

Zastosowanie rzeczywistości wirtualnej do rozpoznawania zaburzeń orientacji przestrzennej u osób starszych, jako próba wykorzystania innowacji technologicznych w geriatric

The use of virtual reality to recognize spatial orientation disorders in the elderly, as an attempt to use technological innovations in geriatrics

Adam Bednorz¹, Ewa Lach², Iwona Benek³

¹ Szpital Geriatryczny im. Jana Pawła II w Katowicach

² Wydział Automatyki, Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej w Gliwicach

³ Wydział Architektury Politechniki Śląskiej.

Streszczenie

Wstęp. Diagnostyka chorób neurodegeneracyjnych towarzyszących starzeniu się jest niezwykle istotna, szczególnie na wczesnych etapach, ze względu na możliwość spowolnienia ich przebiegu dzięki zastosowaniu odpowiedniej interwencji farmakologicznej i terapeutycznej. **Materiał i metody.** Celem niniejszej pracy jest przedstawienie nowej metody oceny orientacji przestrzennej wykorzystującej wirtualną rzeczywistość. **Wyniki.** Artykuł przedstawia stan badań związany z tematem, podstawę merytoryczną oraz aspekt technologiczny i przestrzenny zastosowanych rozwiązań w wirtualnej rzeczywistości wraz z podsumowaniem zaproponowanych rozwiązań. *Geriatrics 2020; 14: 153-160.*

Słowa kluczowe: zaburzenia poznawcze, otępienie, diagnostyka, rzeczywistość wirtualna.

Abstract

Background. The diagnosis of neurodegenerative diseases of aging is extremely important, especially in its early stages, due to the possibility of slowing its course and the use of pharmacological and therapeutic interventions. **Material and methods.** The aim of the study is to present a new method of assessing spatial orientation using virtual reality. **Results.** The article presents the state of research related to the topic, the substantive basis, the technological and spatial aspect of the solutions used in virtual reality with a summary of the proposed solutions. *Geriatrics 2020; 14: 153-160.*

Keywords: cognitive impairment, dementia, diagnostic, virtual reality

Wstęp

Starzenie się powoduje fizyczne oraz psychiczne ograniczenia i jest głównym czynnikiem ryzyka wielu przewlekłych chorób somatycznych. Aktualne prognozy demograficzne przewidują wzrost średniej długości życia i znaczny przyrost populacji osób starszych, co zwiększa liczbę osób znajdujących się w grupie ryzyka zachorowania na otępienie [1,2]. W krajach rozwiniętych gospodarczo ok. 14-15% populacji, a w krajach rozwijających się ok. 5%, przekroczyło już 65. rok życia. Przewiduje się, że w roku 2030 odsetki te będą wynosiły odpowiednio 23% i 10% [3,4]. W związku z tym szacuje się, że liczba zachorowań na otępienie

będzie podwajała się każdego roku w przeciągu następnych 6 lat [5]. Rozwój technologiczny stwarza szansę na dokładniejsze oszacowanie poznawczej deterioracji na przestrzeni lat oraz lepsze wykorzystanie i archiwizację uzyskanych wyników, umożliwiając prawidłowe i wczesne zdiagnozowanie prodromalnych stadiów zespołu otępiennego.

Rosnąca liczba badań nad przyczynami chorób neurodegeneracyjnych potwierdza, że zdolności przestrzenne rozwijają się od dzieciństwa do okresu dorosłości, a następnie zaczynają pogarszać się wraz z procesem starzenia się organizmu [6-7]. Osoby starsze często zgłaszają zmniejszone umiejętności przestrzenne, co ma związek z utrzymaniem samo-

dzielności i autonomii oraz wpływa na poczucie ich bezpieczeństwa. Wśród pojawiających się deficytów wskazuje się na trudności w oszacowaniu odległości między dwoma obiektami, dezorientację przestrzenną związaną z zaburzeniami postrzegania kierunku i ruchu własnego ciała, trudnościami z zapamiętywaniem lokalizacji i odtwarzaniem trasy [8]. Pierwsze etapy otępienia alzheimerowskiego charakteryzują się zaburzeniami pamięci epizodycznej, ale również dezorientacją topograficzną, niezdolnością do nawigacji w znanym środowisku, trudnościami w uczeniu się nowych tras oraz rozpoznawaniu miejsc lub korzystaniu z map do nawigacji. Deficyty te mogą pojawić się już u pacjentów w prodromalnych stanach otępienia, jak MCI (ang. MCI – *mild cognitive impairment* – łagodne zaburzenia poznawcze), i wynikać z postępującej neurodegeneracji przyśrodkowego płata skroniowego oraz hipokampa [9-11]. Związane z wiekiem pogorszenie wykonywania zadań orientacyjnych i nawigacyjnych, polegających na m.in. uczeniu się tras oraz ich powtarzaniu, wyszukiwaniu odpowiedniej drogi do celu i znajdowaniu wskazówek przydatnych w orientacji przestrzennej, wykorzystuje się w badaniach eksperymentalnych i diagnostyce chorób otępiennych [12-13].

Wysoką wartość diagnostyczną zadań oceniających orientację przestrzenną można tłumaczyć zaangażowaniem w te procesy kory śródwęchowej oraz przedklinka, struktur ulegających uszkodzeniu już w prodromalnej fazie alzheimeryzacji układu nerwowego [14,15]. Badania nad zwierzętami oraz dane z neuroobrazowania ludzkiego mózgu wskazują na ważną rolę kory śródwęchowej w takich aspektach orientacji przestrzennej jak planowanie trasy [17], oszacowanie kierunku do celu oraz dystansu (odległości) do celu [18]. Dysfunkcja komórek siatki, których 95% znajduje się w korze śródwęchowej i które odpowiadają za nieprzerwane odmierzenie przestrzeni, powiązana jest z deficytami orientacji przestrzennej u starszych pacjentów [19,20]. Neurodegeneracja kory śródwęchowej następuje już w prodromalnych stadiach otępienia alzheimerowskiego jeszcze przed wystąpieniem zaburzeń poznawczych. W badaniu Howett i wsp. [21] 45 pacjentów z MCI (w tym 26 osób z danymi dotyczącymi biomarkerów otępienia alzheimerowskiego w płynie mózgowo-rdzeniowym: 12 biomarkerów dodatnich i 14 biomarkerów ujemnych) i 41 osób w grupie kontrolnej wykonywało zadanie w wirtualnej rzeczywistości (ang. VR – *virtual reality* – rzeczywistość wirtualna) oceniające orientację przestrzenną i nawigację. Uzyskane

rezultaty były następnie porównywane z pomiarami MRI (ang. MRI – *Magnetic Resonance Imaging* – rezonans magnetyczny) objętości kory śródwęchowej oraz wynikami zestawu testów poznawczych o wysokiej czułości i swoistości dla wczesnych faz otępienia alzheimerowskiego. Pacjenci z dodatnim biomarkerem wykazywali większe błędy w zadaniu nawigacyjnym niż pacjenci z ujemnym biomarkerem, których wyniki nie różniły się istotnie od osób z grupy kontrolnej. Trudności w orientacji przestrzennej były związane z wyższym poziomem białka tau i niższym poziomem β -amyloidu w płynie mózgowo-rdzeniowym oraz ze zmniejszeniem objętości kory śródwęchowej zwłaszcza jej części tylnoprzyśrodkowej u pacjentów z MCI. Zadanie na orientację przestrzenną wykazało wysoką czułość diagnostyczną i swoistość w różnicowaniu pacjentów z dodatnim biomarkerem od pacjentów ujemnych w stosunku do testów poznawczych.

W innym badaniu 17 pacjentów z łagodnym otępieniem alzheimerowskim oraz 15 osób w poznawczej normie poproszono o przypomnienie elementów rzeczywistości wirtualnej, które widzieli w trakcie przemieszczania się po wirtualnym mieście (np. mijane osoby, budynki). Pacjenci z otępieniem alzheimerowskim uzyskali gorsze wyniki od osób z grupy kontrolnej [22]. Również inne badania wykazały, że ci dorośli, którzy mieli słabszą orientację przestrzenną znajdowali się w grupie ryzyka rozwoju otępienia alzheimerowskiego [23], ocena pamięci przestrzennej pozwalała więc na predykcję konwersji z MCI do otępienia alzheimerowskiego [24]. Młodzi dorośli z ryzykiem genetycznym dla otępienia alzheimerowskiego (nosiciele APOE-e4) wykazywali zmniejszoną reprezentację komórek siatki w korze śródwęchowej, a co za tym idzie zmniejszone zdolności nawigacyjne [25]. Zaburzenia w zakresie uczenia się trasy i odnajdywania drogi zostały zaobserwowane u osób z wysokim poziomem β -amyloidu w badaniach FDG-PET (ang. *18-Fluorodeoxyglucose Positron Emission Tomography* – pozytonowa emisyjna tomografia z użyciem fludeoksyglukozy) [26].

Podsumowując, coraz więcej dowodów wskazuje, że prodromalne stadia zespołu otępiennego mogą być związane z transneuronalnym rozprzestrzenieniem się białka tau w obrębie pętli hipokampa [26,27]. Z tego względu coraz większe znaczenie diagnostyczne mają testy wrażliwe na funkcjonowanie kory śródwęchowej, pozwalające na wczesną identyfikację procesu otępiennego o etiologii alzheimerowskiej jeszcze przed uszkodzeniem hipokampa.

W przypadku MCI rekomendacje ekspertów wskazują na konieczny okres 10-letniej obserwacji ze względu na ryzyko konwersji do zespołu otępiennego w tym czasie. Wykorzystanie zadań eksperymentalnych bazujących na rzeczywistości wirtualnej, obok danych z neuroobrazowania, testów neuropsychologicznych i badania płynu mózgowo-rdzeniowego, może stanowić kolejny marker przydatny w diagnostyce osób znajdujących się na pograniczu normy, łagodnych zaburzeń poznawczych i łagodnego otępienia [29,30].

Hipokamp, razem z korą śródwęchową, stanowi prawdopodobnie centralną część kognitywnego systemu lokalizacji przestrzennej i nawigacji, ponadto jest kluczowym elementem szlaku przetwarzania i konsolidacji informacji różnych modalności, docierających do mózgu ze środowiska zewnętrznego [31]. Proces integracji tych informacji wymaga mechanizmu koordynującego aktywność wielu różnych struktur korowych i podkorowych, którego przejawem jest synchroniczna aktywność w paśmie theta fal mózgowych. Zgodnie z Serino i współpracownikami [32] postępująca atrofia wymienionych wyżej obszarów prowadzi do trudności w konstruowaniu, przechowywaniu i wyszukiwaniu odpowiednich reprezentacji przestrzennych, w związku z czym pacjenci nie są w stanie zdefiniować ani pamiętać, w jakim kierunku iść w danym środowisku. Ponadto, nawigacja wymaga elastycznego przyjęcia zarówno strategii egocentrycznych (relacja podmiot-obiekt), jak i allocentrycznych (relacja obiekt-obiekt). Zaburzenia przestrzenne mogą więc być traktowane jako marker przydatny w identyfikacji prodromalnych stadiów otępienia alzheimerowskiego [32,33].

Od dwudziestu lat coraz większy nacisk w diagnostyce kładzie się na stosowanie oceny neuropsychologicznej w warunkach zbliżonych do tych, w jakich na co dzień wykorzystujemy nasze funkcje poznawcze. W takim ujęciu rzeczywistość wirtualna wydaje się niezwykle przydatną technologią do oceny funkcji poznawczych, ponieważ umożliwia symulację rzeczywistych sytuacji i opracowanie elastycznych narzędzi neuropsychologicznych [34]. Co więcej, takie podejście pozwala zminimalizować koszty ekonomiczne, czas badania oraz zapewnia bardziej precyzyjną kontrolę nad dostarczaniem bodźców i dodatkowe wskaźniki oceny, które nie mogłyby zostać uwzględnione w tradycyjnej diagnostyce z użyciem testów neuropsychologicznych w wersji papier-ołówek. Wilson [35] sugeruje, że w niedalekiej przyszłości diagnoza

neuropsychologiczna z wykorzystaniem VR stanie się czymś powszechnym, głównie ze względu na dużą wartość eksploracyjną metod opartych na wirtualnej rzeczywistości. Prawdopodobnie konieczne będzie zaprojektowanie nowych testów neuropsychologicznych oraz przeprowadzenie analiz moderacyjnych określających wpływ czynników modyfikujących uzyskane wyniki w VR, takich jak wiek, stan kliniczny (uszkodzenia ośrodkowego układu nerwowego), rodzaj wirtualnego zadania (aktywna lub pasywna eksploracja) oraz obecność dystraktorów. Osobną kwestią pozostaje nomenklatura, która oprócz pojęć typowych dla neuropsychologii, jak standaryzacja czy normalizacja, zacznie uwzględniać również aspekty technologiczne związane z procedurą badawczą oraz parametrami technicznymi. Już teraz zarysowują się pewne trudności metodologiczne, ponieważ w związku z rozwojem technologicznym coraz więcej grup badawczych wykorzystuje wirtualną rzeczywistość, proponując własne zadania eksperymentalne i protokoły, co ogranicza możliwość porównania uzyskanych wyników oraz opracowania normalizacji [36].

Materiał metody

Interdyscyplinarny zespół złożony z informatyków, architektów oraz psychologa w ramach badań współfinansowanych przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego w ramach projektu „Politechnika Śląska jako Centrum Nowoczesnego Kształcenia opartego o badania i innowacje” opracował narzędzie wykorzystujące wirtualną rzeczywistość do diagnozowania orientacji przestrzennej w prodromalnych stadiach otępienia alzheimerowskiego. Wykorzystano nabyte doświadczenia i materiały opracowane w trakcie wcześniejszej współpracy informatyków i architektów [37]. Główny nacisk został położony na testowanie takich funkcji poznawczych jak: orientacja przestrzenna, zdolności nawigacji, pamięć wzrokowa oraz funkcje wykonawcze. Przy projektowaniu zwrócono szczególną uwagę na łatwość obsługi oraz wybór zadań, imitujących sytuacje, z jakimi na co dzień spotykają się osoby 60+ (np. znalezienie drogi do gabinetu lekarskiego, skorzystanie z miejsca do siedzenia, odszukanie toalety). Zastosowano okulary *HTC Vive Pro Eye* w zestawie z kontrolerami VR i kamerami śledzenia ruchu gałek ocznych, które pozwoliły na prezentację świata wirtualnego z fotorealistyczną jakością, poruszanie się

po świecie wirtualnym oraz wchodzenie w interakcje z wirtualnymi obiektami.

Zadaniem architektów było przebadanie technik i udogodnień architektonicznych, wspierających osoby starsze z problemami widzenia i poruszania się. Przyjęto, że projektowane wnętrza powinny umożliwiać osobie starszej utrzymanie mobilności, stwarzać warunki do samodzielności oraz wspomagać orientację [38]. W celu zachowania warunków zbliżonych do rzeczywistości oraz możliwości sprawdzenia orientacji przestrzennej podczas realizacji zadań eksperymentalnych wykorzystano wnętrza przypominające korytarz w szpitalu lub innym miejscu związanym z opieką medyczną (rycina 1).



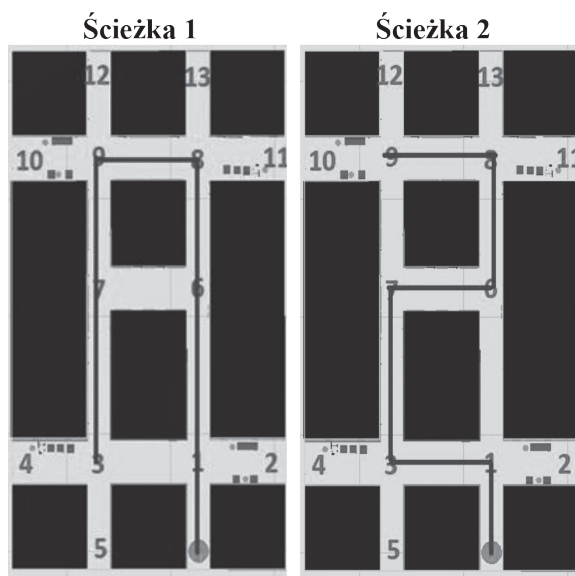
Rycina 1. Wizualizacja korytarza
Figure 1. Visualization of the corridor

Wyświetlacze montowane na głowie HMD (ang. *Head-Mounted Displays*) sprawiają, że ich użytkownicy czują się otoczeni ze wszystkich stron realistycznym światem wirtualnym, wprowadzając również behawioralny realizm.

W celu diagnostyki orientacji i nawigacji przestrzennej, na podstawie przeglądu literatury naukowej [21,22,36], opracowano następujące zadania i warianty eksperymentalne:

- Wariant 1 – powtórzenie zaprezentowanej trasy (osoba przechodzi od zielonego punktu A do punktu B),
- Wariant 2 – droga z punktu końcowego do początkowego (od punktu B do punktu A).

Przed rozpoczęciem badania należy wybrać trasę, jaka ma zostać odtworzona. Istnieje kilka jej wariantów. Proste trasy składają się z drogi i jednego zakrętu, natomiast złożone mają więcej zakrętów (rycina 2).



Rycina 2. Przykładowa trasa z punktami kontrolnymi

Figure 2. An example route with checkpoints

Po wyborze wariantu drogi przez diagnostę, pacjent ma przejść trasę wzdłuż niebieskiej linii (przedstawiającej drogę do zapamiętania) przez punkty kontrolne, które są notowane oraz wyświetlane na ekranie badającego. Po próbnym przejściu trasy pacjent zaczyna zadanie w tym samym miejscu, co na początku (punkt A). Tym razem zadanie polega na samodzielnym przejściu tej trasy z pamięci (bez podpowiedzi w postaci linii wskazującej poprawną drogę) do punktu końcowego (punkt B). W każdym zadaniu stworzono ścieżkę z punktami kontrolnymi (na rycinie liczby 1,2,3, itd.), które zostały rozmieszczone w konkretnych miejscach planszy. Algorytm posiada zapisaną kolejność tych punktów, co przekłada się na ścieżkę, którą należy przebyć w danym zadaniu i która następnie jest oceniana. Wyniki są wyświetlane na ekranie badacza w postaci nazw punktów, które składają się na poprawną trasę oraz przez te, które przeszedł pacjent w trakcie zadania. Narzędzie zapisuje informacje, jaki ostatni punkt ze ścieżki został odwiedzony przez pacjenta.

Przy opracowywaniu zadań diagnostycznych zdefiniowane zostały cechy sprzętu VR przydatne w procesie diagnostycznym:

- łatwa i szybka zmiana zadań oraz ich wariantów,
- łatwa i szybka zmiana przestrzeni i jej parametrów,

- kontrola nad dostarczaniem bodźcami,
- możliwość powtórzenia testu (w tych samych warunkach),
- rejestracja procesu wykonywania zadania oraz zapisywanie ocen,
- zapewnienie realizmu prezentowanej przestrzeni,
- możliwość dodania poleceń i komunikatów werbalnych,
- rozszerzenie rzeczywistości wirtualnej o elementy wspomagające testowanie (podświetlenie przedmiotów i trasy, dodatkowe komunikaty),
- symulowanie ruchu,
- bezpieczeństwo w testowaniu (osoby badane nie są narażone na zagrożenia występujące w świecie rzeczywistym).

W trakcie projektowania narzędzia zanotowano także ograniczenia okularów HMD:

- ograniczenie szczegółowości modeli 3D w celu zapewnienia płynności renderowania sceny w czasie rzeczywistym (renderowanie oznacza przedstawianie informacji zapisanych w pliku w określonej, odpowiadającej danemu środowisku formie, np. dane można przedstawić w formie wizualnej lub dźwiękowej),
- rzeczywista przestrzeń, w której przeprowadza się testy jest mniejsza od rzeczywistości wirtualnej.

W celu jak najdokładniejszego odwzorowania tradycyjnego poruszania się w rzeczywistości wirtualnej, zdecydowano się na aktywację ruchu poprzez wciśnięcie spustów na obu kontrolerach i przemieszczanie się poprzez ruch rąk zbliżony do tego, jaki wykonuje się podczas marszu. Dzięki zastosowaniu algorytmu możliwe było uniezależnienie lokomocji użytkownika od orientacji kamery. Ruch w danym kierunku odbywał się przez zwrócenie kontrolerów w jego stronę i wymagał obrotu całego ciała. W związku z tym, zastosowanie powyższych zadań wykorzystujących wirtualną rzeczywistość może być utrudnione u pacjentów w podeszłym wieku z ograniczeniami w zakresie narządów ruchu, niedowładami kończyn dolnych oraz z zespołem parkinsonowskim.

Projektowana przestrzeń miała za zadanie zapewnić zastosowanie zróżnicowanych scenariuszy poruszania się (rycina 2), odpowiednią ilość dystraktorów. W projekcie wykorzystano zasady projektowania uniwersalnego oraz badania związane z kształtowaniem przestrzeni terapeutycznej dla osób starszych w formach opieki długoterminowej [39,40], czyli

zastosowano odpowiednie zestawienia kolorystyczne, akcenty plastyczne, co miało pozwolić na lepszą percepcję i orientację w otoczeniu osobom z dysfunkcjami wzroku. Zaproponowano zróżnicowane funkcje: komunikacji, odpoczynku, dojść do gabinetów i pomieszczeń higieniczno-sanitarnych.

Przy wykorzystaniu niemobilnych okularów VR (takich jak *HTC Vive Pro Eye*) sugerowana jest pomoc dodatkowej osoby, która dopilnuje położenia kabla łączącego komputer PC z okularami VR oraz nie pozwoli osobie badanej na opuszczenie obszaru poruszania się.

W celu ułatwienia diagnostyki opracowano: graficzny interfejs użytkownika, możliwość wyboru badania i jego konfiguracji, wyświetlenie danych o pacjencie oraz uzyskiwanych przez niego wyników, możliwość przełączania między podglądem z VR a ekranem diagnosty, wgląd w zapisane dane oraz wyświetlanie ich w formie nagrania.

Podsumowanie i dyskusja

Proponowane narzędzie VR pozwala na jego użycie przez osoby starsze w trakcie diagnostyki funkcji poznawczych. Opierając się na danych z zakresu VR, zaproponowano formę zadań eksperymentalnych oceniających zdolności orientacji w przestrzeni oraz zdolności nawigacji.

Przy tworzeniu aplikacji VR istotne było opracowanie kilku wersji tras szpitalnego korytarza, różniących się rozwiązaniami funkcjonalnymi i formalnymi, ilością bodźców (przedmiotów, szczegółów, kolorów) a następnie oszacowanie zależności z wynikami uzyskiwanymi przez pacjenta. Ze względu na możliwość wykorzystania opracowanych zadań VR w diagnostyce deficytów poznawczych u osób w innych grupach wiekowych innych grupach wiekowych, w panelu diagnosty zapewniono możliwość regulacji parametrów zadań.

Tworzenie aplikacji VR przydatnych w diagnostyce neuropsychologicznej pozwala na wprowadzenie dodatkowych parametrów istotnych w procesie zapamiętywania bodźców poprzez kontrolę ilości informacji w danym zadaniu eksperymentalnym. W badaniach z wykorzystaniem VR coraz częściej jako dodatkową zmienną wskazuje się właśnie na tzw. *level of detail (LOD)*, czyli ilość informacji (bodźców, przedmiotów), występujących w danej zamodelowanej przestrzeni VR. Należy tutaj podkreślić, że większa ilość bodźców może utrudnić zapamiętywanie, z kolei zbyt mała ilość

będzie obniżała realizm danej przestrzeni (mieszkanie z małą liczbą przedmiotów nie będzie zbliżone do tych, w jakich ludzie codziennie funkcjonują). Opracowane narzędzie może znaleźć zastosowanie w diagnostyce funkcji poznawczych w innych jednostkach klinicznych, przykładowo w badaniu osób młodszych po urazach czaszkowo-mózgowych i udarach mózgu.

Zastosowanie innowacji technologicznych w procesie diagnostyki neuropsychologicznej gwarantuje możliwość uzyskania dodatkowych wskaźników oceny. W utworzonych zadaniach eksperymentalnych wygenerowano m.in. czas badania, przebytą odległość w VR. Uzyskano możliwość bardziej kompleksowej i równoległej oceny funkcji poznawczych. W zadaniach orientacji przestrzennej zaangażowana jest również uwaga dowolna, funkcje wykonawcze oraz pamięć wzrokowa, co przybliży zaimplementowane zadanie VR do warunków codziennego życia. Duża ilość użytych wskaźników wymaga pogłębionej analizy statystycznej w oparciu o macierz pomyłek i metodę testu diagnostycznego w celu wyszczególnienia parametrów czułości i swoistości, co jest istotnym aspektem w planowaniu badań weryfikujących opracowane zadania eksperymentalne. Ważne jest również oszacowanie trafności wewnętrznej i zewnętrznej w oparciu o dane z testów neuropsychologicznych, badań neuroobrazowych oraz biochemicznych.

Poza opracowaniem zadań eksperymentalnych oraz przestrzeni VR celem pracy było stworzenie określonego schematu diagnostycznego dla przyszłych badań empirycznych. Oprócz wykorzystywanych w diagnostyce testów przesiewowych oraz neuropsychologicznych do potencjalnej baterii zostały włączone również kwestionariusze samoopisowe dotyczące subiektywnej oceny własnej sprawności poznawczej oraz skutków ubocznych po przebyciu badania z wykorzystaniem technologii VR. W określeniu

trafności zewnętrznej konieczne wydaje się także uwzględnienie testów oceniających sprawność fizyczną oraz zależność z zespołem słabości (ang. *Frailty syndrome*). W trakcie tworzenia aplikacji VR istotna była również możliwość korygowania obrazu i dźwięku tak, żeby pacjenci z deficytami sensorycznymi również mogli być badani.

Celem wszystkich procedur było opracowanie nowoczesnej metody uzupełniającej obecną diagnostykę geriatryczną oraz zapewnienie przejrzystego klucza diagnostycznego ułatwiającego rozpoznanie kliniczne. Konieczna wydaje się weryfikacja opracowanych zadań eksperymentalnych przydatnych do oceny zaburzeń przestrzennych zarówno w grupie pacjentów w podeszłym wieku, jak i w innych grupach wiekowych.

Konflikt interesów / Conflict of interest

Brak / None

Źródło finansowania / Source of funding

Badania przedstawione w tej publikacji były współfinansowane przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego w ramach projektu "Politechnika Śląska jako Centrum Nowoczesnego Kształcenia opartego o badania i innowacje" POWR.03.05.00-00-Z098/17-00.

Adres do korespondencji / Correspondence address

✉ Adam Bednorz

Szpital Geriatryczny im Jana Pawła II

ul. Morawa 31; 40-353 Katowice

☎ (+48 32) 256 81 49

✉ adam.bednorz@emc-sa.pl

Piśmiennictwo/References

1. Alzheimer's Disease International. Policy brief for G8 heads of government: the global impact of dementia 2013-2050. London: Alzheimer's Disease International; 2013.
2. Prince M, Wimo AGM, Ali GC i wsp. World Alzheimer Report 2015: the global impact of dementia: an analysis of prevalence, incidence, cost and trends. London: Alzheimer's Disease International; 2015.
3. Ngo J, Holroyd-Leduc JM. Systematic review of recent dementia guidelines. *Age Ageing*. 2015;44(1):25-33.
4. Trongsakul S, Lambert R, Clark A i wsp.: Development of the Thai version of Mini-Cog, a brief cognitive screening test. *Geriatr Gerontol Int*. 2015;15:594-600.

5. Lara E, Koyanagi A, Caballero F i wsp. Cognitive reserve is associated with quality of life: A population-based study. *Exp Gerontol.* 2017;87:67-73.
6. Ruggiero G, D'Errico O, Iachini T. Development of egocentric and allocentric spatial representations from childhood to elderly age. *Psychol Res.* 2016;80:259-72.
7. Techentin C, Voyer D, Voyer SD. Spatial abilities and aging: a meta-analysis. *Exp Aging Res.* 2014;40:395-425.
8. Lester AW, Moffat SD, Wiener JM i wsp. The Aging Navigational System. *Neuron* 2017; Aug 30;95(5):1019-35.
9. Fjell AM, McEvoy L, Holland D i wsp. Brain changes in older adults at very low risk for Alzheimer's disease. *J Neurosci.* 2013 May 8;33(19):8237-42.
10. Morganti F, Stefanini S, Riva G. From allo- to egocentric spatial ability in early Alzheimer's disease: a study with virtual reality spatial tasks. *Cogn Neurosci.* 2013;4:171-80.
11. Pai MC, Yang YC. Impaired translation of spatial representation in young onset Alzheimer's disease patients. *Curr Alzheimer Res.* 2013;10:95-103.
12. Zhong JY, Moffat SD. Extrahippocampal contributions to age-related changes in spatial navigation ability. *Front Human Neurosci.* 2018; 2:272.
13. Wiener JM, Kmecova H, deCondappa O. Routerepetition and route retracing: Effects of cognitive aging. *Front Aging Neurosci.* 2012;4:7.
14. Braak H, Del Tredici K. The preclinical phase of the pathological process underlying sporadic Alzheimer's disease. *Brain.* 2015;138: 2814-33.
15. Weston PS, Nicholas JM, Lehmann M i wsp. Presymptomatic cortical thinning in familial Alzheimer disease: A longitudinal MRI study. *Neurol.* 2016;87:2050-7.
16. Jacobs J, Kahana MJ, Ekstrom AD i wsp. A sense of direction in human entorhinal cortex. *Proc Natl Acad Sci.* 2010;107:6487-92.
17. Chadwick MJ, Jolly AEJ, Amos DP i wsp. Report a goal direction signal in the human entorhinal/subicular region. *Curr Biol.* 2015;25: 87-92.
18. Howard LR, Javadi AH, Yu Y i wsp. Article the hippocampus and entorhinal cortex encode the path and euclidean distances to goals during navigation. *Curr Biol.* 2014;24:1331-40.
19. Diehl GW, Hon OJ, Leutgeb S i wsp. Grid and nongrid cells in medial entorhinal cortex represent spatial location and environmental features with complementary coding schemes. *Neuron.* 2017;94:83-92.
20. Stangl M, Achtzehn J, Huber K i wsp. Compromised grid-cell-like representations in old age as a key mechanism to explain age-related navigational deficits. *Curr Biol.* 2018;28:1108-15.
21. Howett D, Castegnarò A, Krzywicka K i wsp. Differentiation of mild cognitive impairment using an entorhinal cortex-based test of virtual reality navigation. *Brain.* 2019;142;6:1751-66.
22. Lecouvey G, Morand A, Gonneaud J i wsp. An Impairment of Prospective Memory in Mild Alzheimer's Disease: A Ride in a Virtual Town. *Front Psychol.* 2019;10:241.
23. Ritchie K, Carrière I, Su L i wsp. The midlife cognitive profiles of adults at high risk of late-onset Alzheimer's disease: The PREVENT study. *Alzheimers Dement.* 2017;13(10):1089-97.
24. Wood RA, Moodley KK, Lever C i wsp. Allocentric Spatial Memory Testing Predicts Conversion from Mild Cognitive Impairment to Dementia: An Initial Proof-of-Concept Study. *Front Neurol.* 2016;7:215.
25. Kunz L, Schröder TN, Lee H i wsp. Reduced grid-cell-like representations in adults at genetic risk for Alzheimer's disease. *Science.* 2015;350(625):430-3.
26. Allison SL, Fagan AM, Morris JC i wsp. Spatial navigation in preclinical Alzheimer's disease. *J Alzheimer's Dis.* 2016;52:77-90.
27. Ahmed Z, Cooper J, Murray TK i wsp. A novel in vivo model of tau propagation with rapid and progressive neurofibrillary tangle pathology: The pattern of spread is determined by connectivity, not proximity. *Acta Neuropathol.* 2014;127:667-83.
28. de Calignon A, Polydoro M, Suárez-Calvet M i wsp. Propagation of tau pathology in a model of early Alzheimer's disease. *Neuron.* 2012;73:685-91.
29. Barczak A, Gorzkowska A, Klimkowicz-Mrowiec A. Ocena zaburzeń funkcjonowania poznawczego. W: Rekomendacje Polskiego Towarzystwa Alzheimerowskiego. Otwock: Wydawnictwo Medisfera; 2012.
30. Albert M, Zhu Y, Moghekar A i wsp. Predicting progression from normal cognition to mild cognitive impairment for individuals at 5 years. *Brain.* 2018;141(3):877-87.
31. O'Keefe J, Nadel L. The hippocampus as a cognitive map . Oxford: Clarendon Press; 1978.
32. Serino S, Cipresso P, Morganti F i wsp. The role of egocentric and allocentric abilities in Alzheimer's disease: a systematic review. *Ageing Res Rev.* 2014;16:32-44.
33. Serino S, Morganti F, Di Stefano F i wsp.: Detecting early egocentric and allocentric impairments deficits in Alzheimer's disease: an experimental study with virtual reality. *Front Aging Neurosci.* 2015;7:88.
34. Bohil CJ, Alicea B, Biocca FA. Virtual reality in neuroscience research and therapy. *Nat Rev Neurosci.* 2011;12:752-62.
35. Wilson B. Neuropsychological rehabilitation: State of the science. *South African J Psychol.* 2013;43(3):267-77. September 2013.
36. Wiener JM, Carroll D, Moeller S i wsp. A novel virtual-reality-based route-learning test suite: Assessing the effects of cognitive aging on navigation. *Beh Res Meth.* 2019;Jun 24.

37. Lach E, Benek I, Zalewski K i wsp. Immersive virtual reality for assisting in inclusive architectural design. *Man-machine interactions 6. 6th International Conference on man-machine Interactions, ICMMI 2019, Cracow, Poland, October 2-3, 2019*. Eds.: Gruca A, Czachórski T, Deorowicz S, Harężlak K, Piotrowska A. Berlin: Springer International Publishing, 2020; 23-33.
38. Niezabitowska E, Szewczenko A, Benek I. *Potrzeby osób starszych w obiektach z funkcją opieki. Wytyczne do projektowania*. Gliwice: Wyd. Politechniki Śląskiej; 2017.
39. Benek I. Cechy i wymagania środowiska terapeutycznego dla osób starszych w domach seniora. W.: *Badania interdyscyplinarne w architekturze. BIWA 1. Monografia konferencyjna. T3. Badania przedprojektowe i okołoprojektowe w kształtowaniu środowiska zbudowanego*. Red.: Komar B, Biedronska J, Szewczenko A, Gliwice; 2015; 139-149.
40. Benek I. *Potrzeby pacjenta starszego i ich wpływ na projektowanie szpitali*. *Gerontol Pol.* 2014;4:97-158.