

Marta CHMURA¹, Piotr WODARSKI¹, Grzegorz GRUSZKA¹, Jacek JURKOJC¹

¹Katedra Biomechatroniki, Politechnika Śląska, Gliwice

OCENA ZMIAN WYBRANYCH WIELKOŚCI STABILOGRAFICZNYCH NA SKUTEK ODDZIAŁYWANIA WIRTUALNEJ RZECZYWISTOŚCI

Streszczenie: w niniejszej pracy dokonana została ocena zdolności utrzymywania równowagi w świecie rzeczywistym i wirtualnej rzeczywistości. Grupę badawczą stanowiło 9 zdrowych osób. Otrzymane wyniki umożliwiły analizę oraz określenie istotnych zmian wartości wybranych wielkości stabilograficznych dla wybranych par zbliżonych warunków w środowisku rzeczywistym i wirtualnym. Wykazano, że wyświetlanie wirtualnej scenarii działa destabilizująco w porównaniu do środowiska rzeczywistego, natomiast ciemna scenaria wywiera mniejszy efekt destabilizujący niż zamknięcie oczu.

Słowa kluczowe: stabilografia, wirtualna rzeczywistość

1. WSTĘP

Do badań i oceny stabilności postawy oraz chodu coraz częściej wykorzystuje się technologię wirtualnej rzeczywistości (VR). Dzięki tej technologii możliwe jest wykreowanie zróżnicowanych środowisk, w których, w czasie rzeczywistym, zachodzi interakcja między człowiekiem, a nierzeczywistym światem [2]. Wykonywanie różnego rodzaju badań oraz testów z wykorzystaniem wirtualnej rzeczywistości jest techniką postępową. Dzięki tworzeniu wirtualnych ruchomych widoków i „wirtualnych światów”, w środku których znajduje się osoba badana, można skutecznie projektować różnorakie bodźce. Większość z nich nie byłaby możliwa do ustawienia w świecie rzeczywistym [12]. Technologia VR zapewnia przestrzeń do analizy, w jaki sposób ludzie reagują i dostosowują się do środowiska wirtualnego oraz różnych rodzajów stymulacji sensomotorycznych. Systemy wirtualnej rzeczywistości prawie zawsze obejmują zmysł wzroku, jednakże angażują zazwyczaj kilka zmysłów. Głównym celem przeprowadzania badań w środowisku wirtualnym jest chęć zrozumienia mechanizmów utrzymywania równowagi w sytuacji konfliktu sensomotorycznego. Systemy wykorzystujące pomiary stabilności w środowisku wirtualnym w obecnych czasach znajdują zastosowanie w rehabilitacji i diagnostyce schorzeń związanych z układem przedsionkowym [3, 4, 6, 9].

Zaburzenia widzenia mają znaczący wpływ na zdolność utrzymywania równowagi [2, 7]. Problemy z utrzymaniem równowagi podczas zanurzenia w wirtualnej rzeczywistości są często wspomniane w literaturze [5, 8, 11, 12]. Jednym ze sposobów zbadania tego zjawiska jest wykorzystanie nieruchomego oraz poruszającego się otoczenia dzięki technologii wirtualnej rzeczywistości. Badaniom poddawano m. in. wpływ rodzaju

wyświetlanego obrazu na stabilność postawy oraz porównywano zdolność utrzymywania równowagi w pozycji stojącej w środowisku wirtualnej rzeczywistości a świecie rzeczywistym [10].

W związku z coraz powszechniejszym wykorzystaniem technologii wirtualnej rzeczywistości w badaniach stabilności istotne jest określenie w jaki sposób oglądanie komputerowo wygenerowanego nieruchomego obrazu wpływa na zdolność utrzymywania równowagi [1, 10, 11, 12]. Konieczne jest określenie czy zdolność utrzymywania równowagi w pozycji stojącej w wirtualnej rzeczywistości jest podobna do zdolności utrzymywania równowagi w pozycji stojącej w świecie rzeczywistym. Pozwoliłoby to na rozszerzenie analizy wyników badań stabilograficznych w wirtualnej rzeczywistości oraz uwzględnienie w tych analizach wpływu samego przebywania w wirtualnej rzeczywistości na uzyskane wartości wielkości stabilograficznych.

Celem niniejszej pracy było określenie zależności i różnic pomiędzy parami zbliżonych do siebie warunków badania – pozycja stojąca z oczami otwartymi i zamkniętymi, pozycja stojąca z oczami otwartymi i pozycja stojąca podczas wyświetlania nieruchomej scenarii w wirtualnej rzeczywistości, pozycja stojąca z zamkniętymi oczami i pozycja stojąca podczas wyświetlania ciemnej scenarii w wirtualnej rzeczywistości oraz pozycja stojąca podczas wyświetlania nieruchomej i ciemnej scenarii w wirtualnej rzeczywistości.

2. METODYKA BADAŃ

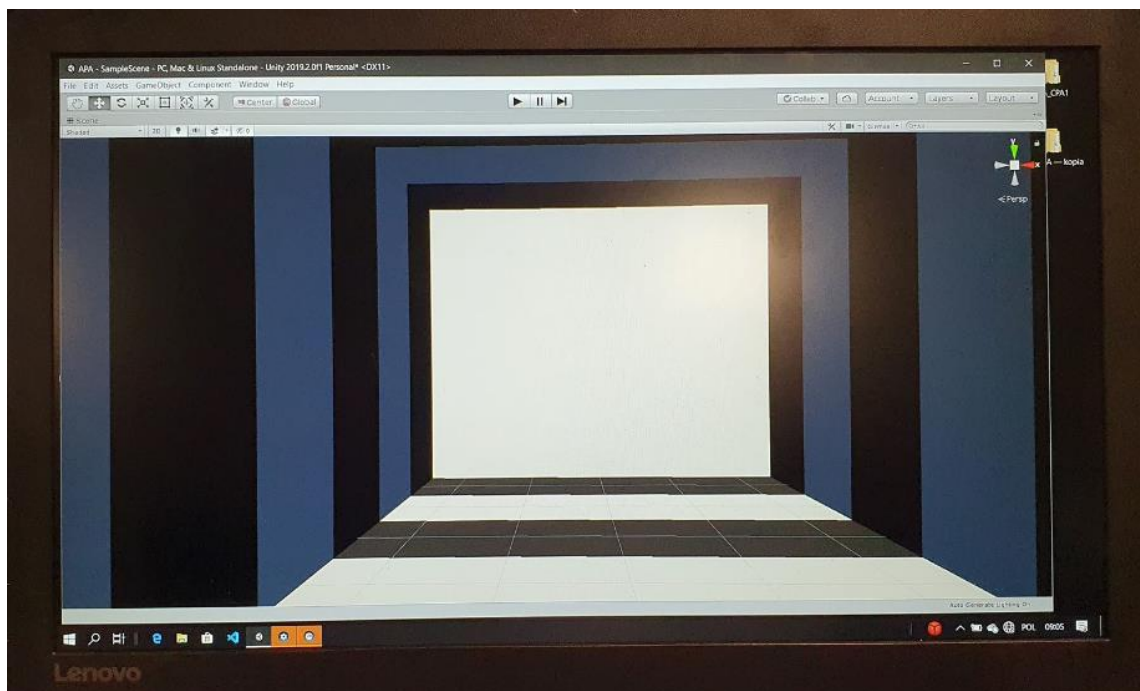
Badaniom poddano 9 osób (3 kobiety i 6 mężczyzn) o średniej wieku $23 \pm 1,9$ lat, średniej masie ciała $72,6 \pm 8,2$ kg i średnim wzroście $172,7 \pm 7,9$ cm. Wszyscy badani byli zdrowi oraz nie deklarowali problemów z równowagą.

Do przeprowadzenia badań stabilograficznych wykorzystano platformę pomiarową AMTI podłączoną do komputera z oprogramowaniem do rejestracji danych oraz gogle VR HTC Vive do wyświetlania wygenerowanych obrazów.

Uczestnicy badań zostali poproszeni o zdjęcie butów i stanięcie na platformie stabilograficznej w naturalnej dla siebie pozycji ze stopami ułożonymi symetrycznie i twarzą zwróconą na wprost przed siebie. Pozycję osoby badanej przedstawiono na rys. 1. Każde badanie trwało 60 sekund. Kolejne warunki badania następowały bezpośrednio po sobie, bez przerw. Seria badań składała się z następujących warunków w środowisku rzeczywistym: pozycja stojąca z oczami otwartymi (OO), pozycja stojąca z oczami zamkniętymi (OZ) oraz następujące badania z założonymi goglami VR w środowisku wirtualnej rzeczywistości: pozycja stojąca podczas wyświetlania nieruchomej scenarii (N_VR), pozycja stojąca podczas wyświetlania ciemnej scenarii (C_VR), Scenerią, którą widziały osoby badane została przedstawiona na rys. 2. Jako pierwsze zostało wykonane badanie z oczami otwartymi (OO_1) i zamkniętymi (OZ_1), następnie dwukrotnie zostały wykonane wszystkie badania w wirtualnej rzeczywistości, jako ostatnie powtórzono badanie z oczami otwartymi (OO_2) i zamkniętymi (OZ_1).



Rys.1. Pozycja osoby badanej



Rys.2. Wyświetlany obraz

Analizie poddane zostały następujące pary warunków: OO i N_VR, OZ i C_VR oraz N_VR i C_VR.

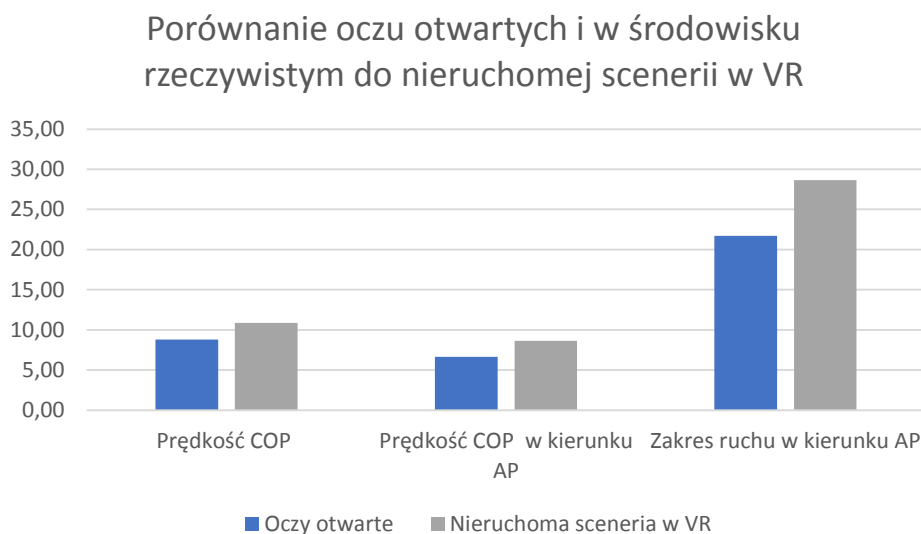
Uzyskane dane z platformy AMTI zostały poddane obróbce matematycznej w oprogramowaniu Matlab. Wyznaczono następujące wielkości opisujące ruch środka nacisku stóp (COP) w dziedzinie czasu [1]: średnia prędkość COP [mm/s] – iloraz całkowitej ścieżki COP podczas badania i czasu pomiaru, średnia prędkość COP w kierunkach ML i AP - iloraz całkowitej ścieżki COP w danym kierunku podczas badania i czasu pomiaru, zakres

ruchu w kierunku ML i AP [mm] – odległość w danym kierunku pomiędzy skrajnymi położeniami COP podczas badania. Z uzyskanych wyników, z powodu braku rozkładu normalnego, wyznaczone zostały mediany. Dla poszczególnych par wyników wykonano test Wilcoxon, aby sprawdzić, czy różnice pomiędzy otrzymanymi wynikami są istotne statystycznie ($p < 0,05$). Do sprawdzenia normalności rozkładu oraz wykonania testu Wilcoxon zostało wykorzystane oprogramowanie Statistica 13.

3. WYNIKI

Analizie poddano wartości prędkości COP, prędkości COP w kierunku AP oraz zakresu ruchu w kierunku AP. Wartości prędkości COP w kierunku ML oraz zakresu ruchu w kierunku ML nie zostały przedstawione na wykresach ponieważ nie wykazano różnic istotnych statystycznie, co świadczy o tym, że sposób utrzymywania równowagi w kierunku ML nie zmieniał się w znaczącym stopniu.

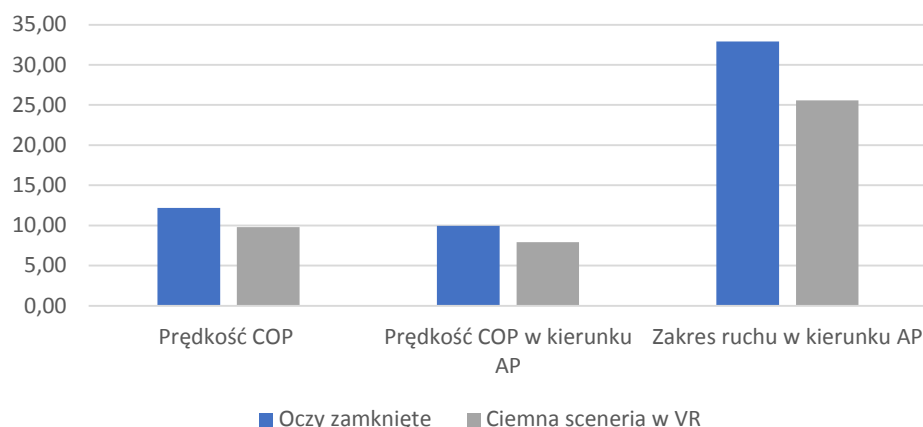
Na rys. 3 przedstawione zostało porównanie median wartości wielkości stabilograficznych dla oczu otwartych w środowisku rzeczywistym i nieruchomej scenarii w VR. Większe wartości wielkości stabilograficznych opisujących prędkość COP, prędkość COP w kierunku AP oraz zakres ruchu w kierunku AP otrzymano dla pozycji stojącej podczas wyświetlania nieruchomej scenarii w wirtualnej rzeczywistości. W przypadku prędkości COP różnica wynosiła 2,1 mm/s, prędkości COP w kierunku AP – 2 mm/s, natomiast w przypadku zakresu ruchu w kierunku AP – 6,9 mm. Różnice istotne statystycznie zostały stwierdzone w przypadku wszystkich wielkości stabilograficznych.



Rys.3. Wartości wielkości wielkości stabilograficznych dla pozycji stojącej z oczami otwartymi w środowisku rzeczywistym do pozycji stojącej w nieruchomej scenarii w VR

Na rys. 4 przedstawione zostało porównanie median wartości wielkości stabilograficznych dla oczu zamkniętych w środowisku rzeczywistym i ciemnej scenarii w VR. pozycji stojącej z zamkniętymi oczami w środowisku zostały otrzymane większe wartości wielkości stabilograficznych opisujących prędkość COP o 2,4 mm/s, prędkość COP w kierunku AP -o 2 mm/s oraz zakres ruchu w kierunku AP – o 7,3 mm. w przypadku wszystkich wielkości stabilograficznych różnice są istotne statystycznie.

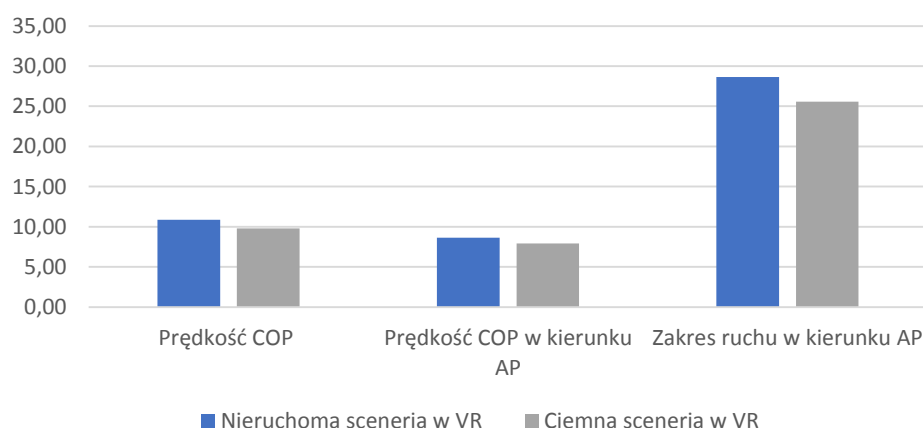
Porównanie oczu zamkniętych w środowisku rzeczywistym do ciemnej scenarii w VR



Rys.4. Wartości wielkości wielkości stabilograficznych dla pozycji stojącej z oczami zamkniętymi w środowisku rzeczywistym do pozycji stojącej w ciemnej scenarii w VR

Na rys. 5 przedstawione zostało porównanie median wartości wielkości stabilograficznych dla badań w wirtualnej rzeczywistości z nieruchomą oraz ciemną scenarią. Większe wartości wielkości stabilograficznych opisujących prędkość COP, prędkość COP w kierunku AP oraz zakres ruchu w kierunku AP otrzymano dla pozycji stojącej podczas wyświetlania nieruchomej scenarii w wirtualnej rzeczywistości. Różnice wynosiły kolejno 1,1 mm/s dla prędkości COP, 1,3 mm/s dla prędkości COP w kierunku AP oraz 3,1 mm w przypadku zakresu ruchu w kierunku AP. Stwierdzone różnice w przypadku wszystkich wielkości stabilograficznych są istotne statycznie.

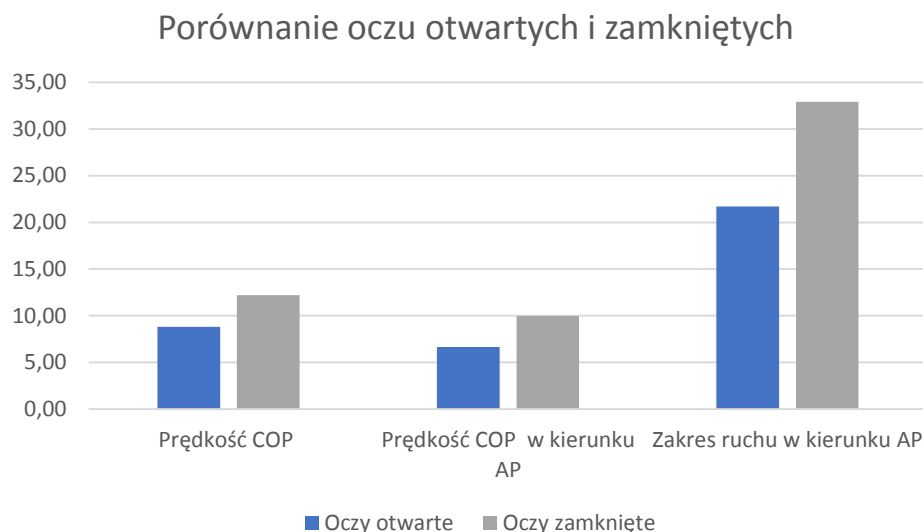
Porównanie nieruchomej scenarii w VR do ciemnej scenarii w VR



Rys.5. Wartości wielkości wielkości stabilograficznych dla pozycji stojącej w nieruchomej scenarii w VR i pozycji stojącej w ciemnej scenarii w VR

Na rys. 6 przedstawione zostało porównanie median wartości wielkości stabilograficznych dla pozycji stojącej z oczami otwartymi i zamkniętymi w środowisku rzeczywistym. Dla wielkości stabilograficznych opisujących prędkość COP, prędkość COP w kierunku AP oraz zakres ruchu w kierunku AP otrzymano większe wartości dla pozycji stojącej z oczami zamkniętymi. Otrzymana różnica w przypadku prędkości COP wynosiła 4,4 mm/s,

w przypadku prędkości COP w kierunku AP – 3,3 mm/s, natomiast w przypadku zakresu ruchu w kierunku AP – 11,2 mm. Różnice istotne statycznie zostały stwierdzone w przypadku wszystkich wielkości stabilograficznych.



Rys.6. Wartości wielkości stabilograficznych dla pozycji stojącej z oczami otwartymi do pozycji stojącej z oczami zamkniętymi w środowisku rzeczywistym

4. DYSKUSJA

Przeprowadzone badania miały na celu określenie czy przy zapewnieniu zbliżonych warunków w środowisku rzeczywistym i wirtualnym zostaną uwidocznione istotne zmiany w wartościach wielkości opisujących zdolność utrzymywania równowagi.

Pomiary wykonane przy oczach otwartych w środowisku rzeczywistym i wirtualnym wykazały istotne statystycznie różnice w wartościach prędkości średniej COP, prędkości średniej COP w kierunku AP oraz w zakresie ruchu w kierunku AP. Dla każdej z tych wielkości większą wartość zmierzono w środowisku wirtualnym w porównaniu do badania z oczami otwartymi w środowisku rzeczywistym (rys. 3). Wynik ten wskazuje, że zastosowanie wirtualnej scenarii przy równoczesnym odcięciu badanej osoby od rzeczywistych obrazów otoczenia wpływa destabilizująco. Może mieć to związek z większą obawą przed upadkiem i wynikającym z tego poszukiwaniem stabilności poprzez zwiększenie zakresu ruchu lub być konsekwencją nawet nieznacznych opóźnień w wyświetlaniu obrazu w porównaniu do tego, co doświadczamy w środowisku rzeczywistym. Otrzymane wyniki potwierdziły wcześniejsze badania prowadzone przez, między innymi, Tossavainen T. i in. [11], którzy odnotowali wzrost prędkości średniej COP na poziomie 5,4 mm/s, uzupełniając je o analizy prowadzone w scenarii bardziej zbliżonej do rzeczywistego otoczenia.

Odwrotną zależność zaobserwowano w przypadku pomiarów wykonanych przy oczach zamkniętych i w ciemnej scenarii. Większa wartość prędkości średniej COP, prędkości średniej COP w kierunku AP oraz w zakresie ruchu w kierunku AP został zaobserwowany dla badania z oczami zamkniętymi (rys. 4). Może to świadczyć o tym, że zamknięcie oczu działa bardziej destabilizująco od przebywania w wirtualnej rzeczywistości z ciemną scenarią. Podobne obserwacje zamieszczone zostały w publikacji autorstwa Tassavainen T. i in. [11]. w wyżej wymienionym artykule różnica wartości prędkości COP pomiędzy oczami zamkniętymi a ciemną scenarią wynosi 0,8 mm/s. Prawdopodobne jest, że świadomość otwarcia oczu pozytywnie oddziałuje na zdolność utrzymywania równowagi.

Potwierdzenie destabilizującego wpływu wirtualnych obrazów na badane osoby można zaobserwować z porównania jak zmieniają się wartości analizowanych wielkości w środowisku rzeczywistym – oczy otwarte i zamknięte – oraz w środowisku wirtualnym – sceneria „ciemna” i prezentująca otoczenie. W pierwszym przypadku wyższe wartości analizowanych wielkości otrzymano dla pomiarów z oczyma zamkniętymi (rys. 6), co jest zgodne z wynikami większości tego typu pomiarów [1, 11, 12]. Dla przypadku drugiego zależność ta jest odwrotna – wyższe wartości otrzymano podczas gdy była widoczne wirtualne otoczenie (rys. 5). Ze wszystkich pomiarów najwyższe wartości otrzymano dla przypadku, gdy wyświetlana była wirtualna sceneria. Pomimo zapewnienia warunków zbliżonych do środowiska rzeczywistego - oczu otwartych oraz możliwości odniesienia zmiany pozycji głowy do otoczenia, badane osoby wykazywały zwiększoną niepewność w utrzymywaniu równowagi ciała. Wniosek ten jest szczególnie istotny w aspekcie wykorzystania wirtualnych scenerii do prowadzenia diagnostyki oraz rehabilitacji zdolności utrzymywania równowagi. Wydaje się, że wyniki badań diagnostycznych związanych na przykład z wprowadzaniem zaburzeń w postaci ruchomego otoczenia lub wykonywaniem zadanych ćwiczeń powinny uwzględniać możliwą zwiększoną destabilizację pacjenta wynikającą z samego przebywania w środowisku wirtualnym.

5. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania umożliwiły stwierdzenie, że przy zapewnieniu zbliżonych warunków w środowisku rzeczywistym i wirtualnym występują istotne zmiany w wartościach wielkości opisujących zdolność utrzymywania równowagi. Wykazano, że wyświetlanie wirtualnej scenerii działa destabilizująco w porównaniu do środowiska rzeczywistego, natomiast ciemna sceneria w odniesieniu do badania z oczyma zamkniętymi wywiera mniejszy efekt destabilizujący. Otwartym pozostaje pytanie czy druga różnica wynika z faktu, że w scenerii ciemnej osoba badana mogła mieć otwarte oczy, chociaż dokoła niej była zupełna ciemność, czy też sam fakt dołożenia dodatkowej masy na głowę mógł wpłynąć na otrzymane wyniki pomiarów. Niezależnie od przyczyn należy podkreślić, że podczas wykorzystywania środowiska wirtualnego w pracach związanych z rehabilitacją lub sportem należy brać pod uwagę fakt zmian w zdolności utrzymywania równowagi osób ćwiczących. Nasilenie destabilizującego wpływu środowiska wirtualnego w zależności od takich czynników jak występujące schorzenia lub stopień zaawansowania sportowego wymaga szczegółowych badań.

LITERATURA

- [1] Jurkojć J.: Badania zdolności utrzymywania równowagi ciała przez człowieka w środowisku rzeczywistym i wirtualnym, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2018.
- [2] Błaszczyk J. W., Czerwosz L.: Stabilność posturalna w procesie starzenia, *Gerontologia Polska*, nr 13, 2005, s. 25-36.
- [3] Cesaroni S., da Silva A. M., Ganança M. M., Caovilla H. H.: Postural control at posturography with virtual reality in the intercritical period of vestibular migraine, *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*, 2019.
- [4] Gazzola J. M., Caovilla H. H., Doná F., Ganança M. M., Ganança F. F.: a quantitative analysis of postural control in elderly patients with vestibular disorders using visual

- stimulation by virtual reality, *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*, vol. 86, 2019, p. 593-601.
- [5] Horlings C. G. C., Carpenter M. G., K ng U. M., Honegger F., Wiederhold B., Allum J. H. J.: Influence of virtual reality on postural stability during movements of quiet stance, *Neuroscience Letters*, vol. 451, 2009, p. 227-231.
- [6] J zefowicz - Korczyńska M., Walak J., Szczepanik M., Lukas Grzelczyk W., Rosiak O.: Ocena zastosowania wirtualnej rzeczywistości jako metody fizjoterapii w uszkodzeniu obwodowym narządu przedsionkowego, *Otolaryngologia*, nr 13, 2014, s. 51-53.
- [7] Kostiukow A., Rostkowska E., Samborski W.: Badanie zdolności zachowania równowagi ciała, *Roczniki Pomorskiej Akademii Medycznej w Szczecinie*, nr 55, 2009, s. 102-109.
- [8] Kowalczykowski D., Jochymczyk - Woźniak K., Bieniek A., Wodarski P.: Wyznaczanie wpływu zaburzeń wizualnych na zdolność utrzymania równowagi, *Aktualne Problemy Biomechaniki*, nr 13, 2017, s. 37-42.
- [9] Micarelli A., Viziano A., Micarelli B., Augimeri I., Alessandrini M.: Vestibular rehabilitation in older adults with and without mild cognitive impairment: Effects of virtual reality using a head-mounted display, *Archives of Gerontology and Geriatrics*, vol. 83, 2019, p. 246-256.
- [10] Michnik R, Jurkojć J, Wodarski P, Gzik M, Bieniek A.: The influence of the scenery and the amplitude of visual disturbances in the virtual reality on the maintaining the balance, *Arch Budo*, vol 10, 2014, p.133-40.
- [11] Tossavainen T., Juhola M., Pyykk  I., Aalto H., Toppila E.: Development of virtual reality stimuli for force platform posturography, *International Journal of Medical Informatics*, vol. 70, 2003, p. 277-283.
- [12] Tossavainen T., Juhola M., Pyykk  I., Toppila E., Aalto H., Honkavaara P.: Towards Virtual Reality Stimulation in Force Platform Posturography, *Proceedings of the Tenth World Congress on Medical Informatics*, vol. 84, 2001, p.854-857.

EVALUATION OF CHANGES IN SELECTED STABILOGRAPHIC QUANTITIES RESULTING FROM INFLUENCE OF USE OF VIRTUAL REALITY

Abstract: This study assesses the ability to maintain balance in both the real world and virtual reality. Research group consisted of 9 healthy people, and obtained results made it possible to analyze and determine significant changes in values of selected stabilographic quantities for chosen pairs of similar conditions in real and virtual environments. It has been established that patients are less stable while immersed in virtual environment than they are while standing in real world without visual stimuli, but dark scenery has lower destabilising effect than standing with closed eyes.