R. (1996). Aging effects on auditory processing: an event-related potential study. *Experimental Aging Research*, 22(2), 171–184. <http://doi.org/10.1080/03610739608254005>
240. Pergher, V., Wittevrongel, B., Tournoy, J., Schoenmakers, B., i Van Hulle, M. M. (2018). N-back training and transfer effects revealed by behavioral responses and EEG. *Brain and Behavior*, 8(11), e01136. <https://doi.org/10.1002/brb3.1136>
241. Pergher, V., Wittevrongel, B., Tournoy, J., Schoenmakers, B., i Van Hulle, M. M. (2019). Mental workload of young and older adults gauged with ERPs and spectral power during N-Back task performance. *Biological Psychology*, 146, 107726. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2019.107726>
242. Persad, C. C., Abeles, N., Zacks, R. T., i Denburg, N. L. (2002). Inhibitory changes after age 60 and their relationship to measures of attention and memory. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 57(3), P223–P232. <https://doi.org/10.1093/geronb/57.3.P223>

243. Pettigrew, C., i Soldan, A. (2019). Defining cognitive reserve and implications for cognitive aging. *Current Neurology and Neuroscience Reports*, 19(1), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s11910-019-0917-z>
244. Phillips, C. (2017). Lifestyle modulators of neuroplasticity: how physical activity, mental engagement, and diet promote cognitive health during aging. *Neural Plasticity*, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/3589271>
245. Picton, T. W., Alain, C., Otten, L., Ritter, W., i Achim, A. (2000). Mismatch negativity: different water in the same river. *Audiology and Neurotology*, 5(3–4), 111–139. <https://doi.org/10.1159/000013875>
246. Plumet, J., Gil, R., i Gaonac'h, D. (2005). Neuropsychological assessment of executive functions in women: Effects of age and education. *Neuropsychology*, 19, 566–577. <https://doi.org/10.1037/0894-4105.19.5.566>
247. Podell, J. E., Sambataro, F., Murty, V. P., Emery, M. R., Tong, Y., Das, S., Goldberg, T., Weinberger, T., i Mattay, V. S. (2012). Neurophysiological correlates of age-related changes in working memory updating. *Neuroimage*, 62(3), 2151–2160. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.05.066>
248. Polich, J. (2007). Updating P300: an integrative theory of P3a and P3b. *Clinical Neurophysiology*, 118 (10), 2128–2148. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2007.04.019>
249. Polich, J., and Herbst, K. L. (2000). P300 as a clinical assay: rationale, evaluation, and findings. *International Journal of Psychophysiology*, 38(1), 3-19. [https://doi.org/10.1016/S0167-8760\(00\)00127-6](https://doi.org/10.1016/S0167-8760(00)00127-6)
250. Pöppel, E., i Logothetis, N. (1986). Neuronal oscillations in the human brain. Discontinuous initiations of pursuit eye movements indicate a 30-Hz temporal framework for visual information processing. *Naturwissenschaften*, 73(5), 267–268. <https://doi.org/10.1007/BF00367781>
251. Pöppel, E (1987). Time perception. W: G. Adelman (red.), *Encyclopedia of Neuroscience*. Boston: Birkhäuser.
252. Pöppel, E. (1989). *Granice świadomości: O rzeczywistości i doznawaniu świata*. Państwowy Instytut Wydawniczy.
253. Pöppel, E. (1994). Temporal mechanisms in perception. *International Review of Neurobiology*, 37, 185–185. [https://doi.org/10.1016/S0074-7742\(08\)60246-9](https://doi.org/10.1016/S0074-7742(08)60246-9)
254. Pöppel, E. (1997). A hierarchical model of temporal perception. *Trends in Cognitive Sciences*, 1(2), 56–61. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(97\)01008-5](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(97)01008-5)

255. Pöppel, E., Edingshaus, A. L., Skalska, M., i Szelaĝ, E. (1998). *Mózg-tajemniczy kosmos*. Państwowy Instytut Wydawniczy.
256. Pöppel, E. (2004). Lost in time: a historical frame, elementary processing units and the 3-second window. *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, 64(3), 295–302.
257. Pöppel, E. (2009). Pre-semantically defined temporal windows for cognitive processing. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1525), 1887–1896. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0015>
258. Rahe, J., Petrelli, A., Kaesberg, S., Fink, G. R., Kessler, J., i Kalbe, E. (2015). Effects of cognitive training with additional physical activity compared to pure cognitive training in healthy older adults. *Clinical Interventions in Aging*, 297–310. <https://doi.org/10.2147/CIA.S74071>
259. Rakoczy, W. (2015). Neuropsychologiczna ocena funkcji wykonawczych – przegląd. *Postępy Psychiatrii i Neurologii*, 24(2), 99-105. <https://doi.org/10.1016/j.pin.2015.06.002>
260. Rabipour, S., Morrison, C., Crompton, J., Petrucelli, M., de Oliveira Gonçalves Germano, M., Popescu, A., i Davidson, P. S. (2020). Few effects of a 5-week adaptive computerized cognitive training program in healthy older adults. *Journal of Cognitive Enhancement*, 4(3), 258–273. <https://doi.org/10.1101/570143>
261. Rebok, G. W., Carlson, M. C., i Langbaum, J. B. (2007). Training and maintaining memory abilities in healthy older adults: traditional and novel approaches. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 62, 53–61. https://doi.org/10.1093/geronb/62.special_issue_1.53
262. Renoult, L., Irish, M., Moscovitch, M., I Rugg, M. D. (2019). From knowing to remembering: the semantic–episodic distinction. *Trends in Cognitive Sciences*, 23(12), 1041–1057. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2019.09.008>
263. Reuter, E. M., Voelcker-Rehage, C., Vieluf, S., Winneke, A. H., i Godde, B. (2013). A parietal-to-frontal shift in the P300 is associated with compensation of tactile discrimination deficits in late middle-aged adults. *Psychophysiology*, 50(6), 583–593. <https://doi.org/10.1111/psyp.12037>
264. Reuter-Lorenz, P. A., i Cappell, K. A. (2008). Neurocognitive aging and the compensation hypothesis. *Current Directions in Psychological Science*, 17(3), 177–182. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8721.2008.00570.x>

265. Reutimann, J., Yakovlev, V., Fusi, S., i Senn, W. (2004). Climbing neuronal activity as an event-based cortical representation of time. *Journal of Neuroscience*, 24(13), 3295–3303. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4098-03.2004>
266. Rhodes, R. E., i Katz, B. (2017). Working memory plasticity and aging. *Psychology and aging*, 32(1), 51. <https://doi.org/10.1037/pag0000135>
267. Richmond, L.L., Morrison, A.B., Chein, J.M., Olson, I.R. (2011). Working memory training and transfer in older adults. *Psychology and Aging*, 26(4), 813 – 822. <https://doi.org/10.1037/a0023631>
268. Roheger, M., Meyer, J., Kessler, J., i Kalbe, E. (2020). Predicting short-and long-term cognitive training success in healthy older adults: who benefits?. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 27(3), 351–369. <https://doi.org/10.1080/13825585.2019.1617396>
269. Rotenberg Shpigelman, S., Sternberg, S., i Maeir, A. (2019). Beyond memory problems: multiple obstacles to health and quality of life in older people seeking help for subjective memory complaints. *Disability and Rehabilitation*, 41(1), 19–25. <https://doi.org/10.1080/09638288.2017.1370729>
270. Rowe, J. W., i Kahn, R. L. (1987). Human aging: usual and successful. *Science*, 237(4811), 143–149. <https://doi.org/10.1126/science.3299702>
271. Rönnlund, M., Nyberg, L., Bäckman, L., i Nilsson, L. G. (2005). Stability, growth, and decline in adult life span development of declarative memory: cross-sectional and longitudinal data from a population-based study. *Psychology and Aging*, 20(1), 3–18. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.20.1.3>
272. Rueda, M. R., Cómbita, L. M., i Pozuelos, J. P. (2021). Cognitive training in childhood and adolescence. W: T. Strobach. J. Karbach (red.), *Cognitive Training*. Springer, Cham.
273. Ryff, C. D., Heller, A. S., Schaefer, S. M., Van Reekum, C., i Davidson, R. J. (2016). Purposeful engagement, healthy aging, and the brain. *Current Behavioral Neuroscience Reports*, 3(4), 318–327. <https://doi.org/10.1007/s40473-016-0096-z>
274. Sala, G., Aksayli, N. D., Tatlidil, K. S., Tatsumi, T., Gondo, Y., i Gobet, F. (2019). Near and far transfer in cognitive training: A second-order meta-analysis. *Collabra: Psychology*, 5(1). <https://doi.org/10.1525/collabra.203>
275. Sala, G., i Gobet, F. (2017a). Does far transfer exist? Negative evidence from chess, music, and working memory training. *Current Direction in Psychological Science*, 26, 515–520. DOI: <https://doi.org/10.1177/0963721417712760>

276. Salthouse, T. A. (1991). Cognitive facets of aging well. *Generations: Journal of the American Society on Aging*, *15*(1), 35–38.
277. Salthouse, T. A. (1996). The processing-speed theory of adult age differences in cognition. *Psychological Review*, *103*(3), 403. <https://doi.org/10.1037/0033-295x.103.3.403>
278. Salthouse, T. (2000). *A theory of cognitive aging*. Elsevier.
279. Salthouse, T. A. (2005). Relations between cognitive abilities and measures of executive functioning. *Neuropsychology*, *19*(4), 532. <https://doi.org/10.1037/0894-4105.19.4.532>
280. Salthouse, T. A. (2009). When does age-related cognitive decline begin?. *Neurobiology of aging*, *30*(4), 507–514. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2008.09.023>
281. Salthouse, T. A. (2010). Selective review of cognitive aging. *Journal of the International Neuropsychological Society*, *16*(5), 754–760. <https://doi.org/10.1017/S1355617710000706>
282. Schmiedek, F., Lövdén, M., Lindenberger, U. (2010). Hundred days of cognitive training enhance broad cognitive abilities in adulthood: findings from the COGITO study. *Frontiers in Aging Neuroscience*, *2*, 27. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2010.00027>
283. Schmitt, H., Ferdinand, N. K., i Kray, J. (2014). Age-differential effects on updating cue information: Evidence from event-related potentials. *Cognitive, Affective, and Behavioral Neuroscience*, *14*, 1115–1131. <https://doi.org/10.3758/s13415-014-0268-9>
284. Schaie, K. W. (2004). Cognitive aging. W: N. J. Smelser. P. B. Baltes (red.) *Technology for adaptive aging*. Washington: National Academies Press (US).
285. Scharinger, C., Soutschek, A., Schubert, T., i Gerjets, P. (2017). Comparison of the working memory load in n-back and working memory span tasks by means of EEG frequency band power and P300 amplitude. *Frontiers in Human Neuroscience*, *11*, 6. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00006>
286. Schiff, S., Valenti, P., Andrea, P., Lot, M., Bisiacchi, P., Gatta, A., i Amodio, P. (2008). The effect of aging on auditory components of event-related brain potentials. *Clinical Neurophysiology*, *119*(8), 1795–1802. <http://doi.org/10.1016/j.clinph.2008.04.007>
287. Schleidt, M. (1988). A universal time constant operating in human short-term behaviour repetitions. *Ethology*, *77*(1), 67–75. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0310.1988.tb00192.x>
288. Schmitz, T. W., Cheng, F. H., i De Rosa, E. (2010). Failing to ignore: paradoxical neural effects of perceptual load on early attentional selection in normal aging. *Journal of Neuroscience*, *30*(44), 14750–14758. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2687-10.2010>

289. Segretin, M. S., Lipina, S. J., Hermida, M. J., Sheffield, T. D., Nelson, J. M., Espy, K. A., i Colombo, J. A. (2014). Predictors of cognitive enhancement after training in preschoolers from diverse socioeconomic backgrounds. *Frontiers in Psychology*, *5*, 205. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00205>
290. Sheikh, J. I., i Yesavage, J. A. (1986). Geriatric depression scale: recent findings and development of a short version. W: T. L. Brink (red.), *Clinical Gerontology: A Guide to Assessment and Intervention* (165–173), New York, NY: Oxford University Press.
291. Simons, D. J., Boot, W. R., Charness, N., Gathercole, S. E., Chabris, C. F., Hambrick, D. Z., i Stine-Morrow, E. A. L. (2016). Do “brain-training” programs work? *Psychological Science in the Public Interest*, *17*, 103–186. <https://doi.org/10.1177/1529100616661983>
292. Srisuwan, P., Nakawiro, D., Chansirikarnjana, S., Kuha, O., Chaikongthong, P., i Suwannagoot, T. (2020). Effects of a Group-Based 8-Week Multicomponent Cognitive Training on Cognition, Mood and Activities of Daily Living among Healthy Older Adults: A One-Year Follow-Up of a Randomized Controlled Trial. *The Journal of Prevention of Alzheimer's Disease*, *7*, 112–121. <https://doi.org/10.14283/jpad.2019.42>
293. Skolimowska, J. (2011). *Charakterystyka wybranych funkcji poznawczych w zdrowym starzeniu, łagodnych zaburzeniach poznawczych i chorobie Alzheimera*. Nieopublikowana rozprawa doktorska, Instytut Biologii Doświadczalnej im. M. Nenckiego, Polska Akademia Nauk, Warszawa.
294. Smith, G. S. (2013). Aging and neuroplasticity. *Dialogues in Clinical Neuroscience*, 3–5. <https://doi.org/10.31887/DCNS.2013.15.1/gsmith>
295. Sorel, O., i Pennequin, V. (2008). Aging of the planning process: The role of executive functioning. *Brain and Cognition*, *66*(2), 196–201. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2007.07.006>
296. Spencer, R. M., Karmarkar, U., i Ivry, R. B. (2009). Evaluating dedicated and intrinsic models of temporal encoding by varying context. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *364*(1525), 1853–1863. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0024>
297. Squire, L. R., i Dede, A. J. (2015). Conscious and unconscious memory systems. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, *7*(3). <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a021667>
298. Staub, B., Doignon-Camus, N., Marques-Carneiro, J. E., Bacon, É., i Bonnefond, A. (2015). Age-related differences in the use of automatic and controlled processes in a

- situation of sustained attention. *Neuropsychologia*, 75, 607–616. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2015.07.021>
299. Steinbüchel, von N., i Pöppel, E. (1993). Domains of rehabilitation: a theoretical perspective. *Behavioural brain research*, 56(1), 1-10. [https://doi.org/10.1016/0166-4328\(93\)90017-K](https://doi.org/10.1016/0166-4328(93)90017-K)
300. Steinbüchel, von N., Wittmann, M. i Pöppel, E. (1996) Timing in perceptual and motor tasks after disturbances of the brain. W: M.A. Pastor i J. Artieda (red.), *Time, internal clocks and movement*. Amsterdam: Elsevier.
301. Steiner, G. Z., Barry, R. J., i Gonsalvez, C. J. (2013). Can working memory predict target-to-target interval effects in the P300?. *International Journal of Psychophysiology*, 89(3), 399–408. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2013.07.011>
302. Stern, Y. (2009). Cognitive reserve. *Neuropsychologia*, 47(10), 2015–2028. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2009.03.004>
303. Steuden, S. (2012). *Psychologia starzenia się i starości*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
304. Studer-Luethi, B., Bauer, C., i Perrig, W. J. (2016). Working memory training in children: Effectiveness depends on temperament. *Memory & Cognition*, 44(2), 171–186. <https://doi.org/10.3758/s13421-015-0548-9>
305. Studer-Luethi, B., Jaeggi, S. M., Buschkuhl, M., i Perrig, W. J. (2012). Influence of neuroticism and conscientiousness on working memory training outcome. *Personality and Individual Differences*, 53(1), 44–49. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2012.02.012>
306. Szelaǳ, E. (1997). Temporal integration of the brain as studied with the metronome paradigm. W: H. Atmanspracher, E. Ruhnau (red.), *Time, Temporality, Now* (s. 107 – 120). Berlin: Springer.
307. Szelaǳ, E., i Kowalska, J. (1998). "Zegar" naszego mózgu a kształtowanie percepcji słuchowej. *Kosmos*, 47(3), 277–287.
308. Szelaǳ, E., Kowalska, J., Rymarczyk, K., i Pöppel, E. (2002). Duration processing in children as determined by time reproduction: implications for a few seconds temporal window. *Acta Psychologica*, 110(1), 1–19. [https://doi.org/10.1016/S0001-6918\(01\)00067-1](https://doi.org/10.1016/S0001-6918(01)00067-1)
309. Szelaǳ, E., Kanabus, M., Kolodziejczyk, I., Kowalska, J., i Szuchnik, J. (2004). Individual differences in temporal information processing in humans. *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, 64(3), 349–366.

310. Szelaǳ E., Dreszer J., Lewandowska M., Mędygrał J., Osiński G., Szymaszek A. (2010). Time and cognition from the aging brain perspective. Individual differences. W: T. Maruszewski, M.W. Eysenck i M. Fajkowska (red.), *Personality from biological, cognitive and social perspectives* (s. 87–114), New York: Eliot Werner Publications INC.
311. Szelaǳ E., Węsierska, M., Dreszer, J., Lewandowska, M., Mędygrał, J. i Szymaszek, A. (2009). Neuropsychological rehabilitation from brain-behavior perspective. W: E. Pisula i P. Tomaszewski (red.), *New Ideas in Studying and Supporting Development of Exceptional People* (s. 49–63). Warszawa: Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego.
312. Szelaǳ E., Szymaszek, A., Aksamit-Ramotowska, A., Fink, M., Ulbrich, P., Wittmann, M., i Pöppel, E. (2011). Temporal processing as a base for language universals: cross-linguistic comparisons on sequencing abilities with some implications for language therapy. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 29(1), 35–45. <https://doi.org/10.3233/RNN-2011-0574>
313. Szelaǳ E., i Skolimowska, J. (2012). Cognitive function in elderly can be ameliorated by training in temporal information processing. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 30(5), 419–434. <https://doi.org/10.3233/RNN-2012-120240>
314. Szelaǳ E., Dacewicz, A., Szymaszek, A., Wolak, T., Senderski, A., Domitrz, I., i Oroń, A. (2015). The application of timing in therapy of children and adults with language disorders. *Frontiers in Psychology*, 6. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01714>
315. Szelaǳ E. i Szymaszek A. (2016). *Dr Neuronowski – Pomysł na bystry umysł i płynną mowę. Usprawnianie zegara neuronalnego wspomaga moc naszego umysłu*. Harpo, Poznań.
316. Szelaǳ E., Jablonska, K., Piotrowska, M., Szymaszek, A., i Bednarek, H. (2018). Spatial and spectral auditory temporal-order judgment (TOJ) tasks in elderly people are performed using different perceptual strategies. *Frontiers in Psychology*, 9, 2557. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02557>
317. Szepietowska, E. M. (2009). Czy mniej znaczy gorzej? Starzenie się z perspektywy neurobiologicznej. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska*, 22, 9–22.
318. Szymaszek, A., Szelaǳ E., i Sliwowska, M. (2006). Auditory perception of temporal order in humans: The effect of age, gender, listener practice and stimulus presentation mode. *Neuroscience Letters*, 403(1-2), 190–194. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2006.04.062>

319. Szymaszek, A. (2008). *Nowe metody terapii afazji. Percepcja czasu u pacjentów z afazją*. Nieopublikowana rozprawa doktorska, Instytut Biologii Doświadczalnej im. M. Nenckiego, Polska Akademia Nauk, Warszawa.
320. Szymaszek, A., Sereda, M., Pöppel, E., i Szeląg, E. (2009). Individual differences in the perception of temporal order: the effect of age and cognition. *Cognitive Neuropsychology*, 26(2), 135–147. <https://doi.org/10.1080/02643290802504742>
321. Szymaszek, A., Wolak, T., i 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>
322. Tallal, P., Miller, S., Bedi, G., Byma, G., Wang, X., Nagarajan, S.S., Schreiner, C., Jenkins, W.M. i Merzenich, M.M. (1996). Language comprehension in language-learning impaired children improved with acoustically modified speech. *Science*, 271, 81–84. <https://doi.org/10.1126/science.271.5245.81>
323. Taya, F., Sun, Y., Babiloni, F., Thakor, N., i Bezerianos, A. (2015). Brain enhancement through cognitive training: a new insight from brain connectome. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 9, 44. <https://doi.org/10.3389/fnsys.2015.00044>
324. Teater, B., i Chonody, J. M. (2020). How do older adults define successful aging? A scoping review. *The International Journal of Aging and Human Development*, 91(4), 599–625. <https://doi.org/10.1177/0091415019871207>
325. Thompson, G., i Foth, D. (2005). Cognitive-training programs for older adults: what are they and can they enhance mental fitness?. *Educational Gerontology*, 31(8), 603–626. <https://doi.org/10.1080/03601270591003364>
326. Thorndike, E. L., i Woodworth, R. S. (1901). The influence of improvement in one mental function upon the efficiency of other functions. *Psychological Review*, 8, 247–261. <https://doi.org/10.1037/h0074898>
327. Townsend, J., Adamo, M., i Haist, F. (2006). Changing channels: an fMRI study of aging and cross-modal attention shifts. *Neuroimage*, 31(4), 1682–1692. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2006.01.045>
328. Tranter L. J., i Koutstaal W. (2008). Age and flexible thinking: An experimental demonstration of the beneficial effects of increased cognitively stimulating activity on fluid intelligence in healthy older adults. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 15, 184–207. <https://doi.org/10.1080/13825580701322163>
329. Treder, N., i Jodzio, K. (2013). Heterogeniczność funkcjonowania poznawczego i jego zaburzeń u osób starszych. *Psychiatria i psychoterapia*, 9(1), 3–13.

330. Treutwein, B. (1997). YAAP: yet another adaptive procedure. *Spatial Vision* 11, 129–134.
331. Tromp, D., Dufour, A., Lithfous, S., Pebayle, T., i Després, O. (2015). Episodic memory in normal aging and Alzheimer disease: Insights from imaging and behavioral studies. *Ageing Research Reviews*, 24, 232–262. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2015.08.006>
332. Turner, F., i Pöppel, E. (1983). The neural lyre: Poetic meter, the brain, and time. *Poetry*, 142(5), 277–309.
333. Tversky, B., Kugelmass, S., i Winter, A. (1991). Cross-cultural and developmental trends in graphic productions. *Cognitive Psychology*, 23(4), 515–557. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(91\)90005-9](https://doi.org/10.1016/0010-0285(91)90005-9)
334. Valenzuela, M., i Sachdev, P. (2009). Can cognitive exercise prevent the onset of dementia? Systematic review of randomized clinical trials with longitudinal follow-up. *The American Journal of Geriatric Psychiatry*, 17(3), 179–187. <https://doi.org/10.1097/JGP.0b013e3181953b57>
335. Van Beijsterveldt, C. E. M., Van Boxtel, M. P. J., Bosma, H., Houx, P. J., Buntinx, F. J. V. M., i Jolles, J. (2002). Predictors of attrition in a longitudinal cognitive aging study:: The Maastricht Aging Study (MAAS). *Journal of Clinical Epidemiology*, 55(3), 216–223. [https://doi.org/10.1016/S0895-4356\(01\)00473-5](https://doi.org/10.1016/S0895-4356(01)00473-5)
336. Van Gaal, S., Lamme, V. A., Fahrenfort, J. J., i Ridderinkhof, K. R. (2011). Dissociable brain mechanisms underlying the conscious and unconscious control of behavior. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23(1), 91–105. <https://doi.org/10.1162/jocn.2010.21431>
337. Van Praag, H., Kempermann, G., i Gage, F. H. (2000). Neural consequences of environmental enrichment. *Nature Reviews Neuroscience*, 1(3), 191–198. <https://doi.org/10.1038/35044558>
338. Vance, D. E., Roberson, A. J., McGuinness, T. M., i Fazeli, P. L. (2010). How neuroplasticity and cognitive reserve protect cognitive functioning. *Journal of Psychosocial Nursing and Mental Health Services*, 48(4), 23–30. <https://doi.org/10.3928/02793695-20100302-01>
339. Veltman, D. J., Rombouts, S. A., i Dolan, R. J. (2003). Maintenance versus manipulation in verbal working memory revisited: an fMRI study. *Neuroimage*, 18(2), 247–256. [https://doi.org/10.1016/s1053-8119\(02\)00049-6](https://doi.org/10.1016/s1053-8119(02)00049-6)
340. Verhaeghen, P., i Marcoen, A. (1996). On the mechanisms of plasticity in young and older adults after instruction in the method of loci: evidence for an amplification model. *Psychology and Aging*, 11(1), 164. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.11.1.164>

341. Verhaeghen, P., Marcoen, A., i Goossens, L. (1992). Improving memory performance in the aged through mnemonic training: a meta-analytic study. *Psychology and Aging*, 7(2), 242–251. <https://doi.org/10.1037/0882-7974.7.2.242>
342. Vollrath, M., Kazenwadel, J., i Krüger, H. P. (1992). A universal constant in temporal segmentation of human speech: a reply to Schleidt and Feldhütter (1989). *Naturwissenschaften*, 79(10), 479–480. <https://doi.org/10.1007/BF01139205>
343. Waldorff, F. B., Rishoj, S., i Waldemar, G. (2008). If you don't ask (about memory), they probably won't tell: if elders do self-report memory problems, their quality of life is probably suffering. *Journal of Family Practice*, 57(1), 41–45.
344. Walton, C. C., Kavanagh, A., Downey, L. A., Lomas, J., Camfield, D. A., i Stough, C. (2015). Online cognitive training in healthy older adults: a preliminary study on the effects of single versus multi-domain training. *Translational Neuroscience*, 6(1), 13–19. <https://doi.org/10.1515/tnsci-2015-0003>
345. Wang, W., Datta, H., i Sussman, E. (2005). The development of the length of the temporal window of integration for rapidly presented auditory information as indexed by MMN. *Clinical Neurophysiology*, 116(7), 1695–1706. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2005.03.008>
346. Wang, H. X., Jin, Y., Hendrie, H. C., Liang, C., Yang, L., Cheng, Y., Unverzagt, F., Ma, F., Hall, K., Murrell, J., Li, P., Bian, J., Pei, J-J., i Gao, S. (2013). Late life leisure activities and risk of cognitive decline. *Journals of Gerontology Series A: Biomedical Sciences and Medical Sciences*, 68(2), 205–213. <https://doi.org/10.1093/gerona/gls153>
347. Wenger, E. i Kühn, S. (2021). Neuroplasticity. W: T. Strobach. J. Karbach (red.), *Cognitive Training* (s. 127-139). Springer, Cham.
348. Wesołowska, M. (2015). Społeczeństwo starzejące się jako wyzwanie dla ekonomii. Społeczeństwo i Edukacja. *Międzynarodowe Studia Humanistyczne*, (2), 233–245.
349. Whitley, E., Popham, F., i Benzeval, M. (2016). Comparison of the Rowe–Kahn model of successful aging with self-rated health and life satisfaction: the West of Scotland Twenty-07 Prospective Cohort Study. *The Gerontologist*, 56(6), 1082–1092. <https://doi.org/10.1093/geront/gnv054>
350. Wild-Wall, N., Falkenstein, M., i Gajewski, P. D. (2011). Age-related differences in working memory performance in a 2-back task. *Frontiers in Psychology*, 2, 186. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00186>

351. Witte, A. V., Fobker, M., Gellner, R., Knecht, S., i Flöel, A. (2009). Caloric restriction improves memory in elderly humans. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *106*(4), 1255–1260. <https://doi.org/10.1073/pnas.0808587106>
352. Wittmann, M. (1999). Time perception and temporal processing levels of the brain. *Chronobiology International*, *16*(1), 17–32. <https://doi.org/10.3109/07420529908998709>
353. Wittmann, M., i Lehnhoff, S. (2005). Age effects in perception of time. *Psychological Reports*, *97*(3), 921–935. <https://doi.org/10.2466/pr0.97.3.921-935>
354. Wittmann, M. (2011). Moments in time. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, *5*, 66. <https://doi.org/10.3389/fnint.2011.00066>
355. Willis S., Belleville S. (2016). Cognitive training in later adulthood. W: K. Schaie, S. Willis, (red.), *Handbook of the Psychology of Aging* (220 –244), 8th ed. San Diego: Elsevier Science Publishing Co Inc.
356. Wilson B A. (2002). Towards a comprehensive model of cognitive rehabilitation. *Neuropsychological Rehabilitation*, *12*(2), 97–110. <https://doi.org/10.1080/09602010244000020>
357. Wongupparaj, P., Sumich, A., Wickens, M., Kumari, V., i Morris, R. G. (2018). Individual differences in working memory and general intelligence indexed by P200 and P300: A latent variable model. *Biological Psychology*, *139*, 96-105. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2018.10.009>
358. Yamazaki, T., i Tanaka, S. (2005). Neural modeling of an internal clock. *Neural Computation*, *17*(5), 1032–1058. <https://doi.org/10.1162/0899766053491850>
359. Zając-Lamparska, L. (2018). Kompensacyjna aktywność mózgu osób. *Gerontologia Polska*, *26*, 54–58.
360. Zhang, H., Chang, L., Chen, X., Ma, L., i Zhou, R. (2018). Working memory updating training improves mathematics performance in middle school students with learning difficulties. *Frontiers in Human Neuroscience*, *12*, 154. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2018.00154>
361. Zhao, X., Wang, Y., Liu, D., Zhou, R. (2011). Effect of updating training on fluid intelligence in children. *Chinese Science Bulletin*, *56*(21), 2202–2205. <https://doi.org/10.1007/s11434-011-4553-5>
362. Zendel, B. R., de Boysson, C., Mellah, S., Démonet, J. F., i Belleville, S. (2016). The impact of attentional training on event-related potentials in older adults. *Neurobiology of Aging*, *47*, 10–22. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2016.06.023>

363. Zhuravleva, T. Y., Alperin, B. R., Haring, A. E., Rentz, D. M., Holcomb, P. J., i Daffner, K. R. (2014). Age-related decline in bottom-up processing and selective attention in the very old. *Journal of Clinical Neurophysiology: Official Publication of the American Electroencephalographic Society*, 31(3), 261. <https://doi.org/10.1097/WNP.0000000000000056>
364. Zelinski, E. M. (2009). Far transfer in cognitive training of older adults. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 27(5), 455–471. <http://doi.org/10.3233/RNN-2009-0495>
365. Zelinski, E. M., Spina, L. M., Yaffe, K., Ruff, R., Kennison, R. F., Mahncke, H. W., i Smith, G. E. (2011). Improvement in memory with plasticity-based adaptive cognitive training: Results of the 3-month follow-up. *Journal of the American Geriatrics Society*, 59(2), 258–265. <http://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2010.03277.x>
366. Zimmermann, P., i Fimm, B. (2007). Test for Attentional Performance (TAP), Version 2.1, Operating Manual. *Herzogenrath: PsyTest*.
367. Zolyniak, N., Schulte-Göcking, H.,i& Kraft, E. (2014). Neuroplasticity in aging: Implications for behavioral and lifestyle combined interventions. *Topics in Geriatric Rehabilitation*, 30(1), 15–17. <http://doi.org/10.1097/TGR.0000000000000004>

ZAŁĄCZNIKI

Załącznik nr 1 – Świadoma zgoda (wersja dla kobiet zakwalifikowanych do grupy eksperymentalnej A)

ŚWIADOMA ZGODA OSOBY BADANEJ

(wersja dla Pań)

Ja, niżej podpisana oświadczam, że zostałam poproszona o wzięcie udziału w badaniu dotyczącym poznania wpływu treningu poznawczego na poprawę sprawności umysłu i jakości życia osoby w podeszłym wieku.

Informacje dla Osoby Badanej

Naturalnym zjawiskiem, dotyczącym wszystkich seniorów, jest poznawcze starzenie się. W jego wyniku następuje pogorszenie sprawności m.in. pamięci, uwagi czy zdolności uczenia się. Wiele istniejących badań i obserwacji codziennych jednoznacznie dokumentuje, że odpowiedni trening poznawczy może złagodzić te objawy. Sprawniejszy umysł daje poprawę jakości życia, w tym więzów rodzinnych i społecznych. Niniejszy projekt ma na celu poznanie, czy w Pani przypadku wykonywanie ćwiczeń umysłowych zaowocuje taką poprawą.

- **Spotkania diagnostyczne** wykonywane będą trzykrotnie: przed i po treningu oraz ok. 8 tygodni od zakończenia treningu. Każde z tych spotkań obejmie 5-6 sesji, każda po ok. 1.5 godz., podczas których wykonywane będą opisane poniżej procedury. Sesje te odbywać się będą na terenie Instytutu Nenckiego (ul. Pasteura 3). Dodatkowo, na wstępie będzie Pani uczestniczyć w bezpłatnie wykonanym przesiewowym badaniu słuchu oraz w teście oceniającym sprawność chodzenia, który będzie wykonywany również po treningu. Badanie słuchu wykonane zostanie na terenie Instytutu, a test chodzenia w Warszawskim Uniwersytecie Medycznym (WUM, ul. Banacha 1, tuż obok Instytutu). Daty sesji zostaną z Panią uzgodnione.
- **Sesje treningowe** wykonywane będą maksymalnie w 6-osobowych grupach (lub mniejszych) i obejmą 24 spotkania. Grupy będą składały się z kobiet i mężczyzn w Pani wieku. Każda sesja trwać będzie 45 min. Tygodniowo przewidujemy ok. 3 sesje. Cały trening wykonany zostanie w ciągu ok. 8 tygodni z uwzględnieniem aktualnego rozkładu świąt i dni wolnych od pracy. Sesje będą odbywały się w Instytucie Nenckiego. Każda Pani otrzyma dokładny wykaz sesji zaplanowanych dla swojej grupy. Podczas każdej sesji osoba z naszego zespołu będzie kierować wykonywaniem ćwiczeń i udzielać dodatkowych wskazówek odnośnie ich wykonywania.

Ze względu na wyniki projektu, bardzo ważne jest punktualne przychodzenie na spotkania i nieopuszczanie zaplanowanych sesji. W przypadku ewentualnej choroby lub przyczyn losowych bardzo prosimy o wcześniejszą informację o nieobecności. Opuszczenie kilku sesji może spowodować wyłączenie Pani z dalszego uczestnictwa w projekcie.

- Panie uczestniczące w treningach poznawczych proszone będą o przyniesienie okularów, jeśli potrzebują ich do komfortowej pracy z urządzeniem. Podczas treningu zapewniamy wodę do picia. Po każdej sesji zapraszamy na herbatę i kawę.

Kwalifikacja do projektu

- **Kwalifikacja do projektu** nastąpi na podstawie ankiety, którą wypełniła Pani z ankieterem, przesiewowego badania słuchu wykonanego audiometrem, wstępnej oceny sprawności poznawczej oraz wyniku badania neuroobrazowego mózgu (MRI). Warunkiem kwalifikacji do projektu jest uzyskanie wyników mieszczących się w granicach normy. Wyniki te będą do Pani wglądu, można je omówić z prowadzącym, bezpłatnie otrzyma Pani także płytę oraz opis wstępnego strukturalnego badania neuroobrazowego mózgu.

Warunkiem niezbędnym dalszego uczestnictwa jest podpisanie przez Panią świadomej zgody na udział w badaniu (formularz poniżej).

Na czym polegają zastosowane przez nas procedury?

Procedury zastosowane podczas spotkań diagnostycznych

- Procedury diagnostyczne obejmują: kwestionariusze i testy psychologiczne mierzące różne aspekty funkcjonowania umysłowego (np. pamięć uwagę, szybkość reagowania), test sprawności chodu, badanie elektrofizjologiczne (EEG) i badanie neuroobrazowe w skanerze rezonansu magnetycznego (fMRI), które będzie podzielone na dwa spotkania ze względu na komfort osób badanych. Test sprawności chodzenia wykonany zostanie na terenie WUM (ul. Banacha 1), a pozostałe procedury na terenie Instytutu Nenckiego (ul. Pasteura 3).
- Test sprawności chodu polega na chodzeniu w ciągu 6 min w tempie szybkim i wygodnym. Do wykonania testu należy włożyć własne wygodne obuwie.
- Badanie kwestionariuszowe obejmie pytania dotyczące Pani własnej oceny swojej jakości życia.
- Podczas wykonywania *testów psychologicznych* prezentowane będą na ekranie lub poprzez słuchawki różne bodźce, na które należy zareagować według podanej instrukcji.
- *Badanie elektrofizjologiczne* jest całkowicie bezbolesne i bezpieczne. Używamy tu nowoczesnego sprzętu. Tego typu badania wykonujemy w naszej Pracowni od lat, także na dzieciach. Wykonanie badania wymaga założenia na Pani głowę odpowiedniego czepka wraz z elektrodami. Założenie elektrod wymaga użycia żelu, po którym zalecane jest umycie głowy. Można je wykonać albo bezpośrednio po zakończeniu testowania w pokoju w Instytucie, gdzie badanie wykonano (może je wykonać prowadzący badanie), albo w dowolnym terminie w domu.

Podczas badania będzie Pani słuchać przez słuchawki dźwięków (jak w testach psychologicznych), na które należy odpowiednio reagować według udzielonej instrukcji. W części badania będzie Pani oglądać film przyrodniczy.

- *Badanie neuroobrazowe* jest również całkowicie bezpieczne i bezbolesne. Na podstawie aktualnej wiedzy nie stwierdzono żadnych działań niepożądanych. Ze względu na to, że testowanie odbywa się w skanerze rezonansu (w którym będzie Pani leżeć wygodnie na specjalnej leżance), nie jest zalecane osobom odczuwającym klaustrofobię. Podczas całego badania jest utrzymany kontakt z badanym, któremu prezentujemy przez słuchawki dźwięki i sylaby, na które należy zareagować naciskając wskazany przycisk.

Przed badaniem zostanie Pani poproszona o wypełnienie specjalnej ankiety (w załączeniu). Jej prawidłowe wypełnienie jest bardzo ważne, gdyż pozwoli zidentyfikować ewentualne sytuacje uniemożliwiające udział w tym badaniu. Zostanie Pani także poproszona o zdjęcie wszelkich metalowych elementów (biżuteria, okulary, proteza zębowa, itd.), które będą bezpiecznie przechowane podczas badania. Dodatkowym benefitem uczestniczenia w badaniu neuroobrazowym jest uzyskanie wstępnych informacji o ewentualnej patologii strukturalnej mózgu (jeśli taka występuje w Pani przypadku) i uzyskanie wyniku w formie płyty wraz z opisem neuroradiologa.

- ***Procedury zastosowane podczas treningu poznawczego***

Podczas treningu będzie Pani wykonywać różne zadania i gry komputerowe dedykowane usprawnieniu aktywności poznawczej seniora. Zestaw wykonywanych gier zostanie indywidualnie dostosowany do Pani potrzeb i możliwości. Obsługa gier w programie stworzonym w naszej Pracowni charakteryzuje się prostotą i intuicyjnością, a całość ćwiczeń nadzorowana będzie przez członków naszego zespołu, którzy na bieżąco będą wyjaśniać ewentualne wątpliwości lub modyfikować harmonogram zadań, aby zapewnić komfort ich wykonywania.

Ćwiczenia mają na celu zwiększenie sprawności różnych obszarów funkcjonowania umysłowego, m.in. sekwencjonowania dźwięków, pamięci, szybkości reagowania oraz uwagi. Poziom trudności poszczególnych ćwiczeń będzie indywidualnie dobrany do Pani aktualnych możliwości. Jeśli któreś z ćwiczeń wyda się Pani zbyt skomplikowane, należy zgłosić to osobie nadzorującej trening.

Oświadczenie Osoby Badanej

Oświadczam, że zapoznałam się z informacją dla osoby badanej, zwracając uwagę na cel, procedurę i spodziewane korzyści płynące z uczestnictwa w tym badaniu. W trakcie uczestniczenia w tym projekcie zobowiązuję się nie uczestniczyć w żadnej innej regularnej formie treningu. W przypadku wątpliwości i pytań poinformuję o tym osobę odpowiedzialną za przebieg badań.

Zobowiązuję się także do regularnego przychodzenia na zaplanowane zajęcia, a w przypadkach losowych bezzwłocznie powiadomię o swej nieobecności osobę odpowiedzialną za przebieg badania (tel. poniżej).

Z własnej i nieprzymuszonej woli zgadzam się uczestniczyć w tym projekcie i wiem, że w każdej chwili mogę wycofać swój udział bez podawania powodów mojej rezygnacji i bez narażania się na jakiegokolwiek konsekwencje. Prowadząca badanie zapewniła mnie o zachowaniu mojej anonimowości.

Wyrażam zgodę na przetwarzanie danych mnie dotyczących, lecz wyłącznie w celach związanych z tym badaniem. Przyjęłam do wiadomości, że badanie jest anonimowe. Dane, które zostaną uzyskane podczas tego badania będą dostępne tylko i wyłącznie uczestnikom niniejszego projektu oraz wykorzystane wyłącznie w celach naukowych. Nie zostaną one udostępnione osobom trzecim.

Przyjęłam do wiadomości, że za udział w projekcie otrzymam 300 zł. Przyjęłam do wiadomości, że warunkiem uzyskania honorarium jest mój udział we wszystkich etapach badania, tj. w sesjach treningowych oraz trzech spotkaniach diagnostycznych wymienionych powyżej.

Wyrażam zgodę na przetwarzanie danych dotyczących mojej osoby, a związanych z tym badaniem zgodnie z obowiązującym w Polsce prawem (Ustawa o Ochronie Danych Osobowych z 29.08.1997).

Załącznik nr 2 – Klauzula informacyjna RODO

Klauzula informacyjna dla osób badanych

Zgodnie z Rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady UE 2016/679 z dnia 27 kwietnia 2016r. w sprawie ochrony osób fizycznych w związku z przetwarzaniem danych osobowych i w sprawie swobodnego przepływu takich danych oraz uchylenia dyrektywy 95/46/WE (RODO), informujemy iż:

1. Administratorem Pani/Pana danych osobowych jest Instytut Biologii Doświadczalnej PAN im. Marcelego Nenckiego, z siedzibą przy ul. Ludwika Pasteura 3, 02-093 Warszawa.
2. Administrator powołał Inspektora Ochrony Danych, z którym można się skontaktować pod numerem telefonu: **(22) 58 92 275** lub adresem e-mail: **iod@nencki.gov.pl**.
3. Dane osobowe zawarte w wypełnianych ankietach oraz inne dane pozyskiwane w wyniku badań są zbierane i będą przetwarzane w celu realizacji badania naukowego: „Jak zwiększyć sprawność umysłu seniora: trening poznawczy czy ćwiczenia fizyczne” przez Instytut Biologii Doświadczalnej im. M. Nenckiego PAN.
4. Podstawą prawną do przetwarzania Pani/Pana danych osobowych jest:
 - art. 6 ust.1 lit. a w związku z art. 9 ust.2 lit. a, j RODO - wyrażona zgoda;
 - art. 6 ust. 1 lit. c RODO – wypełnienie obowiązków wynikających z przepisów prawa, w szczególności ustawy o rachunkowości, w zakresie rozliczeń finansowych i podatkowych,
 - art. 6 ust. 1 lit. f RODO - dla realizacji uzasadnionych interesów Administratora, m.in. ustalanie lub dochodzenie roszczeń cywilnoprawnych, a także obrona przed takimi roszczeniami.
5. Wyrażenie zgody na przetwarzanie danych osobowych jest dobrowolne, ale konieczne do wzięcia udziału w badaniu naukowym.
6. Dane osobowe przetwarzane będą przez okres do zakończenia i publikacji wyników badania naukowego, albo do czasu wycofania zgody, a w zakresie rozliczeń finansowych przez okres oraz w zakresie wymaganym przez przepisy prawa.
7. Dostęp do danych osobowych i tylko w niezbędnym zakresie będą mieli wyłącznie upoważnieni pracownicy i współpracownicy Administratora, oraz w zakresie rozliczeń podatkowych, właściwe urzędy skarbowe.

8. Dane osobowe nie będą przekazywane do państwa trzeciego lub organizacji międzynarodowej.
9. Dane osobowe nie będą poddawane zautomatyzowanemu podejmowaniu decyzji.
10. Przysługuje Pani/Panu:
 - Prawo do cofnięcia zgody w dowolnym momencie bez wpływu na zgodność z prawem przetwarzania, którego dokonano na podstawie zgody przed jej cofnięciem.
 - Prawo do żądania od Administratora dostępu do danych osobowych dotyczących swojej osoby, ich sprostowania, jeśli są nieprawidłowe, usunięcia lub ograniczenia przetwarzania (jeśli będzie miało zastosowanie), a także prawo sprzeciwu wobec przetwarzania danych (jeśli będzie miało zastosowanie) oraz prawo do przenoszenia danych (jeśli to będzie technicznie możliwe).
 - Prawo wniesienia skargi do organu nadzorczego: Prezesa Urzędu Ochrony Danych Osobowych, gdy uzna Pani/Pan, że przetwarzanie danych jest niezgodne z prawem.

Aby skorzystać z powyższych uprawnień, prosimy wysłać wiadomość za pomocą poczty elektronicznej na adres: iod@nencki.gov.pl

Jeśli nie jest Pani/Pan usatysfakcjonowana/y sposobem, w jaki Administrator przetwarza Państwa dane osobowe, prosimy o powiadomienie nas o zaistniałym problemie, a my zbadamy wszelkie powstałe nieprawidłowości.

ZGODY OSOBY BADANEJ NA PRZETWARZANIE DANYCH OSOBOWYCH

Czy wyraża Pani/Pan zgodę na przetwarzanie danych udostępnionych w ankiecie oraz pozyskanych w wyniku badań - w związku z udziałem w badaniu naukowym „Jak zwiększyć sprawność umysłu seniora: trening poznawczy czy ćwiczenia fizyczne”

TAK / NIE*

Czy wyraża Pani/Pan zgodę na skontaktowanie się z Panią/Panem w celach związanych z badaniem lub umówienia terminów badań?

TAK / NIE*

*Niepotrzebne skreślić

Oświadczam, że zapoznałam/em się z *Klauzulą Informacyjną* dotyczącą przetwarzania moich danych osobowych.

Załącznik nr 3 – Ankieta rekrutacyjna

Warszawa, dn., 2019.

Ankieta rekrutacyjna

Kod osoby:

Ankieta ma na celu zebranie informacji, które są niezbędne dla celów badania. Pytania będą dotyczyły danych kontaktowych, Pana/Pani stanu zdrowia oraz stylu życia.

Informacje te zbierane są wyłącznie w celach naukowych i możliwości kontaktu z Panem/Panią podczas trwania projektu. Nie zostaną one udostępnione osobom trzecim bez Pana/Pani zgody.

Proszę nie wpisywać swojego imienia i nazwiska. Na tym etapie będzie Pan/Pani zidentyfikowana po kodzie znajdującym się powyżej.

Proszę zaznaczyć właściwą odpowiedź na pytania:

1. Czy Pana/Pani wiek mieści się w granicach od 62 do 78 lat?	TAK	NIE
2. Czy język polski jest Pana/Pani językiem ojczystym?	TAK	NIE
3. Czy jest Pan/Pani praworęczny/praworęczna?	TAK	NIE

Proszę zaznaczyć właściwą odpowiedź na pytanie:

4. Czy był Pan/Pani przestawiany/przestawiana na prawą rękę?	TAK	NIE
--------------------------------------------------------------	------------	------------

Jaki jest poziom Pana/Pani wykształcenia:

- podstawowe
- zawodowe, jakie:.....
- średnie
- wyższe
- inne:

Poniżej znajduje się lista pytań dotycząca stanu zdrowia, proszę zaznaczyć właściwą odpowiedź.

1. Czy w okresie ostatnich 5 lat lub obecnie wystąpiły/występują u Pana/Pani następujące choroby?		
• Choroba nowotworowa lub jej wznowa w ciągu ostatnich 5 lat	TAK	NIE
• Choroby układu krążenia, np. zawał; migotanie przedsionków; tętniak aorty, tętnic szyjnych lub innych tętnic; choroba wieńcowa powodująca bóle w klatce piersiowej przy niewielkich wysiłkach, np. przy wchodzeniu na 2 piętro	TAK	NIE
• Czy występuje u Pana/i nieleczone nadciśnienie tętnicze?	TAK	NIE
• Cukrzyca II typu	TAK	NIE
• Astma lub przewlekła obturacyjna choroba płuc (POCHP) utrudniająca codzienne funkcjonowanie	TAK	NIE
• Reumatoidalne zapalenie stawów	TAK	NIE
• Zwrodnienie stawów utrudniające poruszanie się lub powodujące znaczne dolegliwości bólowe	TAK	NIE
• Osteoporoza	TAK	NIE
• Poważny uraz głowy z utratą przytomności	TAK	NIE
• Schorzenia neurologiczne lub uszkodzenia układu nerwowego (np. padaczka, udar mózgu, choroba Alzheimera, choroba Parkinsona)	TAK	NIE
• --Zaburzenia psychiczne (np. depresja, schizofrenia)	TAK	NIE
2. Trudności z poruszaniem się?	TAK	NIE
3. Zmniejszona sprawność dłoni?	TAK	NIE
4. Czy ma Pan/i wszczepioną endoprotezę?	TAK	NIE
5. Czy występują u Pana/i poważne problemy ze wzrokiem (np. jaskra, niedowidzenie jednooczne, zaćma)?	TAK	NIE
6. Czy występują u Pana/i poważne problemy ze słuchem (np. głuchota jednostronna, niedosłuch)?	TAK	NIE
7. Czy ma Pan/i problemy z rozróżnianiem kolorów?	TAK	NIE

8. Czy posiada Pan/i metalowe części w ciele (np. rozrusznik serca, wszczepy ortopedyczne, odłamki metalu, wszczone stenty naczyniowe)?	TAK	NIE
9. Czy aktualnie lub w ciągu ostatnich 2-3 lat spożywa lub spożywał/a Pan/i regularnie alkohol powyżej dwóch-trzech kieliszków alkoholu dziennie?	TAK	NIE
10. Czy aktualnie lub w ciągu ostatnich 2-3 lat pali lub palił/a Pan/Pani regularnie papierosy powyżej jednej paczki dziennie?	TAK	NIE

I. DANE O OSOBIE BADANEJ

1) Data urodzenia:

.....

2) Telefon kontaktowy:

.....

3) Czy podejmuje Pan/Pani regularnie jakąś aktywność fizyczną? **TAK NIE**

Jeśli TAK, to jak często i jaką?

.....

.....

.....

4) Czy obecnie pracuje Pan/i zawodowo?

TAK NIE

Jeśli TAK, to jaki rodzaj pracy Pan/i wykonuje?

.....

.....

5) Jeżeli obecnie Pan/i nie pracuje, to jaki rodzaj pracy wykonywał Pan/i w przeszłości?

.....

.....

6) Czy zna Pan/i języki obce?

TAK NIE

Jeśli TAK, to jakie i w jakim stopniu?.....

II. STAN ZDROWIA

11. Jakie leki i preparaty medyczne zażywał/a Pan/i w ostatnim miesiącu? (Proszę zapisać nazwy wszystkich leków, uwzględnić także leki nasenne, przeciwbólowe, antydepresyjne, w szczególności leki wydawane bez recepty).

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

12. Czy nosi Pan/Pani okulary? Jeśli tak należy je przynieść na badanie do Instytutu.

III. WOLNY CZAS I OGÓLNE SAMOPOCZUCIE

1. Czy w ostatnim roku uczestniczył Pan/i w regularnym treningu pamięci (np. na Uniwersytecie Trzeciego Wieku lub w ramach innego projektu naukowego)?

TAK NIE

2. Czy uczęszcza Pan/Pani w swoim wolnym czasie na jakieś kursy, warsztaty, szkolenia lub inne zajęcia rozwojowe lub aktywizujące?

TAK NIE

Jeśli TAK, to jakie, jak często i od jakiego czasu?

.....
.....
.....
.....
.....

3. Czy uprawia Pan/Pani sport i/lub ćwiczenia fizyczne?

Jeśli tak, należy podać jakie i jak często

.....
.....
.....
.....

Jaki rodzaj aktywności preferuje Pani w wolnym czasie, np. uprawianie ćwiczeń fizycznych, czytanie książek, krzyżówki, gry komputerowe, oglądanie filmów, spotkania towarzyskie?

Proszę wymienić jaki?

.....
.....
.....

4. Czy odczuwa Pan/i wyraźne trudności w zakresie:

- a. pamięci **TAK NIE**
- b. koncentracji uwagi **TAK NIE**
- c. mowy, porozumiewania się **TAK NIE**
- d. inne (jakie?) **TAK NIE**

.....

*Informację, czy zostanie Pan/Pani zaproszony/a na spotkania diagnostyczne,
otrzyma Pan/Pani drogą telefoniczną.*

Załącznik nr 4 – Protokół treningu poznawczego *Dr Neuronowski*[®]

GRA / SESJA TRENINGOWA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Nasz świat 1	3																							
Nasz świat 2	3																							
Muz/kañci	5																							
Nagrywamy śpiew ptaków	5																							
Bańki mydlane 1	4																							
Bańki mydlane 2		6				7																		
Bańki mydlane 3								7																
Piano 1					4																			
Piano 2							7			7														
Piano 3											7													
Piano 4														7	7							7		
Miny 1		6																						
Miny 2				9							9													
Miny 3												6	6											
Miny 4														6										
Memo dźwiękowe 1		6																						
Memo dźwiękowe 2					8																			
Czerśnie	12								12									12						
Dzięcioły		12								12									12					
Budowa			12								12									12				
Hipopotam i kot				12								12									12			
Słoń i papuga					12								12									12		
Afrykańskie zwierzęta						12								12									12	
Kurza ferma							12								12								12	
Armady								12								12								12
Pomieszczenie z popłataniem 1	10																							
Pomieszczenie z popłataniem 2			10																					
Pomieszczenie z popłataniem 3				10			10																	
Pomieszczenie z popłataniem 4								10																
Pomieszczenie z popłataniem 5									10															
Jaka to melodia? 1										6														
Jaka to melodia? 2											8	8												
Jaka to melodia? 3													12	12										
Pudelka z niespodziankami 1																				10				
Pudelka z niespodziankami 2																						10	10	
Pudelka z niespodziankami 3																								10
Jarmark różności 1														5										
Jarmark różności 2																5								
Jarmark różności 3																	6	6						
Jarmark różności 4																			8					
Jarmark różności 5																				9	9			
Jarmark różności 6																								9
Labirynt 1				11																				
Labirynt 2							13	13																
Labirynt 3									8															
Uwaga! Przeszkoda! 1										9														
Uwaga! Przeszkoda! 2											11													
Uwaga! Przeszkoda! 3												13	13											
Uwaga! Przeszkoda! 4													8											
Uwaga! Przeszkoda! 5														7										
Uwaga! Przeszkoda! 6															9									
Uwaga! Przeszkoda! 7																12								
Gdzie tu iść? 1																		5						
Gdzie tu iść? 2																			8	8				
Gdzie tu iść? 3																					12			
Gdzie tu iść? 4																						20		
Gdzie tu iść? 5																							16	
Gdzie tu iść? 6																								18
Znajdź różnicę 1																			4					
Znajdź różnicę 2																					4			
Znajdź różnicę 3																						4		
Skarby słowne 1		8																						
Skarby słowne 2					12																			
Skarby słowne 3						15																		
Skarby słowne 4									20															
Skarby słowne 5													8											
Skarby słowne 6														8										
Skarby słowne 7															8									
Skarby słowne 8																8								
Memo wyrazowe 1																						7		
Memo wyrazowe 2																							9	
Maestro 1			6																					
Maestro 2					5	5																		
Maestro 3											6					6								
Maestro 4																							6	
Syczące węż 1		12	12	12																12				
Syczące węż 2								12		12										12		12		
Minuty	42	44	46	44	47	43	47	42	49	47	47	45	43	46	45	41	42	47	47	43	44	48	47	49

ŚREDNI CZAS TRENINGU: 45 MINUT

SPIS PUBLIKACJI NAUKOWYCH

1. Jabłońska, K., **Piotrowska**, M., Bednarek, H., Szymaszek, A., Marchewka, A., Wypych, M., i Szelał, E. (2020). Maintenance vs. manipulation in auditory verbal working memory in the elderly: new insights based on temporal dynamics of information processing in the millisecond time range. *Frontiers in Aging Neuroscience*, *12*, 194. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2016.06.023>
2. Jabłońska, K., Stańczyk, M., **Piotrowska**, M., Szymaszek, A., Łukomska, B., Bednarek, H., i Szelał, E. (2022). Age as a moderator of the relationship between planning and temporal information processing. *Scientific Reports*, *12*(1), 1548. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-05316-6>
3. Szelał, E., Jabłońska, K., **Piotrowska**, M., Szymaszek, A., i Bednarek, H. (2018). Spatial and spectral auditory temporal-order judgment (TOJ) tasks in elderly people are performed using different perceptual strategies. *Frontiers in Psychology*, *9*, 2557. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02557>