

Wpływ treningu *NeuroPlay* na sprawność funkcji poznawczych u osób po 65 roku życia – badania pilotażowe

The effects of NeuroPlay training on cognitive performance in people over 65 – a pilot study

Monika Wiłkość-Dębczyńska¹, Ludmiła Zając-Lamparska², Daria Kukuła¹,
Anna Werońska³

¹ Katedra Psychologii Zdrowia, Uniwersytet Kazimierza Wielkiego, Bydgoszcz

² Katedra Psychologii Ogólnej i Rozwoju Człowieka, Uniwersytet Kazimierza Wielkiego, Bydgoszcz

³ Wydział Lekarski i Nauk o Zdrowiu, Krakowska Akademia im. Andrzeja Frycza Modrzewskiego, Kraków

Streszczenie

Wprowadzenie. *NeuroPlay* to mobilne urządzenie do treningu kognitywnego oparte na metodzie neurobiofeedback. Składa się z: ergonomicznej opaski wyposażonej w sensory EEG (electroencephalography), HEG (hemoencephalography), nakładki na tablet wyposażonej w sensory GSR (galvanic skin resistance), HRV (heart rate variability) oraz aplikacji z grami do treningu funkcji poznawczych. **Cel.** Celem badania była ocena wpływu treningu kognitywnego z zastosowaniem *NeuroPlay* na funkcje poznawcze u osób po 65 r.ż. **Materiał i metody.** Grupę badaną stanowiło 37 osób, w tym 16 osób w poznawczej normie, 7 osób z łagodnymi zaburzeniami poznawczymi, 14 osób z otępieniem w stopniu lekkim [wiek odpowiednio M(SD): 70,75(4,82); 74,86(6,84); 77,29(5,50)] Diagnostykę neuropsychologiczną przed i po cyklu ośmiu treningów *NeuroPlay* przeprowadzono przy użyciu: *Krótkiej Skali Oceny Stanu Umysłowego* (MMSE), skali *Addenbrooke's Cognitive Examination* (ACE-III), *Kalifornijskiego Testu Ucznienia się Językowego* (CVLT), *Kolorowego Testu Połączeń* (CTT), podtestów *Symbole Cyfr* i *Powtarzanie Cyfr* z *WAIS-R(PL)*. **Wyniki.** Istotną statystycznie poprawę wyników między pretestem i posttestem w całej badanej grupie stwierdzono w MMSE [Wynik ogólny: $Z = 2,65$; $p = 0,008$; pretest M(SD) = 25,27(3,22), posttest M(SD) = 26,00(3,17); *Rozumienie*: $Z = 2,24$; $p = 0,025$; pretest: M(SD) = 2,70(0,46); posttest: M(SD) = 2,92(0,28)], w ACE-III [Wynik ogólny: $Z = 3,12$; $p = 0,002$; pretest M(SD) = 80,27(11,35), posttest M(SD) = 82,86(12,73); *Pamięć*: $Z = 3,20$; $p = 0,001$; pretest M(SD) = 17,76(6,63), posttest M(SD) = 19,65(5,72)], w CVLT [Błędne rozpoznania: $T = 54,50$; $p = 0,001$; pretest M(SD) = 4,35(4,90), posttest M(SD) = 2,97(4,11)]. **Wnioski.** Wyniki badania pilotażowego wskazują, że trening *NeuroPlay* może korzystnie wpływać na funkcjonowanie poznawcze u osób po 65 r.ż. *Geriatrics* 2023;17:10-17. doi: 10.53139/G.20231702

Słowa kluczowe: neurofeedback, trening kognitywny, otępienie, późna dorosłość

Abstract

Background. *NeuroPlay* is a mobile device for cognitive training based on the neurobiofeedback method. It consists of an ergonomic headband equipped with sensors for EEG (electroencephalography), HEG (haemoencephalography), a tablet cover equipped with sensors GSR (galvanic skin resistance), HRV (heart rate variability) and a game application for cognitive training. **Objective.** The aim of this study was to evaluate the effect of cognitive training using *NeuroPlay* on cognition in people over 65 years of age. **Material and methods.** The study group consisted of 37 participants, including 16 cognitively healthy individuals, 7 individuals with mild cognitive impairment, and 14 individuals with mild dementia [age M(SD): 70.75(4.82); 74.86(6.84); 77.29(5.50), respectively] Neuropsychological diagnosis before and after the eight *NeuroPlay* training sessions was carried out using the Mini Mental State Evaluation (MMSE), Addenbrooke's Cognitive Examination (ACE-III), California Verbal Learning Test (CVLT), Colour Trail Test (CTT), Digit Symbols Substitution and Digit Span subtests from the WAIS-R(PL).

Results. A statistically significant improvement in scores between pretest and posttest in the whole study group was found in the MMSE [Overall score: $Z = 2.65$; $p = 0.008$; pretest $M(SD) = 25.27(3.22)$, posttest $M(SD) = 26.00(3.17)$; Comprehension: $Z = 2.24$; $p = 0.025$; pretest: $M(SD) = 2.70(0.46)$; posttest: $M(SD) = 2.92(0.28)$], in ACE-III [Overall score. Overall: $Z = 3.12$; $p = 0.002$; pretest $M(SD) = 80.27(11.35)$, posttest $M(SD) = 82.86(12.73)$; Memory: $Z = 3.20$; $p = 0.001$; pretest $M(SD) = 17.76(6.63)$, posttest $M(SD) = 19.65(5.72)$], in CVLT [Misrecognitions: $T = 54.50$; $p = 0.001$; pretest $M(SD) = 4.35(4.90)$, posttest $M(SD) = 2.97(4.11)$]. **Conclusions.** The results of the pilot study indicate that NeuroPlay training may have a beneficial effect on cognitive functioning in people over 65 years of age. *Geriatrics* 2023;17:10-17. doi: 10.53139/G.20231702

Keywords: neurofeedback, cognitive training, dementia, late adulthood

Wstęp

Systematycznie rośnie udział osób starszych w społeczeństwie. Zgodnie z prognozami Organizacji Narodów Zjednoczonych (ONZ) udział globalnej populacji w wieku 65 lat i więcej wzrośnie z 10% w 2022 r., aż do 16% w roku 2050. Oznacza to, że na całym świecie osób powyżej 65 roku życia będzie ponad dwukrotnie więcej niż dzieci w wieku do 5 lat i mniej więcej taka sama liczba, jak liczba dzieci w wieku do 12 lat [1]. Przewiduje się, że w 2050 r. osoby powyżej 65. roku życia będą liczyły w krajach Unii Europejskiej 129,8 mln osób, co daje blisko $\frac{1}{3}$ wszystkich jej mieszkańców [2]. Ponadto niemalże we wszystkich krajach widoczna jest tendencja do wydłużania się życia [3]. Związane jest to z wieloma czynnikami, m.in. zmniejszeniem śmiertelności dzieci, postępami w zakresie zdrowia publicznego i technologii medycznych czy zwiększoną świadomością korzyści związanych z prowadzeniem zdrowego trybu życia [4,5]. Jedynym zachwianiem tej tendencji była sytuacja związana z pandemią COVID-19, z powodu której oczekiwana długość życia spadła do 71,0 lat w 2021 r., w porównaniu z 72,8 w 2019 r. [1,6].

Badania wskazują, że wielu seniorów boryka się z różnymi schorzeniami. Szacuje się, że 60% osób w wieku 65+ przejawia jakąś formę zaburzeń poznawczych. Choroby otępienne należą do najkosztowniejszych chorób współczesnej Europy. Całkowite wydatki na opiekę zdrowotną nad pacjentami z demencją w 2019 r. wyniosły około 594 miliardy dolarów. Przewiduje się, że wydatki na szeroko pojęte zaburzenia poznawcze osiągną 1,6 biliona dolarów do 2050 r. Warto zaznaczyć, że powyższe dane dotyczą jedynie bezpośrednich wydatków związanych z opieką nad osobami z zaburzeniami poznawczymi. Nie obejmują one nieformalnej opieki świadczonej przez członków rodziny i najbliższe otoczenie [7]. Taka sytuacja powoduje zmiany potrzeb w zakresie opieki zdrowotnej

w kierunku dolegliwości związanych ze starzeniem się [8].

W związku ze starzeniem się społeczeństw i rosnącą liczbę osób z zaburzeniami poznawczymi, wzrasta też zainteresowanie badaczy możliwościami zastosowania oraz efektywnością różnego rodzaju oddziaływań psychologicznych. Już od dłuższego czasu interwencje poznawcze są poddawane szczególnie intensywnym badaniom. Skuteczność tego typu oddziaływań, zarówno u zdrowych starszych dorosłych, jak i u osób z łagodnymi zaburzeniami poznawczymi (MCI) została potwierdzona w badaniach i metaanalizach [9–12]. Wśród osób z otępieniem wyniki są mniej jednoznaczne, jednak i w tej grupie część badań wskazuje pozytywny wpływ interwencji poznawczych [13].

Jednym z coraz popularniejszych i rozwijających się trendów są rozwiązania wyposażone w sensory biometryczne, umożliwiające integrację IoT (*Internet of Things*), który można zdefiniować jako sieć obiektów fizycznych z wbudowaną technologią do monitorowania, współdziałania z otoczeniem i oferowania autonomicznej komunikacji [8]. Stanowią one kontynuację tzw. *wearables* dla seniorów [8,14-16], które można zdefiniować jako lekkie urządzenie mocowane na ciele użytkownika umożliwiające pomiar jego aktywności, takiej jak np. kroki czy kalorie i/lub parametrów życiowych, takich jak np. tętno czy ciśnienie tętnicze krwi. Urządzenia te są zwykle połączone z aplikacją, która analizuje ich pomiary i przekazuje informacje zwrotne użytkownikom, a często także ich dostawcom [17]. Takie urządzenia przyczyniają się do poprawy jakości życia oraz zwiększenia samodzielności m. in. osób z niepełnosprawnością i seniorów [14].

Jedną z metod możliwych do wykorzystania w treningu kognitywnym jest neurofeedback, który stosowany jest w celu poprawy funkcji poznawczych

również w późnej dorosłości [18]. Trening neurobiofeedback bazuje na mechanizmie biologicznego sprzężenia zwrotnego [19]. Jest to nieinwazyjna technika oparta na zasadzie, że zdrowe lub dysfunkcyjne stany mózgu mogą być obserwowane poprzez aktywność bioelektryczną mózgu mierzoną za pomocą encefalografii (EEG). Ponadto mózg jest w stanie modyfikować swoją aktywność poprzez uczenie się [20,21]. Obecnie neurofeedback polega na prezentowaniu osobom wizualnej oraz/lub słuchowej stymulacji, która reprezentuje różne częstotliwości pasm aktywności bioelektrycznej mózgu, rejestrowanych przez sensory rozmieszczone na skórze głowy. Osoby uczestniczące w treningu neurobiofeedback uczą się modyfikować te częstotliwości w celu poprawy sprawności funkcjonowania mózgu. Dzięki dostarczaniu trenującemu w czasie rzeczywistym informacji zwrotnych na temat jego m.in. aktywności bioelektrycznej mózgu, rozwija on zdolność samoregulacji w zakresie trenowanej aktywności [22], w tym osiągnięcia stanu sprzyjającego wysokiej efektywności poznawczej, np. w zakresie uwagi czy pamięci. Dotychczasowe badania skupiające się na wykorzystaniu neurofeedbacku do poprawy funkcji poznawczych starają się wyjaśnić znaczenie zmian w zakresie tych oscylacji mózgowych na różne domeny poznawcze [18].

W systematycznym przeglądzie badań przeprowadzonym przez Laborde-Sánchez i Cansino [18], w większości analizowanych doniesień zaobserwowano istotne zmiany w przynajmniej jednym z trenowanych pasm częstotliwości po interwencji z wykorzystaniem neurofeedbacku u osób starszych. W badaniach najczęściej skupiano się na związku tych zmian z funkcjonowaniem różnych rodzajów pamięci, takich jak: pamięć krótkotrwała, pamięć robocza czy epizodyczna [23-26]. Ponadto analizowano inne domeny funkcjonowania poznawczego oraz funkcje wykonawcze. Odnotowano istotną statystycznie poprawę w zakresie percepcji wzrokowo-przestrzennej [27] oraz funkcji językowych [27,28]. Badania wykazały również poprawę dotyczącą ogólnego funkcjonowania poznawczego u osób starszych [29,30]. Autorzy innej pracy przeglądowej na temat zastosowania neurofeedbacku u seniorów [31] podkreślają, że poprawa jest widoczna zarówno w zakresie uwagi, jak i pamięci. Co więcej, metaanaliza Karbach i Verhaeghena [32] przeprowadzona na 61 niezależnych próbach u osób dorosłych w wieku powyżej 60 lat wykazała, że interwencje poznawcze z wykorzystaniem neurofeedbacku

znacząco poprawiają wyniki zarówno w zadaniu trenowanym, jak i w nietrenowanych zadaniach podobnych. Zaobserwowano również niewielką, ale istotną poprawę po zakończonych interwencjach neurofeedback w nietrenowanych zadaniach w innej domenie poznawczej. Można zatem wnioskować, że treningi kognitywne z wykorzystaniem neurofeedbacku mogą prowadzić do transferu bliskiego i w pewnym stopniu również do transferu dalekiego.

Biorąc pod uwagę rosnącą potrzebę rynku wynikającą ze zmian socjodemograficznych, w ramach projektu badawczo-rozwojowego *NeuroPlay* w konsorcjum: YOT Maps Sp. z o.o. (Lider projektu), Uniwersytet Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy, Collegium Medicum w Bydgoszczy Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu, Instytut Aparatury i Techniki Medycznej w Zabrze – Sieć Łukasiewicz, zaprojektowano specjalną opaskę oraz stworzono oprogramowanie do treningu neurofeedbacku.

Opracowane w ramach projektu rozwiązanie składa się z: 1) ergonomicznej opaski wyposażonej w dziesięć sensorów EEG niewymagających stosowania żelu przewodzącego, tj. wyposażonych w tzw. suche elektrody oraz dwóch sensorów do pomiaru przepływu krwi w płatach czołowych (*hemoencephalography*, HEG); 2) aplikacji z siedmioma interaktywnymi gramami do neurofeedbacku, których atrakcyjność dla osób powyżej 65 r.ż. została zweryfikowana w badaniu fokusowym z udziałem przedstawicieli grupy docelowej; 3) specjalnej nakładki na tablet, która ułatwia osobom starszym trening, posiadającej sensory do pomiaru reakcji skórnogalwanicznej (*galvanic skin resistance*, GSR) oraz zmienności rytmu serca (*heart rate variability*, HRV).

Cel pracy

Celem niniejszego badania pilotażowego była weryfikacja skuteczności stworzonego w ramach projektu treningu kognitywnego opartego na metodzie neurofeedback z zastosowaniem *NeuroPlay* u osób powyżej 65 roku życia o różnym poziomie funkcjonowania poznawczego, tj. w normie poznawczej, z łagodnymi zaburzeniami funkcji poznawczych (MCI) oraz z otępieniem w stopniu lekkim.

Materiał i metody

Badanie przeprowadzono w schemacie jednogrupowym z dwukrotnym pomiarem (pretest-posttest). Do badania zakwalifikowano 37 osób, w tym: 16 osób

w normie poznawczej (wiek: $M = 70,75$, $SD = 4,72$), 7 osób z MCI (wiek: $M = 74,86$, $SD = 6,84$) oraz 14 osób z otępieniem w stopniu lekkim (wiek: $M = 77,29$, $SD = 5,50$).

Kwalifikację badanych przeprowadzano na podstawie diagnozy lekarskiej oraz wyniku *Krótkiej Skali Oceny Stanu Psychicznego (Mini Mental State Examination, MMSE)*, w której 27-30 pkt = norma poznawcza, 24-26 pkt = MCI, 19-23 = otępienie w stopniu lekkim. Osoby zakwalifikowane do badania wyraziły pisemną zgodę na udział w nim, a w przypadku osób z otępieniem także ich rzeczywisci opiekunowie. Wszyscy uczestnicy zostali poddani dwukrotnemu badaniu neuropsychologicznemu: pretest 3-7 dni przed włączeniem do treningów z wykorzystaniem *NeuroPlay* oraz posttest 3-7 dni po zakończeniu treningów.

Treningi *NeuroPlay* odbywały się dwa razy w tygodniu przez cztery kolejne tygodnie. Jedno spotkanie w ramach badania trwało łącznie około 45 minut, z czego sam trening neurofeedback trwał 21 minut i składał się z sześciu faz: naprzemiennie oczy zamknięte (2 min.) – oczy otwarte (5 min. – aktywny trening koncentracji uwagi). Tym samym jeden trening składał się z trzech 7-minutowych mikrocykli. Opaska z sensorami łączyła się bezprzewodowo z aplikacją z gramy poprzez Bluetooth. Umożliwiało to użytkownikowi wgląd w poziom swojej koncentracji w czasie rzeczywistym, który odzwierciedlony był w zmianach zachodzących na ekranie tabletu. Zmiany te polegały, w zależności od gry, na szybszym/wolniejszym zbieraniu grzybów (zebraniu większej/mniejszej ich liczby), wyrośnięciu większej ilości kwiatów/ wędnięciu roślin; szybszym zwiedzaniu zamku i jego sprawniejszej budowie. Przed każdym treningiem osoba badana otrzymywała krótką, klarowną instrukcję dotyczącą celu zadania. Im większe skupienie osoby badanej w czasie gry, tym zmiany zachodzące na ekranie stawały się płynniejsze i szybsze, a muzyka grająca w tle – bardziej przyjemna. W algorytmie zastosowano protokół treningowy bazujący na theta/alfa, promujący wzrost wartości uśrednionej zakresów theta [4-7] i alfa [8-12] oraz stosunku theta/alfa dla obszarów O1 i O2, z obszarami Fp1 i Fp2 traktowanymi jako obszary kontrolne dla końcowej analizy całościowej. W pojedynczym 21-minutowym treningu każdy z trzech mikrocykli odbywał się w oparciu o jeden scenariusz gry, który rozpoczynał się trzykrotnie od początku. Podczas badania, każdy uczestnik grał w każdą z gier w ustalonej kolejności. W trakcie treningu aplikacja w czasie

rzeczywistym umożliwiała użytkownikowi wgląd w poziom swojej koncentracji, który odzwierciedlony był w zmianach zachodzących na ekranie tabletu. Przykładowe zadania to, m.in. zbieranie grzybów czy zwiedzanie zamku.

Analizie poddano wyniki uzyskane w następujących testach neuropsychologicznych:

1. *Krótka Skala Oceny Stanu Psychicznego (Mini Mental State Examination, MMSE)* – kliniczna skala służąca do przesiewowej oceny funkcjonowania poznawczego oraz monitorowania przebiegu choroby. Uwzględnia następujące obszary: *Orientacja w czasie, Orientacja w miejscu, Zapamiętywanie, Uwaga i liczenie, Przypominanie, Nazywanie, Powtarzanie, Rozumienie, Czytanie, Pisanie i Rysowanie* [33];
2. *Addenbrooke Cognitive Examination-III (ACE-III)* – narzędzie do oceny funkcji poznawczych, wykorzystywane jako skala przesiewowa oraz jako wstęp do kompleksowej oceny neuropsychologicznej. Składa się z następujących poskal: *Uwaga, Pamięć, Fluencja, Język, Funkcje wzrokowo-przestrzenne* [34].
3. *Kalifornijski Test Uczenia się Językowego (California Verbal Learning Test, CVLT)* – do pomiaru zdolności uczenia się i zapamiętywania materiału werbalnego [35].
4. *Kolorowy Test Połączeń (Color Trails Test, CTT)* do badania procesów związanych z uwagą i funkcjami wykonawczymi [36]
5. *Podtesty Symbole Cyfr i Powtarzanie Cyfr ze Skali Inteligencji Wechslera dla Dorosłych – Wersja Zrewidowana [Wechsler Adult Intelligence Scale – Revised, WAIS-R(PL)]* do oceny uwagi oraz pamięci krótkotrwałej i operacyjnej, odpowiednio.

Do oceny postępów osób badanych zastosowano następujące metody statystyczne: test kolejności par Wilcozona oraz test Q Cochra (w przypadku, gdy porównywane było tylko poprawne/niepoprawne wykonanie zadania w niektórych podskalach), poziom istotności statystycznej przyjęto na poziomie $p < 0,05$, natomiast tendencji statystycznej: $0,05 < p < 0,10$.

Wyniki

Analizy przeprowadzone w całej próbie, bez podziału na grupy o różnym stanie poznawczym wykazały, że po serii treningów *NeuroPlay* uzyskano istotną poprawę w zakresie ogólnego funkcjonowania poznawczego mierzonego testami przesiewowymi MMSE: $Z=2,65$; $p=0,008$; pretest $M(SD) = 25,27(3,22)$, posttest

$M(SD) = 26,00(3,17)$ i ACE-III: $Z=3,12; p=0,002$; pretest $M(SD)=80,27(11,35)$, posttest $M(SD)=82,86(12,73)$.

W odniesieniu do bardziej szczegółowych miar funkcjonowania poznawczego (podskal wskazanych narzędzi), poprawę w całej próbie odnotowano dla następujących podskal MMSE: (a) *Rozumienie*: $Z = 2,24; p = 0,025$; pretest: $M(SD) = 2,70(0,46)$; posttest: $M(SD) = 2,92(0,28)$; (b) *Czytanie*: $Q = 4,00; p < 0,046$ (pretest: zadanie to poprawnie wykonało 89,19% osób; posttest: zadanie to poprawnie wykonało 100% osób) oraz dla podskali ACE-III *Pamięć*: $Z = 3,20; p = 0,001$; pretest $M(SD) = 17,76(6,63)$, posttest $M(SD) = 19,65(5,72)$. Ponadto w całej próbie po treningu *NeuroPlay* nastąpiła istotna poprawa w postaci obniżenia wskaźnika błędnych rozpoznań w teście CVLT: $T = 54,50; p = 0,001$; pretest $M(SD) = 4,35(4,90)$, posttest $M(SD) = 2,97(4,11)$. W tym samym teście na poziomie tendencji statystycznej wzrósł jednak efekt interferencji, tzn. obniżył się wskaźnik poprawnych odpowiedzi dla listy B: $T = 82,50; p = 0,054$; pretest $M(SD) = 5,00(2,62)$, posttest $M(SD) = 4,03(1,75)$

Analizy przeprowadzone w podgrupach o różnym poziomie funkcjonowania poznawczego (norma poznawcza, MCI, otępienie w stopniu lekkim) wykazały mniej istotnych statystycznie różnic, jednak należy pamiętać, że przynajmniej częściowo stanowi to konsekwencję mniejszej liczebności tychże podgrup.

W grupie osób w normie poznawczej po treningu *NeuroPlay* nie odnotowano istotnej statystycznie poprawy w ogólnych wynikach testów przesiewowych MMSE oraz ACE-III, ani też w poszczególnych ich podskalach.

Na poziomie tendencji statystycznej poprawiły się natomiast wyniki dwóch podskal MMSE, mianowicie *Przypominania*: $T = 11,00; p = 0,093$; pretest: $M(SD) = 2,31(0,60)$; posttest: $M(SD) = 2,69(0,48)$ oraz *Powtarzania*: $Q = 3,00; p < 0,083$ (pretest: zadanie to poprawnie wykonało 81,25% osób; posttest zadanie to poprawnie wykonało 100% osób). Poziom tendencji statystycznej u osób w normie poznawczej osiągnęła także poprawa w podteście ACE-III *Pamięć*: $T = 16,00; p = 0,071$; pretest $M(SD) = 22,88(3,05)$, posttest $M(SD) = 24,19(1,56)$. W grupie tej istotnie poprawił się (czyli obniżył) natomiast wskaźnik błędnych rozpoznań w teście CVLT: $T = 4,00; p = 0,017$; pretest $M(SD) = 1,75(1,65)$, posttest $M(SD) = 0,88(1,09)$, przy jednoczesnym spadku na poziomie tendencji statystycznej liczby poprawnych odpowiedzi w liście B CVLT: $T = 12,00; p = 0,062$; pretest $M(SD) = 6,50(2,76)$,

posttest $M(SD) = 4,88(1,63)$, co wskazuje na silniejszą interferencję zapamiętanej listy A na proces uczenia się listy B.

W grupie osób z MCI trening *NeuroPlay* także nie doprowadził do istotnych statystycznie zmian w wynikach testów przesiewowych MMSE i ACE-III. Odnotowano natomiast nieco więcej, w porównaniu do grupy osób w normie poznawczej, pozytywnych zmian na poziomie tendencji statystycznej. Zmiany te dotyczyły poprawy wyniku ogólnego testu MMSE: $T = 1,50; p = 0,059$; pretest: $M(SD) = 25,43(0,53)$; posttest: $M(SD) = 26,57(1,13)$; wyniku ogólnego ACE III: $T = 2,00; p = 0,075$; pretest $M(SD) = 83,29(8,12)$, posttest $M(SD) = 86,57(4,54)$ oraz dwóch jego podtestów: (a) *Uwaga*: $T = 2,50; p = 0,093$; pretest $M(SD) = 15,14(1,21)$, posttest $M(SD) = 16,00(2,00)$ oraz (b) *Pamięć*: $T = 2,50; p = 0,093$; pretest $M(SD) = 19,43(4,39)$, posttest $M(SD) = 21,27(3,35)$. W teście CVLT w grupie osób z MCI odnotowano dwie zmiany na poziomie tendencji statystycznej. Były to: spadek liczby poprawnych odpowiedzi w próbie 1: $T = 2,50; p = 0,093$; pretest $M(SD) = 6,57(1,40)$, posttest $M(SD) = 5,43(1,13)$, lecz jednocześnie towarzyszący mu wzrost liczby poprawnych odpowiedzi w nauce listy A w próbie 2: $T = 1,50; p = 0,059$; pretest $M(SD) = 7,29(1,70)$, posttest $M(SD) = 8,71(1,11)$.

W grupie osób z otępieniem w stopniu lekkim, jako w jedynej z trzech branych pod uwagę grup, istotnej statystycznie poprawie po treningu *NeuroPlay* uległ wynik ogólny testu ACE III: $T = 14,00; p = 0,028$; pretest $M(SD) = 64,79(7,68)$, posttest $M(SD) = 68,71(7,53)$, a także dwa z jego podtestów, mianowicie (a) *Pamięć*: $T = 18,50; p = 0,033$; pretest $M(SD) = 11,07(4,51)$, posttest $M(SD) = 13,43(3,63)$ oraz (b) *Funkcje językowe*: $T = 8,50; p = 0,017$; pretest $M(SD) = 20,07(2,56)$, posttest $M(SD) = 21,64(2,37)$. Wynik ogólny testu MMSE także się poprawił, lecz tylko na poziomie tendencji statystycznej: $T = 11,00; p = 0,090$; pretest: $M(SD) = 21,64(1,01)$; posttest: $M(SD) = 22,50(1,70)$. Pozytywne zmiany na poziomie tendencji statystycznej zaszły u osób z otępieniem w stopniu lekkim także w zakresie wyników dwóch podtestów MMSE, tj. *Rozumienia*: $T = 4,50; p = 0,059$; pretest: $M(SD) = 2,43(0,51)$; posttest: $M(SD) = 2,86(0,36)$ i *Czytania*: $Q = 3,00; p < 0,083$ (pretest: zadanie to poprawnie wykonało 78,57% osób; posttest zadanie to poprawnie wykonało 100% osób). W przypadku osób z otępieniem w stopniu lekkim w teście CVLT nastąpiło istotne statystycznie pogorszenie odtwarzania swo-

bodnego po długim odroczeniu: $T = 3,00$; $p = 0,036$; pretest $M(SD) = 3,21(3,29)$, posttest $M(SD) = 2,43(3,15)$. Warto przy tym zauważyć, że w tej grupie ów wskaźnik przyjmuje bardzo niskie wartości, niezależnie od odnotowanych negatywnych zmian, a więc również w preteście. Jednocześnie w teście CVLT zaobserwowano także pewną poprawę wskaźnika błędnych rozpoznań, tj. jego obniżenie na poziomie tendencji statystycznej: $T = 10,00$; $p = 0,074$; pretest $M(SD) = 6,79(6,27)$, posttest $M(SD) = 4,86(4,87)$.

W przypadku wyników *Kolorowego Testu Połączeń* oraz podtestów *Symbole Cyfr* i *Powtarzanie Cyfr* z WAIS-R(PL) analizy wykazały brak istotnych statystycznie różnic i tendencji statystycznych w całej próbie oraz poszczególnych grupach o zróżnicowanym stanie poznawczym.

Dyskusja

Uzyskane w badaniu wyniki wykazały, że dzięki wykorzystaniu treningu *NeuroPlay* podnosi się sprawność wybranych funkcji poznawczych wśród osób starszych o zróżnicowanym stanie poznawczym. Istotna poprawa w całej badanej grupie nastąpiła w ogólnym funkcjonowaniu poznawczym ocenianym za pomocą testów przesiewowych oraz we wskaźnikach odnoszących się do pamięci, m. in. pamięci krótkotrwałej, kodowania i wydobywania informacji. Ponadto odnotowano poprawę w różnicowaniu słów poprawnych i zakłócających, co wskazuje na korzystny efekt treningów w zakresie pamięci rozpoznawczej, będącej składową pamięci deklaratywnej, która obejmuje zdolność rozpoznawania wcześniej napotkanych bodźców [37]. Dotychczasowe badania wykazały, że pamięć rozpoznawcza pogarsza się z wiekiem [37,38]. Co wydaje się ważne, rozpoznawanie może stanowić najczystszą miarę deficytu pamięci związanego z wiekiem spośród wszystkich standardowych zadań pamięciowych [39].

Analizy wyników uzyskanych w poszczególnych grupach osób badanych ujawniły pewne tendencje statystyczne wskazujące na poprawę w funkcjonowaniu poznawczym osób z MCI i z otępieniem w stopniu lekkim. Można tu zaliczyć ogólne funkcjonowanie poznawcze badane testami przesiewowymi. Jest to zgodne z wcześniejszymi doniesieniami, w którym wykazano, iż trening neurofeedback poprawia funkcjonowanie poznawcze w grupie osób starzejących się patologicznie [18,29,30,40]. W grupie osób w normie poznawczej nie zaobserwowano natomiast zmian ani

tendencji do poprawy w zakresie ogólnego funkcjonowania poznawczego mierzonego testami przesiewowymi. W tej grupie nie jest to jednak zaskakujące, biorąc pod uwagę fakt, że w przypadku osób w normie poznawczej wyniki w testach przesiewowych są z definicji wysokie, co prowadzi do tzw. efektu sufitowego (*ceiling effect*).

Dotychczasowe badania w grupie starszych osób skupiają się głównie na efektach treningów biofeedback w zakresie pamięci. W prezentowanym badaniu uwidocznił się trend w kierunku poprawy tej domeny poznawczej. U osób z MCI odnotowano tendencję do polepszenia wyników w zadaniach pamięciowych mierzonych testem ACE-III oraz swobodnego odtwarzania listy słów w drugiej próbie CVLT. Z kolei u osób z MCI ujawniła się taka tendencja statystyczna w kierunku poprawy we wskaźniku błędnych rozpoznań w teście CVLT. Osoby z tej grupy przejawiały po treningach *NeuroPlay* mniejszą tendencję do wyboru słów, które były spoza listy. Ma to odzwierciedlenie również w innych badaniach, w których trening neurofeedback był przeprowadzany u osób z rozpoznaniem choroby Alzheimera (AD). Pacjenci ci wykazali poprawę w zakresie pamięci, a pozostałe funkcje poznawcze pozostały stabilne. Ponadto zaobserwowano u nich poprawę w zakresie przypominania informacji i rozpoznawania [40].

Osoby w normie poznawczej również odniosły korzyść z przeprowadzonych treningów. Stwierdzono bowiem istotne statystycznie zmniejszenie liczby błędnych rozpoznań w teście CVLT. Wskazuje to, że u badanych osób poprawiła się pamięć rozpoznawcza. Co więcej, zaobserwowano również tendencje statystyczne, wskazujące na poprawę w zakresie ogólnej miary pamięci badanej za pomocą testu ACE-III oraz przypominania i powtarzania, które odzwierciedlają funkcjonowanie pamięci krótkotrwałej. Można zatem wnioskować, że u osób w normie poznawczej treningi *NeuroPlay* istotnie poprawiają funkcjonowanie pamięci. Co warto podkreślić, wcześniejsze badania wskazują, że treningi biofeedback przynoszą lepsze rezultaty u starszych osób niż u młodszych [41].

Wnioski

Wyniki badania pilotażowego wskazują, że trening *NeuroPlay* może wpływać korzystnie na wybrane funkcje poznawcze u osób starszych ze zróżnicowanym stanem poznawczym.

Finansowanie

Projekt Opracowanie intuicyjnego, przenośnego urządzenia treningowego, bazującego na metodzie biofeedback, ukierunkowanej na wspieranie funkcjonowania poznawczego w procesie starzenia się został sfinansowany w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój 2014-2020, Działanie 4.1. „Badania naukowe i prace rozwojowe”, Poddziałanie 4.1.4. „Projekty aplikacyjne”, grant POIR.04.01.04-00-0046/17.

Konflikt interesów / Conflict of interest

Brak/None

Adres do korespondencji / Correspondence address

✉ Monika Wilkość-Dębczyńska
Katedra Psychologii Zdrowia, Uniwersytet Kazimierza Wielkiego w Bydgoszczy
ul. Staffa 1, 85-867 Bydgoszcz
☎ (+48) 609 056 549
✉ monikawilkosc@gmail.com

Piśmiennictwo/References

1. United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division. World Population Prospects 2022: Summary of Results. New York; 2022. Available from: https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/wpp2022_summary_of_results.pdf.
2. European Commission. Statistical Office of the European Union. Ageing Europe: looking at the lives of older people in the EU : 2020 edition. LU: Publications Office; 2020; [cited 2022 Oct 19]. Available from: <https://data.europa.eu/doi/10.2785/628105>.
3. Błędowski P, Chudek J, Grodzicki T, Gruchała M, Mossakowska M, Więcek A, et al. Wyzwania dla polityki zdrowotnej i społecznej. Geneza projektów badawczych PolSenior1 i PolSenior2. In: Błędowski P, Grodzicki T, Mossakowska M, Zdrojewski T, editors. PolSenior2: Badanie poszczególnych obszarów stanu zdrowia osób starszych, w tym jakości życia związanej ze zdrowiem. Gdańsk: Gdański Uniwersytet Medyczny; 2021.
4. Mathers CD, Stevens GA, Boerma T, White RA, Tobias MI. Causes of international increases in older age life expectancy. The Lancet. 2015;385(9967):540-8.
5. Vaupel JW, Villavicencio F, Bergeron-Boucher M-P. Demographic perspectives on the rise of longevity. Proc Natl Acad Sci. 2021;118(9):e2019536118.
6. Aburto JM, Schöley J, Kashnitsky I, Zhang L, Rahal C, Missov TI, et al. Quantifying impacts of the COVID-19 pandemic through life-expectancy losses: a population-level study of 29 countries. Int J Epidemiol. 2022;51(1):63-74.
7. Pedroza P, Miller-Petrie MK, Chen C, Chakrabarti S, Chapin A, Hay S, et al. Global and regional spending on dementia care from 2000–2019 and expected future health spending scenarios from 2020–2050: An economic modelling exercise. eClinicalMedicine. 2022;45:101337.
8. Stavropoulos TG, Papastergiou A, Mpaltadoros L, Nikolopoulos S, Kompatsiaris I. IoT Wearable Sensors and Devices in Elderly Care: A Literature Review. Sensors. 2020;20(10):2826.
9. Chen X. Effectiveness of cognitive stimulation therapy (CST) on cognition, quality of life and neuropsychiatric symptoms for patients living with dementia: A meta-analysis. Geriatr Nur (Lond). 2022;47:201-10.
10. Chiu H-L, Chu H, Tsai J-C, Liu D, Chen Y-R, Yang H-L, et al. The effect of cognitive-based training for the healthy older people: A meta-analysis of randomized controlled trials. PLOS ONE. 2017;12(5):e0176742.
11. Teixeira CVL, Gobbi LTB, Corazza DI, Stella F, Costa JLR, Gobbi S. Non-pharmacological interventions on cognitive functions in older people with mild cognitive impairment (MCI). Arch Gerontol Geriatr. 2012;54(1):175-80.
12. Zając-Lamparska L, Wilkość-Dębczyńska M, Wojciechowski A, Podhorecka M, Polak-Szabela A, Warchoł Ł, et al. Effects of virtual reality-based cognitive training in older adults living without and with mild dementia: a pretest-posttest design pilot study. BMC Res Notes. 2019;Vol. 12:preprint no 776.
13. Huntley JD, Gould RL, Liu K, Smith M, Howard RJ. Do cognitive interventions improve general cognition in dementia? A meta-analysis and meta-regression. BMJ Open. 2015;5(4):e005247-e005247.
14. Domingo MC. An overview of the Internet of Things for people with disabilities. J Netw Comput Appl. 2012;35(2):584-96.
15. Olmedo-Aguirre JO, Reyes-Campos J, Alor-Hernández G, Machorro-Cano I, Rodríguez-Mazahua L, Sánchez-Cervantes JL. Remote Healthcare for Elderly People Using Wearables: A Review. Biosensors. 2022;12(2):73.
16. Radouan Ait Mouha RA. Internet of Things (IoT). J Data Anal Inf Process. 2021;09(02):77-101.
17. Abouzahra M, Ghasemaghaei M. Effective use of information technologies by seniors: the case of wearable device use. Eur J Inf Syst. 2022;31(2):241-55.
18. Laborda-Sánchez F, Cansino S. The Effects of Neurofeedback on Aging-Associated Cognitive Decline: A Systematic Review. Appl Psychophysiol Biofeedback. 2021;46(1):1-10.
19. Davelaar EJ. The multi-stage theory of neurofeedback learning: a framework for understanding mechanisms. Current Research in

- Neuroadaptive Technology. Elsevier; 2022;43-57.
20. Gunkelman JD, Johnstone J. Neurofeedback and the Brain. *J Adult Dev.* 2005;12(2-3):93-8.
 21. Kropotov JD. Introduction. *Quantitative EEG, Event-Related Potentials and Neurotherapy.* Elsevier; 2009;385-92.
 22. Hammond DC. What Is Neurofeedback? *J Neurother.* 2007;10(4):25-36.
 23. Angelakis E, Stathopoulou S, Frymiare JL, Green DL, Lubar JF, Kounios J. EEG Neurofeedback: A Brief Overview and an Example of Peak Alpha Frequency Training for Cognitive Enhancement in the Elderly. *Clin Neuropsychol.* 2007;21(1):110-29.
 24. Campos da Paz VK, Garcia A, Campos da Paz Neto A, Tomaz C. SMR Neurofeedback Training Facilitates Working Memory Performance in Healthy Older Adults: A Behavioral and EEG Study. *Front Behav Neurosci.* 2018;12:321.
 25. Kober SE, Witte M, Stangl M, Våljamäe A, Neuper C, Wood G. Shutting down sensorimotor interference unblocks the networks for stimulus processing: An SMR neurofeedback training study. *Clin Neurophysiol.* 2015;126(1):82-95.
 26. Staufenbiel SM, Brouwer A-M, Keizer AW, van Wouwe NC. Effect of beta and gamma neurofeedback on memory and intelligence in the elderly. *Biol Psychol.* 2014;95:74-85.
 27. Gomez-Pilar J, Corralejo R, Nicolas-Alonso LF, Álvarez D, Hornero R. Neurofeedback training with a motor imagery-based BCI: neurocognitive improvements and EEG changes in the elderly. *Med Biol Eng Comput.* 2016;54(11):1655-66.
 28. Becerra J, Fernández T, Roca-Stappung M, Díaz-Comas L, Galán L, Bosch J, et al. Neurofeedback in Healthy Elderly Human Subjects with Electroencephalographic Risk for Cognitive Disorder. *J Alzheimers Dis.* 2012;28(2):357-67.
 29. Fotuhi M, Lubinski B, Hausterman N, Riloff T, Hadadi M, Raji CA, et al. A personalized 12-week “brain fitness program” for improving cognitive function and increasing the volume of hippocampus in elderly with mild cognitive impairment. *J Prev Alzheimers Dis.* 2016;1-5.
 30. Surmeli T, Eralp E, Mustafazade I, Kos H, Özer GE, Surmeli OH. Quantitative EEG Neurometric Analysis–Guided Neurofeedback Treatment in Dementia: 20 Cases. How Neurometric Analysis Is Important for the Treatment of Dementia and as a Biomarker? *Clin EEG Neurosci.* 2016;47(2):118-33.
 31. Jiang Y, Abiri R, Zhao X. Tuning Up the Old Brain with New Tricks: Attention Training via Neurofeedback. *Front Aging Neurosci.* 2017;9. DOI: 10.3389/fnagi.2017.00052.
 32. Karbach J, Verhaeghen P. Making Working Memory Work: A Meta-Analysis of Executive-Control and Working Memory Training in Older Adults. *Psychol Sci.* 2014;25(11):2027-37.
 33. Folstein M, Folstein S, Fanjiang G. Minimental (MMSE)-przewodnik kliniczny. Warszawa: Pracownia Testów Psychologicznych Polskiego Towarzystwa Psychologicznego; 2009.
 34. Hodges JR, Larner AJ. Addenbrooke’s Cognitive Examinations: ACE, ACE-R, ACE-III, ACEapp, and M-ACE. In: Larner AJ, editor. *Cognitive Screening Instruments.* Cham: Springer International Publishing; 2017; 109-37.
 35. Łojek E, Stańczak J, Delis DC, Kramer JH, Ober BA. Podręcznik do kalifornijskiego testu uczenia się językowego CVLT Deana C. Delisa, Joela H. Kramera, Edith Kaplan i Beth A. Ober: polska normalizacja. Warszawa: Pracownia Testów Psychologicznych Polskiego Towarzystwa Psychologicznego; 2010.
 36. Łojek E, Stańczak J. CTT – Kolorowy Test Połączeń. Wersja dla dorosłych. Warszawa: Pracownia Testów Psychologicznych Polskiego Towarzystwa Psychologicznego; 2012.
 37. Graves LV, Van Etten EJ, Holden HM, Delano-Wood L, Bondi MW, Corey-Bloom J, et al. Refining CVLT-II recognition discriminability indices to enhance the characterization of recognition memory changes in healthy aging. *Aging Neuropsychol Cogn.* 2018;25(5):767-82.
 38. Danckert SL, Craik FIM. Does aging affect recall more than recognition memory? *Psychol Aging.* 2013;28(4):902-9.
 39. Fraundorf SH, Hourihan KL, Peters RA, Benjamin AS. Aging and recognition memory: A meta-analysis. *Psychol Bull.* 2019;145(4):339-71.
 40. Luijmes RE, Pouwels S, Boonman J. The effectiveness of neurofeedback on cognitive functioning in patients with Alzheimer’s disease: Preliminary results. *Neurophysiol Clin Neurophysiol.* 2016;46(3):179-87.
 41. Yeh W-H, Ju Y-J, Liu Y-T, Wang T-Y. Systematic Review and Meta-Analysis on the Effects of Neurofeedback Training of Theta Activity on Working Memory and Episodic Memory in Healthy Population. *Int J Environ Res Public Health.* 2022;19(17):11037.