

mgr Julia Ciężyńska

Rozprawa doktorska

**WPŁYW ŚRODOWISKA VR EXERGAMES
NA WYBRANE ZDOLNOŚCI KOORDYNACYJNE
I SUBIEKTYWNE ODCZUCIA IMMERSJI
I CHOROBY SYMULATOROWEJ
U MŁODYCH DOROSŁYCH KOBIET I MĘŻCZYZN**



Promotor:
prof. dr hab. Janusz Maciaszek





Akademia Wychowania Fizycznego
im. Eugeniusza Piaseckiego w Poznaniu

mgr Julia Ciężyńska

**Wpływ środowiska VR exergames na wybrane zdolności
koordynacyjne i subiektywne odczucia immersji i choroby
symulatorowej u młodych dorosłych kobiet i mężczyzn**

Rozprawa doktorska

Promotor:
prof. dr hab. Janusz Maciaszek

Poznań 2023

*Mojej rodzinie i znajomym,
którzy zawsze mnie wspierali*

SPIS TREŚCI

DANE O KANDYDACIE	4
WYKAZ SKRÓTÓW	5
STRESZCZENIE	6
ABSTRACT.....	8
1. WSTĘP.....	10
2. CELE I HIPOTEZY	14
3. CYKL PUBLIKACJI.....	15
4. MATERIAŁ I METODY	16
4.1. Uczestnicy	16
4.2. Ogólna procedura badań	17
4.3. Interwencja	18
4.4. Aparatura (gogle VR i gra)	19
4.5. Pomiar	19
4.5.1. Pomiar stabilności posturalnej.....	19
4.5.2. Pomiar RT i MT.....	20
4.5.3. Pomiar podstawowych funkcji układu krążeniowo-oddechowego.....	20
4.5.4. Pomiar subiektywnego odczucia objawów choroby symulatorowej.....	20
4.5.5. Pomiar subiektywnego odczucia poziomu immersji.....	21
5. WYNIKI	22
5.1. Stabilność posturalna	22
5.2. RT i MT	22
5.3. Podstawowe wskaźniki układu krążeniowo-oddechowego	23
5.4. Subiektywne odczucia objawów choroby symulatorowej.....	23
5.5. Subiektywne odczucia poziomu immersji.....	23
6. DYSKUSJA	24
7. WNIOSKI	28
8. PIŚMIENNICTWO	29
PODZIĘKOWANIA	36
PRZEBIEG PRACY NAUKOWO-ZAWODOWEJ – INFORMACJE DODATKOWE	37
ZAŁĄCZNIK 1. OŚWIADCZENIA	38
ZAŁĄCZNIK 2. PUBLIKACJE	42

DANE O KANDYDACIE

Data uzyskania tytułu magistra: 18.07.2018 r.

Nazwa jednostki organizacyjnej, w której nadany został tytuł: Wydział Wychowania Fizycznego, Sportu i Rehabilitacji Akademii Wychowania Fizycznego im. Eugeniusza Piaseckiego w Poznaniu.

Data uzyskania tytułu magistra: 17.06.2021 r.

Nazwa jednostki organizacyjnej, w której nadany został tytuł: Wydział Nauk o Zdrowiu Akademii Wychowania Fizycznego im. Eugeniusza Piaseckiego w Poznaniu.

Kandydat nie ubiegał się uprzednio o nadanie stopnia doktora.

Aktualne miejsce pracy: Zakład Nauk o Aktywności Fizycznej i Promocji Zdrowia, Akademia Wychowania Fizycznego im. Eugeniusza Piaseckiego w Poznaniu.

Zajmowane stanowisko: od 1.10.2021 r. – wykładowca, nauczyciel akademicki.

WYKAZ SKRÓTÓW

- 3D (ang. *three-dimensional*) – trójwymiarowy
- AR (ang. *augmented reality*) – rzeczywistość rozszerzona
- BMI (ang. *body mass index*) – wskaźnik masy ciała
- BR (ang. *breath rate*) – częstość oddechów
- CG (ang. *control group*) – grupa kontrolna
- COP (ang. *center of pressure*) – środek nacisku stóp
- EC (ang. *eyes closed*) – oczy zamknięte
- EE (ang. *energy expenditure*) – wydatek energetyczny
- EG (ang. *experimental group*) – grupa eksperymentalna
- EO (ang. *eyes open*) – oczy otwarte
- FPP (ang. *first-person perspective*) – widok z perspektywy pierwszoosobowej
- HMD (ang. *head-mounted display*) – okulary wyświetlające wirtualną rzeczywistość, zakładane na głowę
- HR (ang. *heart rate*) – częstość skurczów serca
- MT (ang. *motor time*) – motoryczny czas reakcji
- OL (ang. *one leg*) – postawa jedno nogę
- RI (ang. *Ruffier's Index*) – indeks Ruffiera
- RT (ang. *reaction time*) – czas reakcji
- SSQ (ang. *Simulator Sickness Questionnaire*) – kwestionariusz dotyczący choroby symulatorowej
- TIQ (ang. *The Immersion Questionnaire*) – kwestionariusz dotyczący poziomu immersji
- TL (ang. *on two legs*) – postawa obunóż
- VR (ang. *virtual reality*) – rzeczywistość wirtualna
- WHO (ang. *World Health Organization*) – Światowa Organizacja Zdrowia
- ZB3 (ang. *Zephyr Bioharness 3.0.*) – nazwa własna aparatury Zephyr Bioharness 3.0

STRESZCZENIE

Wstęp. Zgodnie z nowymi zaleceniami Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) osoby dorosłe (18–64 lata), aby poprawić stan zdrowia, powinny podejmować aktywność fizyczną o umiarkowanej intensywności: 150–300 minut tygodniowo. To minimum często nie jest osiągalne, mimo dostępnych dla tej grupy wiekowej różnych form aktywności fizycznej, umożliwiających podjęcie ćwiczeń fizycznych zarówno poza domem, jak i w domu. Zwiększenie aktywności fizycznej od umiarkowanego do intensywnego wysiłku jest ważnym celem zdrowia publicznego. Czas trwania jednorazowej sesji ćwiczeń, zawierający się między 30 a 60 minut, korzystnie wpływa na zdrowie, a coraz chętniej wybieraną formą są gry ruchowe (ang. *exergames*) w wirtualnej rzeczywistości (VR). Użycie VR, wykorzystującego ruch całego ciała, jest pomocne w rehabilitacji osób chorych, jednak brakuje szczegółowej wiedzy na temat VR *exergames* (połączenie ang. *exercise* i *games*) w kontekście zaoferowania dodatkowych korzyści zdrowotnych i prewencyjnych w utrzymaniu zdrowia u osób dorosłych. Dlatego głównym celem podjętych badań było określenie wpływu dwóch 30-minutowych sesji w VR, wykorzystujących grę ruchową o narastającej intensywności wysiłku, na: stabilność posturalną, czas reakcji (RT) i motoryczny czas reakcji (MT) (publikacja 1), subiektywne odczuwanie poziomu immersji i objawów choroby symulatorowej oraz podstawowe wskaźniki układu krążeniowo-oddechowego u młodych dorosłych obu płci (publikacja 2).

Metody. Dziewięćdziesięcioro troje uczestników podzielono losowo na grupę eksperymentalną (EG; $n = 45$) i grupę kontrolną (CG; $n = 48$). EG wzięła udział w dwóch 30-minutowych sesjach w środowisku VR z wykorzystaniem gry ruchowej o narastającej intensywności wysiłku. CG wzięła udział w dwóch 30-minutowych sesjach ćwiczeń interwałowych o narastającej intensywności wysiłku, wyświetlanych na ekranie telewizora. W obu sesjach monitorowano częstość skurczów serca (HR), częstość oddechów (BR) i wydatek energetyczny (EE). Zmierzono stabilność posturalną, RT oraz MT (publikacja 1), a metodą kwestionariuszową zbadano subiektywne odczucia dotyczące środowiska VR (publikacja 2).

Wyniki. Zaobserwowano zwiększenie stabilności postawy w EG w porównaniu z CG dla pomiaru długości ścieżki środka nacisku stóp (COP) (badany w postawie obunóż, oczy zamknięte – EC-TL): $F_{(2,182)} = 3,66, p = 0,028$ i $\eta^2 = 0,04$ oraz dla pomiaru długości ścieżki COP (badany w postawie jednonóż, oczy otwarte – EO-OL): $F_{(2,182)} = 5,81, p = 0,04$ i $\eta^2 = 0,07$. Zaobserwowano zwiększenie stabilności postawy w EG w porównaniu z CG dla pomiaru długości ścieżki obszaru elipsy 95% (badany w postawie obunóż, oczy zamknięte – EC-TL): $F_{(2,182)} = 4,30, p = 0,02$ i $\eta^2 = 0,05$. Zaobserwowano skrócenie RT w EG w porównaniu z CG: $F_{(2,182)} = 3,14, p = 0,046, \eta^2 = 0,03$ oraz skrócenie MT $F_{(2,182)} = 3,07, p = 0,049$ i $\eta^2 = 0,03$.

Po ukończeniu dwóch 30-minutowych sesji w VR z wykorzystaniem gry ruchowej zaobserwowano istotne statystycznie różnice międzypłciowe dla takich objawów jak: nudności $F_{(2,86)} = 0,80; p = 0,046$, zaburzenia okoruchowe $F_{(2,86)} = 2,37; p = 0,01$, dezorientacja $F_{(2,86)} = 0,92; p = 0,04$, suma trzech objawów $F_{(2,86)} = 3,33; p = 0,04$. Subiektywne odczucia choroby symulatorowej wystąpiły u 93,3% badanych, a średnie odczuwane objawy nie przekroczyły 14% (32,98 pkt/235,62 pkt) u kobiet i 6% u mężczyzn (15,13 pkt/235,62 pkt).

Analiza wyników ukazuje jednakowy poziom subiektywnie odczuwanej immersji u kobiet i mężczyzn. Wyniki dla obu płci uzyskane w kwestionariuszu dotyczącym poziomu immersji (TIQ) stanowiły ponad 76% punktów możliwych do zdobycia. Wykonanie interakcji dwuczynnikowej ANOVA wykazało brak istotnych różnic międzypłciowych dla subiektywnie odczuwanej immersji $F_{(1,43)} = 0,02$; $p = 0,89$.

Grupa mężczyzn uzyskała wyższe wartości w zakresie średniego BR: $F_{(2,86)} = 1,44$; $p = 0,04$, maksymalnego BR: $F_{(2,86)} = 1,15$; $p = 0,047$ oraz EE: $F_{(2,86)} = 10,51$; $p = 0,001$. Nie wykazano różnic międzypłciowych dla HR.

Wnioski. Korzystanie z gier ruchowych w VR jako formy ćwiczeń fizycznych przez 2×30 minut wywołuje wysoki poziom odczuwanej immersji, co pozytywnie wpływa na stabilność posturalną oraz parametry RT. Subiektywne odczuwanie objawów choroby symulatorowej wystąpiło u większości badanych, jednak u kobiet odczucia te są silniejsze. Pojawiające się różnice w zakresie BR i EE sugerują większe zaangażowanie mężczyzn w rozgrywkę, brak różnic dla HR zaś podkreśla zbliżoną intensywność wysiłku u obu płci. Brakuje szczegółowej wiedzy na temat gier ruchowych w VR w kontekście zaoferowania dodatkowych korzyści zdrowotnych u osób dorosłych bez potrzeb rehabilitacyjnych. Niniejsze badanie ocenia wpływ ćwiczeń fizycznych w środowisku VR nie tylko na subiektywne odczucia badanych, ale również na skrócenie RT, MT i poprawę stabilności posturalnej.

ABSTRACT

Introduction. According to the new recommendations of the World Health Organization, adults (aged 18–64) should undertake moderate-intensity physical activity, 150–300 minutes a week, to improve their health. This minimum is often not achieved, despite the various forms of physical activity available for this age group, enabling physical exercise both outside and at home. Increasing physical activity from moderate to vigorous exercise is an important public health goal. The duration of a single session of physical exercise, between 30 and 60 minutes, has a positive effect on health, and exergames in virtual reality (VR) are an increasingly popular form of exercise. The use of VR using the movement of the whole body is helpful in the rehabilitation of sick people, but there is a lack of detailed knowledge about VR exergames (exercise, games) in the context of offering additional health and preventive benefits in maintaining health in adults. Therefore, the main goal of the undertaken research was to determine the impact of two 30-minute VR sessions of music-rhythm exergames with increasing intensity of effort on: postural stability, reaction time parameters (publication 1) of the cardio-respiratory system in young adults of both sexes (publication 2).

Methods. Ninety-three participants were randomized into an experimental group (EG; $n = 45$) and a control group (CG; $n = 48$). The EG took part in two 30-minute VR exergames sessions of increasing effort intensity. The CG group participated in two 30-minute interval exercise sessions of increasing exercise intensity displayed on a television screen. Heart rate (HR), breath rate (BR), and energy expenditure (EE) were monitored in both sessions. Postural stability and reaction time (RT) indicators were measured (publication 1), and subjective feelings about the VR exergames environment were examined using a questionnaire method (publication 2).

Results. An increase in postural stability was observed in the EG compared to CG, for the measurement of the path length of the center of foot pressure (examined in the posture of both feet, eyes closed – EC-TL): $F_{(2,182)} = 3.66$, $p = 0.028$ and $\eta^2 = 0.04$ and for the measurement of the path length of the center of foot pressure (tested in a one-leg stance, eyes open – EO-OL): $F_{(2,182)} = 5.81$, $p = 0.04$ and $\eta^2 = 0.07$. An increase in postural stability was observed in the EG compared to the CG group, for the measurement of the path length of the 95% ellipse area (examined in the posture of both feet, eyes closed – EC-TL): $F_{(2,182)} = 4.30$, $p = 0.02$ and $\eta^2 = 0.05$. Reaction time was shortened in the EG compared to CG: $F_{(2,182)} = 3.14$, $p = 0.046$, $\eta^2 = 0.03$ and motor time $F_{(2,182)} = 3.07$, $p = 0.049$ and $\eta^2 = 0.03$.

After completing two 30-minute VR music-rhythm exergames sessions, statistically significant gender differences were observed for symptoms such as nausea $F_{(2,86)} = 0.80$; $p = 0.046$, oculomotor abnormalities $F_{(2,86)} = 2.37$; $p = 0.01$, confusion $F_{(2,86)} = 0.92$; $p = 0.04$, the sum of three symptoms $F_{(2,86)} = 3.33$; $p = 0.04$. Subjective feelings of simulator sickness occurred in 93.3% of the subjects, and the mean symptoms did not exceed 14% (32.98 points/235.62 points) in women and 6% in men (15.13 points/235.62 points).

The analysis of the results shows the same level of subjective immersion in women and men. The results for both sexes obtained in the TIQ questionnaire accounted for over 76% of the possible points. Performing a two-way interaction ANOVA showed no significant gender differences for subjective immersion $F_{(1,43)} = 0.02$; $p = 0.89$.

The group of men obtained higher values in terms of mean respiratory rate $F_{(2.86)} = 1.44$; $p = 0.04$, maximum respiratory rate $F_{(2.86)} = 1.15$; $p = 0.047$ and energy expenditure $F_{(2.86)} = 10.51$; $p = 0.001$. There were no gender differences in heart rate.

Conclusions. Using VR music-rhythm exercise games as a form of physical exercise for 2×30 minutes causes a high level of perceived immersion, which positively affects postural stability and reaction time parameters. The subjective feeling of simulator sickness symptoms occurred in the majority of respondents, but in women, these feelings are greater. The emerging differences in the BR and EE suggest a greater involvement of men in the game, while the lack of differences in the heart rate emphasizes the similar intensity of effort in both sexes. There is a lack of detailed knowledge about VR exergames in the context of offering additional health benefits to adults without rehabilitation needs. This study assesses the impact of physical exercise in the VR music-rhythm exergames environment not only on the subjective feelings of the subjects but also on the reduction of RT, motor reaction time (MT), and improvement of postural stability.

1. WSTĘP

Siedzący tryb życia może szkodzić zdrowiu ludzi (Jeżewska-Zychowicz i in. 2018), natomiast odpowiednio zaprogramowana aktywność fizyczna może zwiększać sprawność związaną ze zdrowiem (Adamczyk i in. 2020). Zgodnie z nowymi zaleceniami Światowej Organizacji Zdrowia (WHO), osoby dorosłe (18–64 lata) powinny podejmować aktywność fizyczną przez 150–300 minut tygodniowo z umiarkowaną intensywnością wysiłku lub 75–150 minut z wysoką intensywnością wysiłku oraz ćwiczenia fizyczne wzmacniające główne partie mięśni przez dwa lub więcej dni w tygodniu (WHO 2019). Zwiększenie aktywności fizycznej od umiarkowanego do intensywnego wysiłku fizycznego jest ważnym celem zdrowia publicznego (Marshall i in. 2013). Zalecenia nie są często osiągnięte (Dunstan i in. 2012; Guthold i in. 2018), mimo dostępnych dla tej grupy wiekowej różnych form aktywności fizycznej, umożliwiających podjęcie ćwiczeń fizycznych zarówno poza domem, jak i w domu (Martin i in. 2015; Liu i in. 2022; McDonough i in. 2022). Jednorazowa sesja ćwiczeń fizycznych, trwająca 30–60 minut, sprzyja zdrowiu osób dorosłych: ćwiczenia fizyczne trwające 30–40 minut mają korzystny wpływ na funkcje wykonawcze (dotyczące planowania i rozwiązywania problemów) oraz pamięć krótkotrwałą (zajmującą się bezpośrednim świadomym przetwarzaniem percepcyjnym i językowym) (Verburgh i in. 2013), a 60 minut ćwiczeń fizycznych o wyższej intensywności wysiłku korzystnie wpływa na funkcje poznawcze zależne od kory przedczołowej. Efekty te mogą utrzymywać się do 2 godzin po wysiłku fizycznym (Basso i in. 2015). Łączenie w ciągu roku ćwiczeń fizycznych o umiarkowanej i wyższej intensywności wysiłku umożliwia trwałą poprawę skurczowego i rozkurczowego ciśnienia tętniczego krwi u osób dorosłych (Zhang i in. 2016).

Coraz chętniej wybieraną formą aktywności są gry ruchowe (ang. *exergames*) w wirtualnej rzeczywistości (VR) (Faric i in. 2019). Zastosowanie różnych gier ruchowych (m.in. bowling, tenis stołowy, siatkówka plażowa, piłka nożna, boks) umożliwia młodym dorosłym wykonywanie ćwiczeń fizycznych o umiarkowanej i wysokiej intensywności (Wu i in. 2015). Użycie środowiska VR (Pachoulakis i Papadopoulos 2016; Brachman i in. 2021; Subramaniam i in. 2022), wykorzystującego ruch całego ciała (McDonough i in. 2018), jest pomocne w rehabilitacji osób chorych oraz starszych, jednak brakuje szczegółowej wiedzy na temat gier ruchowych w VR w kontekście zaoferowania dodatkowych korzyści zdrowotnych u osób dorosłych bez potrzeb rehabilitacyjnych. W wielu badaniach podkreśla się pozytywną rolę zastosowania muzyki (Edworthy i Waring 2006; Biagini i in. 2012; Soltani i Salesi 2013; Manca i in. 2020) oraz wysokiego stopnia immersji poprzez wykorzystanie gier ruchowych w wirtualnej rzeczywistości (Szpak i in. 2020; Rutkowski i in. 2021), które wpływają pozytywnie na ludzkie zdrowie.

Immersja to pojęcie, które odnosi się do stopnia zanurzenia odbiorcy w świecie przedstawionym, np. w filmie, grze komputerowej lub książce (Nilsson i in. 2016). Zjawisko to zaczęto szerzej opisywać wraz z rozwojem technologii pozwalających na stworzenie bardziej immersyjnych doświadczeń, takich jak trójwymiarowa (3D) grafika czy dźwięk przestrzenny. Wraz z rozwojem internetu i technologii mobilnych stosowanie immersji stało się jeszcze powszechniejsze, dzięki czemu odbiorcy mogą uzyskiwać bardziej realistyczne doświadczenia nierzeczywistych przestrzeni. Ich odczucia są zależne od rodzaju i stopnia immersji (Nilsson i in. 2016).

Przykładowe rodzaje immersji:

- immersja sensoryczna (Ermi i Mäyrä 2005): odnosi się do stopnia zanurzenia odbiorcy w świecie przedstawionym poprzez bodźce zmysłowe, takie jak dźwięk, obraz czy dotyk;
- immersja oparta na wyzwaniach (Ermi i Mäyrä 2005): wynika z konfrontacji z nietrywialnymi wyzwaniami, które są możliwe do zrealizowania przez odbiorcę;
- czasowa immersja (Ryan 2003): charakteryzuje się intensywnym zainteresowaniem narracją, chęcią dowiedzenia się, co będzie dalej;
- immersja fabularna (Tao i in. 2021): odnosi się do stopnia zanurzenia odbiorcy w świecie przedstawionym poprzez fabułę i postacie;
- immersja kontrolna (Tao i in. 2021): odnosi się do stopnia kontroli nad zadaniem, jaką użytkownik ma nad światem przedstawionym;
- immersja poznawcza (Visch i in. 2010): odnosi się do stopnia zanurzenia odbiorcy w świecie przedstawionym poprzez poznanie i zrozumienie nowych informacji.

Wyżej wymienione, przykładowe rodzaje immersji mogą odczuwać użytkownicy gier ruchowych podczas interakcji ze światem przedstawionym. Niektórzy badacze twierdzą (Gamito i in. 2008; Melo i in. 2018; Grassini i Laumann 2020), że to kobiety osiągają wyższy poziom immersji w świecie przedstawionym. Inni badacze zauważyli wyższy poziom subiektywnie odczuwanej immersji u mężczyzn (Lachlan i Krcmar 2011; Sagnier i in. 2020). Nie brakuje również badań wskazujących na brak różnic międzypłciowych w tym obszarze (Kothgassner i in. 2018; Morélot i in. 2021).

Wyróżnia się trzy podstawowe stopnie immersji: niski, średni i wysoki, a możliwość zaangażowania w doświadczenie połączona jest bezpośrednio z konkretnym typem urządzenia, który pozwala na dany rodzaj przeżycia (Martirosov i in. 2021). Niski stopień immersji do interakcji odbiorcy ze światem przedstawionym wykorzystują m.in. ekrany telewizorów (Liu i in. 2022; McDonough i in. 2022). Do urządzeń pozwalających na interakcję odbiorcy ze światem przedstawionym z wykorzystaniem średniego stopnia immersji zaliczamy m.in.: kontrolery ruchu, takie jak Move (Play Station 3, 4, 5) i Wii (Nintendo), kamery rzeczywistości rozszerzonej (AR) Kinect (Xbox 360) lub inne akcesoria z wbudowanymi czujnikami nacisku, np. Wii Fit balance board (Nintendo). Gry wykorzystujące średni poziom immersji często opierają się na ruchach całego ciała i noszą nazwę exergames – gier ruchowych (Oh i Yang 2010). Urządzenia, które umożliwiają interakcję odbiorcy ze światem przedstawionym z wykorzystaniem wysokiego poziomu immersji pozwalają na całkowite zanurzenie, dając wrażenie, że użytkownik jest fizycznie obecny w świecie wirtualnym. Są to np. gogle/okulary VR, kombinezony VR, rękawice haptyczne, buty haptyczne oraz komory VR. Okulary VR wyświetlające wirtualną rzeczywistość, zakładane na głowę (HMD) to urządzenia zapewniające wrażenie rzeczywistości wirtualnej w środowisku VR 3D. Dzięki umieszczeniu na głowie obraz jest prezentowany bezpośrednio przed oczami użytkownika, który może swobodnie poruszać się po świecie wirtualnym oraz integrować się z nim za pomocą kontrolerów ruchu.

Ważnym elementem podczas ćwiczeń fizycznych jest muzyka, która zwykle pozytywnie wpływa na ich przebieg i efekty. Xiaoqing Fu (2015) oraz S. Ghai i I. Ghai (2019) sugerują, że gry i wszelka aktywność fizyczna oparta na ćwiczeniach fizycznych przy muzyce mogą mieć korzystny wpływ na stabilność posturalną, będącą jednym z najważniejszych wyznaczników prawidłowej postawy człowieka (Błaszczyk i Czerwos 2005). Jest rozumiana jako odporność postawy na zakłócenia endogenne i egzogenne, których źródłem może być zarówno zmienność środowiska, jak i interakcja organizmu ludzkiego z otoczeniem. Za miarę stabilności postawy powszechnie przyjmuje się odległość środka nacisku (COP) od krawędzi stóp, przy założeniu, że obwód stóp, stanowiąc granicę powierzch-

ni podparcia, jest także granicą stabilności (Maki i in. 1987). Pozycja ludzkiego ciała nigdy nie jest nieruchoma, środek ciężkości nie pozostaje w jednym punkcie, lecz wykonuje minimalne przypadkowe ruchy o amplitudzie kilkunastu milimetrów. W odpowiedzi na niewielkie bodźce zakłócające postawa może być przywrócona poprzez skoordynowaną aktywność mięśni stabilizujących staw skokowo-goleniowy, bez konieczności odrywania stóp od podłoża (Błaszczyk i Czerwos 2005). Slobounov i in. (2015) sugerują, że środowisko VR może być użyte do wywołania reakcji destabilizujących postawę ciała. Kilukrotne wywoływanie reakcji motorycznej, w celu zapobiegnięcia nieoczekiwanej utracie równowagi, przyzwyczajają użytkownika gier VR do odruchu niestabilności postawy. Trening opierający się na grach ruchowych w VR, wykorzystujących muzykę, jest wskazywany jako jeden ze sposobów na polepszenie stabilności posturalnej (Cunha i in. 2021) poprzez poprawienie kinematyki stawu kolanowego, biodrowego oraz skokowego. Aktualnie badacze podkreślają pozytywny wpływ środowiska VR na stabilność posturalną (Cyma-Wejchenig i in. 2020; Marinho i in. 2022). Gry ruchowe w wirtualnej rzeczywistości wykorzystujące muzykę, takie jak Audio Trip, wymagają od graczy precyzyjnych ruchów ciała w odpowiedzi na mieniający się rytm muzyki, co może pomóc w rozwijaniu koordynacji ruchowej i świadomości ciała.

Aktywność fizyczna może wpływać wspomagająco na zdolności psychomotoryczne (Obmiński i in. 2017). Badania wykazały, że 15-minutowa aktywność fizyczna o wysokiej intensywności wysiłku wpłynęła pozytywnie na skrócenie czasu reakcji (RT) u triathlonistów i karateków. Warto jednak zaznaczyć, że zawodnicy obu dyscyplin są często badaną grupą w kontekście zdolności psychomotorycznych, a struktura testu RT koresponduje z wymogami wspomnianych form sportu. Gry ruchowe (Pourazar i in. 2017; Barbosa i in. 2020; Badau i in. 2022) i ćwiczenia fizyczne wykorzystujące muzykę (Van Dyck 2019) mogą mieć pozytywny wpływ na skrócenie RT i motorycznego czasu reakcji (MT). Dane, które można uzyskać dzięki ich pomiarom, informują o szybkości przetwarzania informacji (Jensen i Munro 1979). Czas od momentu wysłania sygnału przez motoneuron do rozpoczęcia odpowiedzi ruchowej, np. do uniesienia palca, opisuje się jako MT (Botwinick i Thompson 1966). Korzystanie z gier wideo poprawia szybkość przetwarzania informacji wizualnych w krótkotrwałej pamięci wzrokowej (Wilms i in. 2013; Ersin i in. 2022). Jednak nie wszystkie gry zachęcają do ruchu całym ciałem, a jedynie do ruchu poszczególnych kończyn. Gry ruchowe w wirtualnej rzeczywistości wykorzystujące muzykę, takie jak Audio Trip, wymagają od użytkownika szybkiej reakcji motorycznej ze względu na zmiany rytmu muzyki, aby dostosować ruch całego ciała do pojawiających się elementów, co może pomóc w skróceniu wskaźników RT. Pourazar i in. (2017) potwierdzili pozytywny wpływ gier ruchowych na skrócenie RT u dzieci z porażeniem mózgowym po zastosowaniu miesięcznej interwencji. Barbosa i in. (2020) zauważyli, że skrócenie RT u dzieci zdrowych nastąpiło już po zastosowaniu jednej 10-minutowej sesji gry ruchowej. Pięciodniowy eksperyment Rutkowskiego i in. (2021) potwierdził użyteczność 15-minutowych interwencji gier ruchowych w wirtualnej rzeczywistości w skróceniu MT i RT u młodych dorosłych.

Występują różnice międzypłciowe w częstości oddechów (BR), zależne od intensywności ćwiczeń i ich rytmizacji (Seebauer i in. 2003). Seebauer i in. (2003) wykazali, że wzrost intensywności ćwiczeń powoduje u mężczyzn wzrost BR, podczas gdy u kobiet intensywność ćwiczeń nie ma wpływu na koordynację rytmu oddychania i BR jest podobne dla różnych intensywności wysiłku (niska/umiarkowana/wysoka). Statystycznie to kobiety mają mniejszą objętość płuc w porównaniu z mężczyznami (Lung function testing... 1991), co sugeruje konieczność kompensacji zwiększonej intensywności wysiłku poprzez zwiększenie wartości BR podczas ćwiczeń. Niektóre badania potwierdzają jed-

nak (Soltani i Salesi 2013; Trinschek i in. 2022), że częstość skurczów serca (HR) oraz BR są u kobiet niższe niż u mężczyzn podczas standardowego testu biegowego do odmowy na bieżni ruchomej (różnica 12–34%). Inne badania potwierdzają wzrost HR (Edworthy i Waring 2006) i zwiększenie siły reakcji podłoża podczas biegu (Manca i in. 2020) po zastosowaniu rytmicznej muzyki podczas wykonywania ćwiczeń fizycznych, czego nie potwierdzono u kobiet (Manca i in. 2020). Soltani i Salesi (2013) zauważyli, że zastosowanie u mężczyzn gry ruchowej wraz z rytmiczną muzyką pozytywnie wydłużyło czas biegu w standardowym teście do odmowy, przy jednoczesnym zwiększeniu HR w porównaniu z grupą bez muzyki. Wu i in. (2015) zarejestrowali interesujące zjawisko, że niezależnie od rodzaju stosowanej gry ruchowej kobiety i mężczyźni (o zbliżonej masie i wysokości ciała) różnili się osiągniętą wartością HR.

Innym rodzajem ćwiczeń fizycznych, w których można wykorzystać muzykę, jest schemat interwałów nazywany tabatą (nazwa pochodzi od nazwiska autora protokołu ćwiczeń). Składa się ona z ćwiczeń interwałowych opierających się na schemacie: 20–30 sekund pracy, po których następuje 10 sekund odpoczynku (Tabata i in. 1996), zwykle powtarzanym osiem razy, wykorzystującym masę ciała ćwiczącego. Obecnie znane są różne modyfikacje pierwotnego protokołu tabaty, w których ćwiczenia fizyczne powtarza się od 2 do 8 minut (Dowllah i in. 2020).

Ekspozycja na środowisko VR może niekiedy powodować wiele nieprzyjemnych dolegliwości fizycznych, które zbiorczo opisuje się jako chorobę symulatorową (Cybulski i in. 2020). Wiek (Merkisz i in. 2014; Keshavarz i in. 2018) i płeć (Keshavarz i in. 2018) mają znaczenie w subiektywnym odczuwaniu objawów choroby symulatorowej. Młodzi dorośli (18–39 lat) odczuwają mniej objawów choroby symulatorowej w porównaniu z osobami starszymi (w wieku 65+) (Merkisz i in. 2014; Keshavarz i in. 2018). Kobiety częściej niż mężczyźni rezygnują z symulacji w trakcie jej trwania, z powodu nasilających się objawów choroby symulatorowej, i uczestniczą w symulowanym wirtualnym środowisku przez krótszy czas (Keshavarz i in. 2018). Szczególnie niekorzystny wpływ ma dla kobiet zastosowanie środowiska 2D, widok z perspektywy pierwszoosobowej (FPP), drastyczna fabuła oraz brak możliwości realistycznej interakcji ze światem przedstawionym (Munafo i in. 2017; Al Zayer i in. 2019; Grassini i Laumann 2020).

Podsumowując, można przyjąć, że 1) aktywność fizyczna o umiarkowanej i wysokiej intensywności jest ważnym elementem zachowania zdrowia osób dorosłych, 2) zastosowanie gry ruchowej w VR z wykorzystaniem muzyki stwarza możliwość poprawy stabilności posturalnej, 3) zastosowanie gry ruchowej w VR z wykorzystaniem muzyki stwarza możliwość poprawy wskaźników RT, 4) zastosowanie gry ruchowej w VR z wykorzystaniem muzyki i ćwiczeń fizycznych stwarza warunki powodujące wzrost podstawowych wskaźników krążeniowo-oddechowych u mężczyzn bardziej niż u kobiet, 5) kobiety są bardziej podatne na wystąpienie objawów choroby symulatorowej, 6) nie ma jednoznacznych badań potwierdzających wystąpienie podobnego poziomu immersji u kobiet i mężczyzn. Postanowiono więc ocenić wpływ gry ruchowej w VR z wykorzystaniem muzyki o narastającej intensywności wysiłku na stabilność posturalną, RT, MT, HR, BR, EE oraz subiektywne odczucia poziomu immersji i objawów choroby symulatorowej.

2. CELE I HIPOTEZY

Celem głównym podjętych badań było określenie wpływu dwóch 30-minutowych sesji w VR z wykorzystaniem gry ruchowej o wzrastającej intensywności wysiłku na: stabilność posturalną, RT, MT (publikacja 1) oraz wpływu na podstawowe wskaźniki układu krążeniowo-oddechowego, wpływu na subiektywne odczucia dotyczące oddziaływania środowiska VR u młodych dorosłych z uwzględnieniem różnic międzypłciowych (publikacja 2).

Cele szczegółowe:

- ocena wpływu ćwiczeń fizycznych w środowisku VR z wykorzystaniem gry ruchowej na okresowe zmiany stabilności posturalnej, RT oraz MT (publikacja 1);
- ocena wpływu ćwiczeń fizycznych w środowisku VR z wykorzystaniem gry ruchowej na podstawowe wskaźniki układu krążeniowo-oddechowego, subiektywnie odczuwane objawy choroby symulatorowej oraz poziom subiektywnie odczuwanej immersji z uwzględnieniem różnic międzypłciowych (publikacja 2).

Hipotezy:

1. Po ćwiczeniach w środowisku wirtualnej rzeczywistości z wykorzystaniem gry ruchowej obserwuje się zwiększenie stabilności posturalnej.
2. Po ćwiczeniach w środowisku wirtualnej rzeczywistości z wykorzystaniem gry ruchowej obserwuje się polepszenie czasu reakcji i motorycznego czasu reakcji.
3. Po ćwiczeniach w środowisku wirtualnej rzeczywistości z wykorzystaniem gry ruchowej częściej obserwuje się objawy choroby symulatorowej u kobiet niż u mężczyzn.
4. Po ćwiczeniach w środowisku wirtualnej rzeczywistości z wykorzystaniem gry ruchowej nie obserwuje się różnic w poziomie subiektywnie odczuwanej immersji pomiędzy kobietami i mężczyznami.

3. CYKL PUBLIKACJI

Niniejszy autoreferat został opracowany w ujęciu syntetycznym – w formie zwięzłego zaprezentowania informacji zawartych i szerzej omówionych w artykułach opublikowanych w ramach cyklu. Publikacje przedstawione są w kolejności stawiania celów i hipotez, a nie roku wydania. W skład cyklu pod wspólnym tytułem ***Wpływ środowiska VR exergames na wybrane zdolności koordynacyjne i subiektywne odczucia immersji i choroby symulatorowej u młodych dorosłych kobiet i mężczyzn*** wchodzi następujące artykuły naukowe:

1. Ciążyńska J., Maciaszek J. (2023) Effects of Low-Immersive vs. High-Immersive Exercise Environment on Postural Stability and Reaction and Motor Time of Healthy Young Adults. *Journal of Clinical Medicine*, 12 (1): 389. <https://doi.org/10.3390/jcm12010389>
punktacja MEiN: 140; Impact Factor: 4,964; Impact Factor 5-letni: 5,098
2. Ciążyńska J., Janowski M., Maciaszek J. (2022) Effects of a Modern Virtual Reality 3D Head-Mounted Display Exergame on Simulator Sickness and Immersion Under Specific Conditions in Young Women and Men: Experimental Study. *JMIR Serious Games*, 10 (4). <https://doi.org/10.2196/41234>
punktacja MEiN: 100; Impact Factor: 3,36; Impact Factor 5-letni: 4,30

4. MATERIAŁ I METODY

4.1. Uczestnicy

Oszacowanie wielkości próby przeprowadzono przy użyciu G*Power 3.1 (wersja 3.1.2; Heinrich Heine Universität, Düsseldorf, Niemcy).

Dokonując trzech pomiarów, biorąc pod uwagę dwie grupy i zakładany wskaźnik rezygnacji wynoszący 10%, należało zrekrutować 92 osoby, aby przetestować hipotezy. W sumie 93 uczestników ($n = 93$) zostało losowo przydzielonych do grup kontrolnej (CG) ($n = 48$) lub eksperymentalnej (EG) ($n = 45$).

Uczestnicy zostali zaproszeni do udziału w badaniu za pośrednictwem wiadomości e-mail. W badaniu mogły wziąć udział osoby noszące okulary oraz osoby praworęczne i leworęczne. Kryteria włączenia do badań były następujące:

- student wychowania fizycznego,
- wiek 19–29 lat,
- dobry stan zdrowia (brak zaburzeń neurologicznych, brak niepełnosprawności, brak zaburzeń psychicznych, nieprzyjmowanie leków psychotropowych, brak urazów lub świeżych kontuzji),
- wynik 10 lub mniej według indeksu Ruffiera (RI),
- brak wcześniejszej interakcji z urządzeniami VR czy podobną stymulacją VR.

Średni wiek uczestników EG ($n = 45$) wynosił 21,69 roku (zakres: 19–28 lat, SD = 2,76 roku). Średnia masa ciała wynosiła 71,03 kg (zakres: 44,50–106,50 kg, SD = 13,07 kg). Średnia wysokość ciała wynosiła 173,98 cm (zakres: 155,60–186,10 cm, SD = 8,09 cm). Średni wskaźnik masy ciała (BMI) wyniósł 23,3 kg/m² (zakres: 18,38–32,30 kg/m², SD = 3,23 kg/m²). Kobiety stanowiły 48,9% ($n = 22$).

Średnia masa ciała uczestników płci żeńskiej w EG ($n = 22$) wynosiła 64,77 kg (zakres: 44,5–99,5 kg, SD = 12,82 kg). Średnia wysokość ciała wynosiła 167,98 cm (zakres: 155,60–175,90 cm, SD = 6,23 cm). Średnie BMI wyniosło 22,84 kg/m² (zakres: 18,38–32,30 kg/m², SD = 3,63 kg/m²).

Średnia masa ciała uczestników płci męskiej w EG ($n = 23$) wynosiła 77,02 kg (zakres: 60,50–106,50 kg, SD = 10,40 kg). Średnia wysokość ciała wynosiła 179,73 cm (zakres: 169,40–186,10 cm, SD = 4,85 cm). Średnie BMI wyniosło 23,81 kg/m² (zakres: 19,96–32,19 kg/m², SD = 2,81 kg/m²).

Średni wiek uczestników CG ($n = 48$) wynosił 22,25 roku (zakres: 19–28 lat, SD = 1,66 roku). Średnia masa ciała wynosiła 68,39 kg (zakres: 45,0–99,0 kg, SD = 12,96 kg). Średnia wysokość ciała wynosiła 173,83 cm (zakres: 159,4–191,2 cm, SD = 8,63 cm). Średnie BMI wyniosło 22,5 kg/m² (zakres: 17,3–29,5 kg/m², SD = 2,80 kg/m²). Kobiety stanowiły 54,2% ($n = 26$).

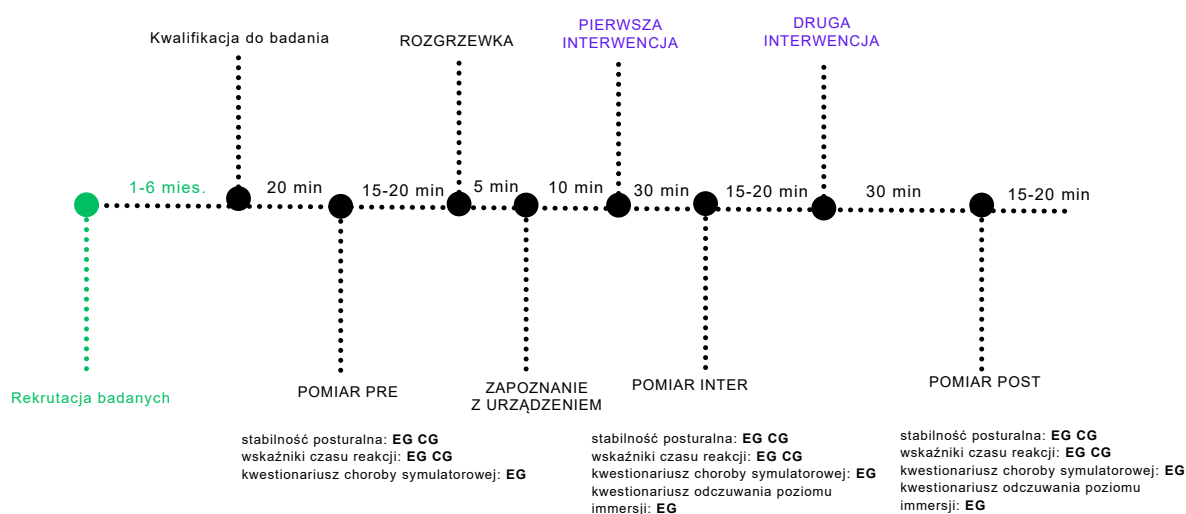
Średnia masa ciała uczestników płci żeńskiej w CG ($n = 26$) wynosiła 61,17 kg (zakres: 45,00–83,50 kg, SD = 9,88 kg). Średnia wysokość ciała wynosiła 168,69 cm (zakres: 159,40–184,20 cm, SD = 6,91 cm). Średnie BMI wyniosło 21,41 kg/m² (zakres: 17,27–26,00 kg/m², SD = 2,41 kg/m²).

Średnia masa ciała uczestników płci męskiej w CG ($n = 22$) wynosiła 76,91 kg (zakres: 57,00–99,00 kg, SD = 10,93 kg). Średnia wysokość ciała wynosiła 179,91 cm (zakres: 161,40–191,20 cm, SD = 6,21 cm). Średnie BMI wyniosło 23,71 kg/m² (zakres: 19,07–29,50 kg/m², SD = 2,76 kg/m²).

4.2. Ogólna procedura badań

Badanie zostało przeprowadzone zgodnie z Deklaracją helsińską oraz uzyskało pozytywną opinię Komisji Bioetycznej przy Uniwersytecie Medycznym im. Karola Marcinkowskiego w Poznaniu (uchwała 32/20).

Badanie zostało zaprojektowane jako randomizowana, kontrolowana próba z interwencją realizowaną w ciągu jednego dnia (2×30 min). Uczestnicy zgłaszali chęć udziału w badaniach drogą mailową, a następnie zostawali wstępnie (niejawnie) przydzieleni do EG lub CG. Główny badacz przeprowadzał randomizację przy użyciu wygenerowanej komputerowo tabeli liczb losowych. Każdy uczestnik otrzymywał datę badania i w określonym dniu przychodził do laboratorium. Uczestnicy byli poinformowani o schemacie badania i procedurach, a także podpisali formularz zgody. Przez cały czas trwania badania uczestnicy byli zachęceni do zadawania pytań.



EG – grupa eksperymentalna
CG – grupa kontrolna

Rycina 1. Schemat graficzny badania (opracowanie własne)

Po przyjeździe do laboratorium przeprowadzano kwalifikację do badania. Czujnik ZB3 zakładano uczestnikowi na klatkę piersiową za pomocą paska oraz kalibrowano z oprogramowaniem OmniSense (Zephyr BioHarness 3.0). Sprawdzano masę ciała i wysokość ciała uczestników, a następnie dane te wprowadzano do oprogramowania OmniSense. Następnie badani wykonywali test przysiadów Ruffiera (ang. *Ruffier squat test*) (Alahmari i in. 2020). Uczestnicy wykonywali 30 przysiadów w 45 sekund. HR zarejestrowano przed badaniem (P1), po 45 sekundach (P2) i 1 minutę po teście (P3). Wynik testu obliczany jest w postaci RI wyrażonego jako $(P1 + P2 + P3) - 200/10$. Zakres RI wynosi 0–17 pkt, a do badania mogły przystąpić osoby, które wykazały się wynikiem 10 pkt lub mniej (co oznacza przynajmniej dostateczną wydolność fizyczną).

Po sprawdzeniu, czy dany uczestnik spełnia kryteria włączenia do badań, zatwierdzano wcześniejszy wstępny przydział do EG lub CG. Czas całego badania dla EG i CG wynosił 140–155 minut, w tym: 20 minut na przeprowadzenie kwalifikacji do badania, w tym kalibrację czujnika ZB3, 45–60 minut na wykonanie poszczególnych pomiarów ($3 \times 15-20$ minut), 5 minut na ogólnorozwojową rozgrzewkę, 10 minut na zapoznanie badanego z programem ćwiczeń, w którym będzie uczestniczył (w grupie EG zapoznanie się z technologią w wirtualnej rzeczywistości wraz z ukończeniem tutorialu/samouczka gry Audio Trip), oraz dwie 30-minutowe interwencje. Bezpośrednio po ukończonej pierwszej

i drugiej interwencji uczestnik kierował się na platformę dynamometryczną w celu oceny stabilności posturalnej. Aby ograniczyć efekt uczenia się, pomiar stabilności posturalnej wykonywano w losowej kolejności dla każdego ustawienia: 1) oczy otwarte–postawa obunóż (EO–TL), 2) oczy zamknięte–postawa obunóż (EC–TL), 3) oczy otwarte–postawa jednonóż (EO–OL). Dalsze pomiary (RT, MT, subiektywnie odczuwane objawy choroby symulatorowej oraz poziom immersji) następowały w kolejności losowej z tego samego powodu (ograniczenie efektu uczenia się).

Badania były nadzorowane zawsze przez tę samą osobę. Warunki pomiaru nie różniły się od siebie zarówno dla grup, jak i płci. Badania odbywały się w tym samym pomieszczeniu przystosowanym do ćwiczeń fizycznych, w temperaturze pokojowej (okres jesienno-zimowy) 19–22°C.

4.3. Interwencja

Uczestnicy obu grup badanych wzięli udział w 5-minutowej rozgrzewce, zgodnie z instrukcją zawartą w przygotowanym wcześniej filmie, której elementami były: bieg w miejscu, wymachy ramion, skręty tułowia, skłony tułowia, rozgrzewka stawów nadgarstkowych i skokowych (krążenia).

Uczestnicy z grupy EG ustawiali się w obszarze bezpiecznym 2,5 m × 2,5 m, a następnie byli wyposażeni w sprzęt umożliwiający wyświetlenie gry ruchowej w wirtualnej rzeczywistości: gogle Oculus Quest i dwa kontrolery Oculus Quest. Podczas badania zastosowano wbudowane głośniki gogli Oculus Quest do odtwarzania dźwięku gry Audio Trip, by umożliwić ciągły werbalny kontakt z badanym. Uczestnicy byli ubrani w swój strój i obuwie sportowe, zakładali również przyjazne dla skóry jednorazowe wkładki higieniczne, ochraniające twarz przed otarciami. Uczestnicy po raz pierwszy użytkowali technologię VR, dlatego zastosowano 10-minutowe zapoznanie z urządzeniem Oculus Quest oraz grą Audio Trip. Badany poznawał strefę bezpieczną, dopasowywał poszczególne elementy gogli Oculus Quest do swoich preferencji, tj. regulował ostrość obrazu poprzez ustawienie odległości soczewek i rozstawu soczewek do swoich źrenic. Fizyczną regulację umożliwiał cyfrowy odczyt rozstawu soczewek w milimetrach o zasięgu 56–70 mm, co zdaniem producentów jest odpowiednie dla 95% dorosłych użytkowników. Badany dopasowywał również do swoich preferencji paski ochronne gogli VR, po czym wykonywał tutorial uczący, jak poprawnie korzystać z kontrolerów Oculus Quest. W środowisku VR kontrolery reprezentowane były jako wirtualne ręce (w menu) i dwukolorowe kule (podczas ćwiczeń fizycznych). Podczas gdy badany dopasowywał gogle i uruchamiał grę ruchową Audio Trip, badacz kalibrował podgląd gry na telefonie komórkowym, by móc w czasie rzeczywistym monitorować badanego. Każdy uczestnik został poinstruowany, by wybierać utwory muzyczne zgodnie z przygotowaną wcześniej sekwencją dla trybu „beginner” oraz „regular”. Kolejność w sesji 30-minutowej: 1) wybór utworu z listy, 2) trafianie w dwukolorowe trójkąty w rytm muzyki poprzez dotykanie, uderzanie, rozbijanie ich prawą/lewą ręką oraz unikanie wirtualnych barier poprzez ruch całego ciała, 3) podanie punktacji, 4) wybór kolejnego utworu z listy itd. To, czy uczestnik ukończył określoną sekwencję dla trybu „beginner” (pierwsza interwencja) oraz „regular” (druga interwencja), odnotowywano na liście kontrolnej wraz z uzyskanymi punktami. Szczegóły sekwencji muzycznej dla ćwiczeń fizycznych w grze Audio Trip przedstawiono w tabeli 2 (publikacja 1).

Uczestnicy CG ustawiali się w obszarze bezpiecznym 2,5 m × 2,5 m przed telewizorem, a następnie byli wyposażeni w dwa 0,5-kilogramowe hantle. CG ćwiczyła, odwzorowując interwałowe sekwencje ćwiczeń dla protokołu tabaty 30 : 10, w przedziałach czasowych

2–8 minut. Protokół ćwiczeń został wyświetlony na ekranie telewizora w postaci nagranych wcześniej wideo (interwencja z zastosowaniem niskiej immersji). Wideo stworzono na potrzeby niniejszego badania tak, by czas trwania, rytm muzyki oraz ruchy całego ciała podczas ćwiczeń fizycznych były zbliżone do ruchów ciała uczestników EG. Szczegóły przedstawiono w tabeli 3 (publikacja 1).

4.4. Aparatura (gogle VR i gra)

Oculus Quest (Oculus Quest system software, Facebook Inc., 2019, USA) to bezprzewodowe okulary VR, które pozwalają na całkowite zanurzenie się w świecie wirtualnym. Oculus Quest oferuje dostęp do szerokiej gamy gier i aplikacji, a także ma możliwość przesyłania obrazu z gogli na telewizor, smartfon lub ekran komputera. Gry dostępne na urządzeniu Oculus Quest mogą angażować do zabawy i ćwiczeń fizycznych cały aparat ruchu. Przykładem gry korzystającej z interakcji użytkownika ze światem wirtualnym poprzez ruch ciała jest gra Audio Trip (Andromeda Entertainment 2019). Jest to gra ruchowa, dostępna na urządzeniu Oculus Quest, która pozwala użytkownikom na aktywność fizyczną przy akompaniamencie muzyki poprzez ruch całego ciała. Gra polega na poruszaniu się po specjalnie zaprojektowanych torach, które odpowiadają rytmowi muzyki i wymagają od użytkownika odpowiedniego reagowania na różnego rodzaju interakcje, takie jak przysiady i uniki.

4.5. Pomiar

W celu dokonania analizy wpływu ćwiczeń fizycznych w środowisku VR, z wykorzystaniem gry ruchowej, na okresowe zmiany stabilności posturalnej, RT oraz MT (publikacja 1), wykonano pomiar stabilności posturalnej przy użyciu platformy dynamometrycznej, a pomiar RT oraz MT przy użyciu Wiedeńskiego Systemu Testów.

W celu dokonania analizy wpływu ćwiczeń fizycznych w środowisku VR, z wykorzystaniem gry ruchowej, na parametry układu krążeniowo-oddechowego, subiektywnie odczuwane objawy choroby symulatorowej oraz poziom subiektywnie odczuwanej immersji z uwzględnieniem różnic międzypłciowych (publikacja 2), monitorowano HR, BR i wydatek energetyczny (EE) przy użyciu systemu ZB3, wykonano pomiar subiektywnie odczuwanych objawów choroby symulatorowej przy użyciu kwestionariusza SSSQ oraz wykonano pomiar subiektywnie odczuwanego poziomu immersji przy użyciu kwestionariusza TIQ.

4.5.1. Pomiar stabilności posturalnej

Aby oszacować stabilność posturalną, zebrano dane dotyczące przemieszczania się COP za pomocą platformy dynamometrycznej (model AMPI PJB-101, AMTI, Watertown, MA, USA). Wiarygodnym, stosowanym w badaniach wskaźnikiem do analizy jest długość ścieżki COP, która określa odległość przebytą przez COP (mm) w czasie trwania całej próby/30 sekund. Kolejnym wykorzystanym wskaźnikiem jest obszar 95% elipsy ufności wokół trajektorii COP (mm²).

Pierwszy pomiar stabilności posturalnej wykonano przed rozgrzewką. Badany zapoznawał się wtedy z działaniem platformy dynamometrycznej, a następnie wykonywał w losowej kolejności trzy próby w określonych warunkach: 1) EO-TL, 2) EC-TL, 3) EO-OL. Czas trwania pojedynczej próby testowej wynosił 30 sekund, co jest czasem odpowiednim

do zarejestrowania wiarygodnego pomiaru COP (Nagymáté i in. 2018). Badany ustawiał się na platformie w swobodnej pozycji, a szerokość i kąt między kończynami były naturalne i niewymuszone. Po wejściu na platformę badany stał nieruchomo i patrzył na wybrany przez siebie punkt odniesienia. Czas pomiędzy ustawieniami wynosił około 10 sekund. Po każdej ukończonej sesji ćwiczeń fizycznych badany natychmiast kierował się na platformę dynamometryczną w celu oceny stabilności posturalnej. Łączny czas pomiaru dla trzech prób wynosił około 2 minut.

4.5.2. Pomiar RT i MT

Aby ocenić RT i MT, wykorzystano Wiedeński System Testów (test RT z formularza S3 w języku polskim – wybór reakcji żółty/ton, Vienna Test System, Schuhfried, Austria). Umożliwia on ocenę zdolności reagowania w ramach prostych bodźców świetlnych i dźwiękowych. Użycie dwóch klawiszy: klawisza spoczynku i klawisza reakcji, umożliwia rozróżnienie RT od MT. Badany siedział na krześle w wygodnej dla siebie pozycji. Jego zadaniem była możliwie szybka reakcja palcem wskazującym na sygnał optyczny (żółte światło), który pojawiał się na ekranie komputera, lub akustyczny (dźwięk), odbierany przez słuchawki. Przed wykonaniem pierwszego pomiaru uruchamiano interaktywną instrukcję, opisującą procedurę formularza S3. Badani przez 30 sekund zapoznawali się z procedurą i testowali dwa klawisze, a następnie wykonywali test główny. Po każdej ukończonej interwencji (30-minutowej sesji) pomiar RT i MT odbywał się bez dodatkowej instrukcji. Łączny czas pomiaru wynosił około 4 minut.

4.5.3. Pomiar podstawowych funkcji układu krążeniowo-oddechowego

Do monitorowania EE, szacowanego według wzoru (BioHarness 3.0 User Manual):

$$EE \text{ (kcal)} = \text{płeć}^* \times (-55,0969 + 0,6309 \text{ HR} + 0,1988 \text{ masa ciała} + 0,2017 \text{ wiek}) + (1 - \text{płeć}) \times (-20,4022 + 0,4472 \text{ HR} - 0,1263 \text{ masa ciała} + 0,074 \text{ wiek})$$

* 1 dla mężczyzn, 0 dla kobiet

wykorzystano przenośny bezprzewodowy system rejestracji piezoelektrycznej ZB3 (BioHarness 3.0, OmniSense 3.9.7, Zephyr Technology Corp).

4.5.4. Pomiar subiektywnego odczucia objawów choroby symulatorowej

SSQ jest jednym z najczęściej używanych narzędzi do badania występowania i nasilania się choroby symulatorowej (Kennedy i in. 1993). W badaniach wykorzystano SSQ przetłumaczony na język polski i walidowany przez Biernackiego i in. (2016). Jednym z istotnych aspektów badań nad symulatorami jest to, jak różne warunki testowe wpływają na nasilenie objawów wywołanych przez symulator. Wśród warunków w tym badaniu należy określić rodzaj bodźców wzrokowych i dźwiękowych. SSQ składa się z 27 pytań, odnoszących się do objawów wywołanych przez symulator. Znajdują się w nim pytania dotyczące takich objawów jak: nudności (pytania nr 1, 8, 10, 11, 12, 22, 25), zaburzenia okoruchowe (pytania nr 1, 2, 5, 6, 7, 12, 15) i dezorientacja (pytania nr 1, 7, 14, 15, 16, 17, 18). Użycie SSQ pozwala na subiektywną ocenę występowania i nasilenia się określonych objawów choroby symulatorowej – wynik obejmuje zarówno sumę trzech symptomów, jak i od-

rębny wynik dla poszczególnych objawów wskazanych powyżej. Badani zaznaczali odpowiedzi na 4-stopniowej skali (wcale – brak objawów choroby symulatorowej, niewielkie – niewielkie objawy choroby symulatorowej, umiarkowane – umiarkowane objawy choroby symulatorowej, znaczące – poważne objawy choroby symulatorowej). Łączny czas pomiaru wynosił około 5 minut.

4.5.5. Pomiar subiektywnego odczucia poziomu immersji

Kwestionariusz immersji TIQ to skala mierząca zaangażowanie użytkownika podczas gry (Jennett i in. 2008). W badaniach wykorzystano TIQ Jennett i in. (2008), który na język polski przetłumaczyli i walidowali P. Strojny i A. Strojny (2014). Polska adaptacja TIQ składa się z 27 pozycji testowych, a sam kwestionariusz został wykorzystany jako narzędzie do pomiaru poziomu subiektywnie odczuwanej immersji w grze Audio Trip. Immersję uważa się za ważną część doświadczenia użytkownika w świecie gry (Michailidis i in. 2018; Škola i in. 2020; Mochocki i in. 2021). Pytania w kwestionariuszu odnosiły się do różnych rodzajów immersji, tj. immersji poznawczej (10 pytań), immersji kontrolnej (8 pytań), immersji sensorycznej rozumianej jako odrealnienie (6 pytań), immersji opartej na wyzwaniach (6 pytań), immersji emocjonalnej (12 pytań), przy czym część pozycji testowych została przypisana do więcej niż jednego czynnika. Odpowiedzi były udzielane na 5-stopniowej skali Likerta. Łączny wynik do zdobycia w TIQ to 135 pkt. Łączny czas pomiaru wynosił około 5 minut.

5. WYNIKI

Analizy statystyczne przeprowadzono przy użyciu programu Statistica 13.3 (TIBCO Software Inc., Palo Alto, CA, USA), a istotność statystyczną zdefiniowano jako $p \leq 0,05$. Do sprawdzenia jednorodności wariancji zastosowano test Levene'a. W celu oceny zróżnicowania stabilności posturalnej i RT przeprowadzono dwuczynnikową analizę wariancji ANOVA z dwoma poziomami czynnika międzygrupowego „grupa” (EG i CG) i trzema poziomami powtarzanego pomiaru „interwencja” (PRE, INTER, POST) (publikacja 1). Aby ocenić zróżnicowanie objawów choroby symulatorowej, przeprowadzono dwuczynnikową analizę wariancji ANOVA z dwoma poziomami czynnika międzygrupowego „płeć” (kobiety i mężczyźni) z trzema poziomami powtarzanego pomiaru „interwencja” (PRE, INTER, POST) (publikacja 2). Przeprowadzono także dwuczynnikową analizę wariancji ANOVA z dwoma poziomami czynnika międzygrupowego „płeć” (kobiety i mężczyźni) z dwoma poziomami powtarzanego pomiaru „interwencja” (INTER, POST), w celu oceny zróżnicowania poziomu immersji (publikacja 2).

Dla wszystkich prowadzonych analiz oceniano efekt interakcji „grupa \times interwencja” lub „płeć \times interwencja”. Wielkość efektu mierzono za pomocą cząstkowego eta kwadrat (η^2).

5.1. Stabilność posturalna

Stabilność posturalna była lepsza w EG niż w CG. Długość ścieżki po ukończonych dwóch interwencjach (dwie 30-minutowe sesje) skróciła się, dla pomiaru $COP_{\text{path length}}^{\text{EC-TL}}$ o $-2,71\text{mm}$, a dla EO-OL o $-9,67\text{ mm}$. Po dwóch ukończonych interwencjach zaobserwowano istotny statystycznie efekt interakcji „grupa \times interwencja” dla pomiaru: $COP_{\text{path length}}^{\text{EC-TL}}$: $F_{(2,182)} = 3,66$, $p = 0,028$ i $\eta^2 = 0,04$; EO-OL: $F_{(2,182)} = 5,81$, $p = 0,04$ i $\eta^2 = 0,07$ oraz $COP_{\text{area 95}}^{\text{EC-TL}}$: $F_{(2,182)} = 4,30$, $p = 0,02$ i $\eta^2 = 0,05$. Szczegóły przedstawiono w tabelach 4 i 5 (publikacja 1), a interakcję dwuczynnikową ANOVA przedstawiono na rycinach 6, 7 i 8 (publikacja 1).

5.2. RT i MT

Ukończenie dwóch interwencji potwierdziło skrócenie wskaźników RT w EG. Zauważono, że CG po pierwszej i drugiej sesji miała dłuższe MT niż EG (po 1. interwencji: CG MT = 144 ms , EG MT = 134 ms ; po 2. interwencji: CG MT = 143 ms , EG MT = 127 ms). Tę samą zależność odnotowano dla wyników RT po pierwszej oraz drugiej sesji (po 1. interwencji: CG RT = 409 ms , EG RT = 384 ms ; po 2. interwencji: CG RT = 408 ms ; EG RT = 369 ms). Po ukończeniu dwóch interwencji zaobserwowano istotny statystycznie efekt interakcji „grupa \times interwencja” $F_{2,182} = 3,14$, $p = 0,046$, $\eta^2 = 0,03$ oraz różnice MT w EG w porównaniu z CG $F_{2,182} = 3,07$, $p = 0,049$ i $\eta^2 = 0,03$. Szczegóły omówiono w publikacji (publikacja 1), a interakcję dwuczynnikową ANOVA przedstawiono na rycinach 4 i 5 (publikacja 1).

5.3. Podstawowe wskaźniki układu krążeniowo-oddechowego

Mężczyźni i kobiety przed rozpoczęciem sesji cechowali się prawidłowym BR na minutę w spoczynku (mężczyźni: BR = 13/min; kobiety: BR = 15/min). Ukończenie dwóch interwencji potwierdziło uzyskanie przez mężczyzn wyższych wartości BR i EE. Po ukończeniu dwóch interwencji zaobserwowano istotny statystycznie efekt interakcji „płeć × interwencja” dla średniej BR $F_{(2,86)} = 1,44$; $p = 0,04$, maksymalnego BR $F_{(2,86)} = 1,15$; $p = 0,047$ oraz EE $F_{(2,86)} = 10,513$; $p = 0,001$. Nie wykazano różnic międzypłciowych dla HR. Szczegóły omówiono w publikacji (publikacja 2), a interakcję dwuczynnikową ANOVA przedstawiono w tabeli 8 (publikacja 2).

5.4. Subiektywne odczucia objawów choroby symulatorowej

Po ukończeniu dwóch interwencji zaobserwowano istotny statystycznie efekt interakcji „płeć × interwencja” dla objawów takich jak: nudności $F_{(2,86)} = 0,80$; $p = 0,046$, zaburzenia okoruchowe $F_{(2,86)} = 2,37$; $p = 0,01$, dezorientacja $F_{(2,86)} = 0,92$; $p = 0,04$, suma trzech objawów $F_{(2,86)} = 3,33$; $p = 0,04$. Interakcję dwuczynnikową ANOVA przedstawiono w tabeli 5 (publikacja 2).

Subiektywne odczucia choroby symulatorowej wystąpiły u 93,3% badanych, a średnie odczuwane objawy nie przekroczyły 14% u kobiet (32,98 pkt/235,62 pkt) i 6% u mężczyzn (15,13 pkt/235,62 pkt). Szczegóły dotyczące poszczególnej punktacji (dla sumy trzech objawów) przedstawiono w tabeli 5 (publikacja 2).

5.5. Subiektywne odczucia poziomu immersji

Analiza wyników ukazuje jednakowy poziom subiektywnie odczuwanej immersji u kobiet i mężczyzn. Wyniki dla obu płci uzyskane w TIQ stanowiły ponad 76% (76–80%) punktów możliwych do zdobycia, zarówno po pierwszej 30-minutowej sesji [kobiety 106,23 ($\pm 7,80$); mężczyźni 103,04 ($\pm 10,68$)], jak i po drugiej 30-minutowej sesji [kobiety 110,05 ($\pm 11,06$); mężczyźni 106,56 ($\pm 10,83$)], co stanowi wysoki poziom subiektywnie odczuwanej immersji. Po drugiej interwencji zaobserwowano brak istotności statystycznej dla efektu interakcji „płeć × interwencja” dla subiektywnie odczuwanej immersji $F_{(1,43)} = 0,02$; $p = 0,89$. Interakcję dwuczynnikową ANOVA przedstawiono w tabeli 7 i rycinie 7 (publikacja 2).

6. DYSKUSJA

Publikacja 1

Hipoteza 1. Po ćwiczeniach w środowisku wirtualnej rzeczywistości z wykorzystaniem gry ruchowej obserwuje się zwiększenie stabilności posturalnej.

Do tej pory potwierdzono pozytywny wpływ użytkowania gier exergames w rehabilitacji na zwiększenie stabilności posturalnej poprzez ruch całego ciała (Brachman i in. 2021), ruch całego ciała przy muzyce (Subramaniam i in. 2022), czy też ruch kończyn górnych (Pachoulakis i Papadopoulos 2016). Rose i in. (2018) w swoim przeglądzie publikacji naukowych dotyczących VR wskazywali, że na stabilność posturalną w głównej mierze wpływa subiektywne odczucie immersji. Jednak wspomniany przegląd nie obejmował gier ruchowych w środowisku VR. Slobounov i in. (2015) zbadali różnice w stabilności posturalnej u osób dorosłych przy wykorzystaniu środowiska VR 3D. Wykonanie zadań wykorzystujących nawigację przestrzenną było łatwiejsze po jednorazowej interwencji w środowisku VR 3D. Ci sami badacze sugerują, że środowisko VR może być użyte do wywołania reakcji destabilizujących postawę ciała. Kilkukrotne wywoływanie reakcji motorycznej w celu zapobiegnięcia nieoczekiwanej utracie równowagi łączy się z odruchem niestabilności postawy. Kierując się aktualną wiedzą w zakresie stabilności postawy przy wykorzystaniu środowiska VR, utworzono pierwszą hipotezę.

Soffel i in. (2016) wykazali, że stabilność posturalna zmierzona za pomocą systemu VR jest podobna do tej zmierzonej na platformie dynamometrycznej dla postawy EC-TL. Zatem stabilność posturalna w środowisku VR jest porównywalna ze stabilnością posturalną z zamkniętymi oczami na platformie dynamometrycznej. Ponieważ pomiar stabilności posturalnej w naszym badaniu odbywał się bezpośrednio po ukończonej sesji VR, warunki tego pomiaru można przyrównać do warunków zastosowanych przez zespół Soffela.

Kontrolowanie postawy statycznej zależy głównie od procesów automatycznych (Masion 1992), mimo że kontrola postawy wymaga uwagi (Lajoie i in. 1993). Stanie na platformie dynamometrycznej nie jest codzienną i naturalną sytuacją. W takim zadaniu na ogół zachęca się badanych, aby pozostali tak stabilni, jak to tylko możliwe, skupiając w ten sposób uwagę na kołysaniu swojego ciała (Vuillerme i in. 2000). Myślenie o tym, by kontrolować swoją postawę, często przynosi odwrotny skutek (Lajoie i in. 1993). W naszym eksperymencie przebywanie w środowisku VR exergames mogło odsunąć uwagę badanych od pomiaru stabilności posturalnej, którą mierzono bezpośrednio po interwencji. Lacour i in. (2008) zbadali grupę zdrowych młodych dorosłych (23,4 roku), dobranych pod względem poziomu wykształcenia i aktywności fizycznej. Wykazali, że dwuzadaniowość podczas badania stabilności posturalnej prowadzi do poprawy utrzymania postawy u młodych dorosłych. Poprawa stabilności posturalnej odzwierciedla więc odsunięcie uwagi od kontroli postawy (Lacour i in. 2008). Odsunięcie uwagi badanych podczas utrzymywania stabilności posturalnej na platformie dynamometrycznej, poprzez jednoczesne wykonywanie testu mierzącego RT, skróciło $COP_{path\ length}$ (Vuillerme i in. 2000). Co więcej, efekt ten (lepsza stabilność posturalna) utrzymywał się co najmniej 10 sekund po wykonaniu testu mierzącego RT (Vuillerme i in. 2000).

Hipoteza 2. Po ćwiczeniach w środowisku wirtualnej rzeczywistości z wykorzystaniem gry ruchowej obserwuje się polepszenie czasu reakcji i motorycznego czasu reakcji.

W ostatnich latach badacze podejmują się eksperymentów mierzących RT i MT z wykorzystaniem gier ruchowych w VR (Szpak i in. 2020; Rutkowski i in. 2021), jednak sami określają, że pozytywny wpływ exergames na skrócenie RT i MT jest niejasny. Szpak i in. zauważyli, że 10-minutowa interwencja skróciła MT po ekspozycji na VR, ale pozostawili do ustalenia przyczynę poprawy, która może być związana z ruchem całego ciała podczas ćwiczeń fizycznych w VR. Wyniki uzyskane przez zespół Rutkowskiego (2021) pokazują, że zastosowanie gry ruchowej w VR skróciło RT u grupy muzyków, u których zastosowano 15-minutową interwencję przez 5 dni. Okres ten pozwolił poprawić wyniki RT i MT, co świadczyło o tym, że podczas ćwiczeń fizycznych o niskiej intensywności wysiłku, dzięki bodźcom wzrokowym w grze VR, uczestnicy poprawili koordynację wzrokowo-ruchową. Ersin i in. (2022) zaobserwowali, że dłuższy czas gry e-sportowców wpłynął na poprawę RT, co może sugerować, że zwiększenie czasu trwania jednorazowej interwencji powinno pozytywnie wpłynąć na skrócenie RT i MT. W naszym eksperymencie ukończenie obu interwencji w VR z wykorzystaniem gry ruchowej skróciło RT i MT, co należy interpretować jako pozytywne zjawisko i potwierdzenie drugiej hipotezy.

Gra Audio Trip polega na poruszaniu się po specjalnie zaprojektowanych torach, które odpowiadają rytmowi muzyki i wymagają od użytkownika odpowiedniego reagowania na różnego rodzaju interakcje, takie jak przysiady i uniki, których zadaniem jest zmotywowanie uczestników do wykonywania ćwiczeń fizycznych. Wilms i in. (2013) wskazywali, że same ćwiczenia fizyczne mogą poprawić RT i MT u młodych dorosłych, jednak te lepsze wyniki zanikały bardzo szybko po zaprzestaniu ćwiczeń (Davranche i in. 2006; Wilms i in. 2013). W naszym badaniu pomiar RT i MT odbywał się około 10–15 minut po ukończeniu interwencji, dlatego można stwierdzić, że czas ten nie wpływa znacząco na spadek RT i MT i pozwala na uchwycenie efektu interakcji.

Publikacja 2

Po ćwiczeniach w środowisku VR music-rhythm exergames zaobserwowano różnice międzypłciowe dla podstawowych wskaźników krążeniowo-oddechowych. Może to wynikać z różnic międzypłciowych występujących w BR zależnych od intensywności ćwiczeń i ich rytmizacji (Seebauer i in. 2003). Ponadto istnieją pewne różnice międzypłciowe w odbiorze VR (Munafo i in. 2017; Al Zayer i in. 2019; Grassini i Laumann 2020). Zauważono, że to mężczyźni są bardziej skłonni do doświadczania przebywania w środowisku VR w sposób wysoce immersyjny, co sugeruje większe zaangażowanie mężczyzn w rozgrywkę, a tym samym możliwość uzyskania wyższych wartości HR, BR i EE w porównaniu z kobietami.

Rytmizacja ruchów podczas ćwiczeń wymusza na ćwiczącym określoną intensywność ćwiczeń i dostosowanie BR podczas trwania aktywności fizycznej. Seebauer i in. (2003) wykazali, że wzrost intensywności ćwiczeń powoduje u mężczyzn wzrost BR, podczas gdy u kobiet intensywność ćwiczeń nie ma wpływu na koordynację rytmu oddychania, który jest podobny dla różnych intensywności ćwiczeń (niska/umiarkowana/wysoka). Mimo że przeciętnie kobiety mają mniejszą objętość płuc w porównaniu z mężczyznami (Lung function testing... 1991), co sugeruje konieczność kompensacji poprzez zwiększenie wartości BR podczas ćwiczeń, to w naszym badaniu exergames mężczyźni cechowali się wyższym BR. Wynik ten jest zbieżny z obserwacjami Trinschka i in. (2022), którzy odnotowali wyższe wartości HR i BR u mężczyzn niż u kobiet (mimo zbliżonej masy i wysokości

ciała) podczas standardowego testu biegowego do odmowy na bieżni ruchomej (różnica 12–34%). Wu i in. (2015) zaobserwowali, że niezależnie od rodzaju stosowanej gry kobiety i mężczyźni różnili się osiągniętym EE i wartością HR.

Oddychanie jest regulowane przede wszystkim w celach metabolicznych i homeostaticznych w pniu mózgu (Orem i Trotter 1994). Jednak może również zmieniać się pod wpływem emocji, takich jak smutek, szczęście, niepokój lub strach (Homma i Masaoka 2008). Pallavicini i in. (2019) zauważyli, że gra w immersyjnym trybie wyświetlania była związana z wyższym subiektywnym poczuciem szczęścia i odczuwania przyjemności. Emocje mają wpływ na pobudzenie fizjologiczne, w tym na wzrost BR (Nykliczek i in. 1997; Boiten 1998). Tamir (2016) wskazuje dwie główne kategorie motywów/celów służących do regulacji emocji: hedoniczne i instrumentalne. Motywy hedoniczne określają jedynie, czy doświadcza się przyjemności i szczęścia w trakcie wykonywania zadania. Motywy instrumentalne są szerszą kategorią, ponieważ osoby kierujące się nimi dążą do osiągnięcia określonego wyniku. Według Leisterera i Jekauca (2019) wpływ na doświadczenie emocji wywiera atrakcyjność zadania, postrzegana własna kompetencja oraz autonomia. Można założyć, że u badanych płci męskiej odczuwana atrakcyjność zadania w postaci ukończenia poszczególnych sekwencji ćwiczeń fizycznych gry Audio Trip oraz własna kompetencja rozumiana jako świadomość własnego procesu uczenia się i potrzeb wpłynęła na zwiększenie BR w celu utrzymania homeostazy organizmu. Mężczyźni, czując się kompetentni, chcieli osiągnąć możliwy dla siebie najwyższy wynik podczas gry ruchowej w VR. Być może kobiety, mimo odczuwanego wysokiego poziomu immersji i poczucia własnej kompetencji, nie kierowały się potrzebą uzyskania możliwie najwyższej dla siebie punktacji, ale znajdowały przyjemność i satysfakcję z samych ćwiczeń fizycznych podczas gry ruchowej w VR, co ostatecznie nie przyczyniło się do uzyskania wyższej wartości BR w porównaniu z mężczyznami.

Hipoteza 3. Po ćwiczeniach w środowisku VR music-rhythm exergames częściej obserwuje się objawy choroby symulatorowej u kobiet niż u mężczyzn.

Wyniki przeprowadzonego eksperymentu pozwalają na przyjęcie trzeciej hipotezy. Na podstawie wcześniejszych badań założono, że kobiety mogą odczuwać dyskomfort, rozumiany jako objawy choroby symulatorowej, podczas użytkowania VR, przeżywając silne emocje związane ze strachem i odczuwając brak realistycznej interakcji ze światem przedstawionym (Munafo i in. 2017; Al Zayer i in. 2019; Grassini i Laumann 2020). Zastosowanie gogli VR montowanych na głowie osoby badanej może pomóc zwiększyć realistyczną interakcję ze światem przedstawionym, jednak całkowite usunięcie objawów choroby symulatorowej nie jest jeszcze technicznie możliwe (Grassini i in. 2020). Wyniki dotyczące immersji sugerują wysokie poczucie realistycznej interakcji w naszym eksperymencie, jednak zastosowanie wysokiego poziomu immersji nie wystarczyło, by wyeliminować możliwość pojawienia się objawów choroby symulatorowej.

Każdy uczestnik przeprowadzonego eksperymentu dopasowywał obudowę gogli VR oraz rozstaw soczewek do indywidualnych preferencji (szczegóły w podrozdziale 4.3). Wykorzystany w eksperymencie sprzęt nie posiadał przewodów i słuchawek (korzystano z wbudowanych głośników). Brak przewodów może zwiększyć jakość symulacji VR, poczucie kontroli nad zadaniem, a także swobodę ruchów (Gonçalves i in. 2020). Świadomość poczucia kontroli nad zadaniem rozumianej jako możliwość werbalnej komunikacji w czasie rzeczywistym z osobą prowadzącą eksperyment oraz możliwość ustawiania ostrości obrazu zminimalizowała nasilenie się objawów choroby symulatorowej. Nichols i Patel (2002), przeprowadzając przegląd publikacji naukowych, zauważyli, że możliwość

kontrolowania swoich ruchów oraz ułożenia gogli VR podczas gry zmniejszyła poziom zgłaszanych objawów choroby symulatorowej. Pomimo wystąpienia choroby symulatorowej w naszym badaniu można zauważyć pozytywną reakcję na zastosowane środowisko gry ruchowej w VR. Porównując wyniki przed wykonaniem pierwszej interwencji oraz po jej ukończeniu, nie wykazano istotności statystycznej dla grupy mężczyzn i grupy kobiet, co świadczy o niskim natężeniu subiektywnie odczuwanych objawów po 30 minutach. Niestety, wydłużenie interwencji oraz zastosowanie wyższej intensywności wysiłku wykazało więcej subiektywnie odczuwanych objawów choroby symulatorowej u kobiet niż u mężczyzn.

Hipoteza 4. Po ćwiczeniach w środowisku wirtualnej rzeczywistości z wykorzystaniem gry ruchowej nie obserwuje się różnic w poziomie subiektywnie odczuwanej immersji pomiędzy kobietami i mężczyznami.

Immersja jest jednym z głównych czynników niezbędnych, aby stworzyć realistyczne wrażenia występujące w czasie gry. Zastosowanie w eksperymencie gogli VR Oculus Quest montowanych na głowie, wyświetlających obraz bezpośrednio przed oczami badanego, posiadających wysokiej jakości grafikę mogło wpłynąć na pozytywny odbiór świata przedstawionego i wysokie poczucie realistycznej interakcji ze światem przedstawionym przez kobiety i mężczyzn. Wyniki naszego badania potwierdzają czwartą hipotezę. Zarówno po pierwszej, jak i po drugiej sesji odnotowano występowanie wysokiej immersji u kobiet i mężczyzn, oscylującej pomiędzy 76–80%. Newman i in. (2022) potwierdzili, że zastosowanie wysokiej jakości grafiki zwiększa poczucie realizmu w grze, co można osiągnąć właśnie dzięki zastosowaniu gogli VR. Zauważyli również, że używanie gogli VR wywołuje pozytywne reakcje afektywne do przedstawionego obrazu.

Interesującym aspektem jest fakt, że sposób poruszania w środowisku gry ruchowej wpływa na odczuwanie wysokiego poziomu immersji (Born i in. 2019; Elor i in. 2020). Zastosowanie w naszym badaniu gry ruchowej w VR, która zmuszała uczestników do wykonywania rytmicznych ruchów całym ciałem, mogło wpłynąć na wysoki poziom odczuwanej immersji u kobiet i mężczyzn. Elor i in. (2020) wykazali znaczące korzyści jednorazowej interwencji VR na poczucie ekscytacji i szczęścia, co może wpływać na wysokie poczucie immersji. Born i in. (2019) zwracają uwagę na to, że FPP w goglach VR wpływa na odczuwaną przyjemność podczas wykonywania ćwiczeń fizycznych, która zwiększa poczucie immersji w grze VR. Niestety, pomimo odczuwania wysokiej immersji przez obie płcie odnotowano pojawienie się subiektywnych objawów choroby symulatorowej.

7. WNIOSKI

Motywowanie społeczeństwa do aktywności fizycznej jest jednym z najważniejszych i najtrudniejszych zadań XXI wieku. Grywalizacja (ang. *gamification*) ćwiczeń fizycznych umożliwia spełnienie rekomendacji WHO dotyczących aktywności fizycznej osób dorosłych. Przeprowadzony eksperyment pozwolił wykazać, że korzystanie z gogli Oculus Quest i gry ruchowej w VR, wykorzystującej ruch całego ciała jako formy ćwiczeń fizycznych przez 2×30 minut, może wpływać pozytywnie na sprawność działania systemu utrzymywania stabilności posturalnej i wskaźniki RT. To pozwala przypuszczać, że obiecujące zmiany mogą również nastąpić w szerszej pojmowanej koordynacji ruchowej, co jednak wymaga dalszych badań.

Przeprowadzony eksperyment pozwolił także wykazać, że gra ruchowa w VR wywołuje wyższą wartość poszczególnych wskaźników układu krążeniowo-oddechowego u mężczyzn niż u kobiet. Ponadto dowiódł, że wykonanie dwóch sesji może wywoływać subiektywnie odczuwane objawy choroby symulatorowej, jednak częściej to zjawisko obserwowane jest u kobiet niż u mężczyzn. Czas interwencji (30 minut) i zastosowanie umiarkowanej intensywności wysiłku nie wykazały istotności statystycznej dla objawów choroby symulatorowej u obu płci. Badanie wykazało wysokie poczucie immersji u obu płci, ale nie był to wystarczający czynnik mogący całkowicie usunąć objawy choroby symulatorowej.

Według aktualnych danych, brakuje szczegółowej wiedzy na temat jednorazowych sesji VR exergames w kontekście zaoferowania dodatkowych korzyści zdrowotnych u osób dorosłych bez potrzeb rehabilitacyjnych (osób zdrowych). Innowacyjnym rozwiązaniem było zastosowanie bezprzewodowych gogli Oculus Quest i gry Audio Trip, które dotychczas nie zostały wykorzystane w badaniach naukowych związanych z aktywnością fizyczną i grami ruchowymi w VR.

Przyszłe badania powinny uwzględnić zaobserwowane w tym eksperymencie wyniki, w celu utrzymania wysokiego poziomu immersji i dążenia do zmniejszenia dyskomfortu, jakim są objawy choroby symulatorowej podczas użytkowania gogli VR i gier ruchowych w VR. W przyszłości należy przetestować inne aplikacje wykorzystujące ruch całego ciała, działające w technologii gier ruchowych, w celu rozwiązania problemów znaczenia ćwiczeń fizycznych w VR.

8. PIŚMIENNICTWO

- Adamczyk J., Celka R., Stemplewski R., Ceynowa K., Kamińska P., Maciaszek J. (2020) The impact of 12-week Jaques-Dalcroze eurhythmics programme on the dynamic agility in single-dual-task conditions in older women: a randomized controlled trial. *Biomed Research International*, 1–6. <https://doi.org/10.1155/2020/9080697>
- Alahmari K.A., Rengaramanujam K., Reddy R.S., Samuel P.S., Kakaraparathi V.N., Ahmad I., Tedla J.S. (2020) Cardiorespiratory fitness as a correlate of cardiovascular, anthropometric, and physical risk factors: Using the Ruffier test as a template. *Canadian Respiratory Journal*, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2020/3407345>
- Al Zayer M., Adhanom I.B., MacNeilage P., Folmer E. (2019) The effect of field-of-view restriction on sex bias in VR sickness and spatial navigation performance. *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 354, 1–12. <https://doi.org/10.1145/3290605.3300584>
- Andromeda Entertainment (2019) Dance Trip Press kit. Austin, TX. <https://www.enterandromeda.com/at-presskit> [dostęp: 24.10.2019]
- Badau D., Badau A., Ene-Voiculescu C., Larion A., Ene-Voiculescu V., Mihaila I. i in. (2022) The impact of implementing an exergame program on the level of reaction time optimization in handball, volleyball, and basketball players. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19 (9), 5598. <https://doi.org/10.3390/ijerph19095598>
- Barbosa E.O., de Oliveira Barbosa E., Sales D.F.O., de Moraes Pimentel D., Vaghetti C.A.O., Carneiro L.S.F., Rodrigues-Sobral M.M., Monteiro-Junior R.S. (2020) Virtual reality-based exercise reduces children's simple reaction time. *International Journal of Sports Science*, 10 (5), 112–116. <https://doi.org/10.5923/j.sports.20201005.03>
- Basso J.C., Shang A., Elman M., Karmouta R., Suzuki W.A. (2015) Acute exercise improves prefrontal cortex but not hippocampal function in healthy adults. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 21 (10), 791–801. <https://doi.org/10.1017/s135561771500106x>
- Biagini M.S., Brown L.E., Coburn J.W., Judelson D.A., Statler T.A., Bottaro M., Tran T.T., Longo N.A. (2012) Effects of self-selected music on strength, explosiveness, and mood. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26 (7), 1934–1938. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318237e7b3>
- Biernacki M., Kennedy R., Dziuda Ł. (2016) Simulator sickness and its measurement with Simulator Sickness Questionnaire (SSQ). *Medycyna Pracy*, 67 (4), 545–555. <https://doi.org/10.13075/mp.5893.00512>
- Błaszczuk J.W., Czerwos L. (2005) Postural stability in the process of aging. *Gerontology. Poland*, 13 (1), 25–36.
- Boiten F. (1998) The effects of emotional behaviour on components of the respiratory cycle. *Biological Psychology*, 49 (1–2), 29–51. [https://doi.org/10.1016/s0301-0511\(98\)00025-8](https://doi.org/10.1016/s0301-0511(98)00025-8)
- Born F., Abramowski S., Masuch M. (2019) Exergaming in VR: The impact of immersive embodiment on motivation, performance, and perceived exertion. 11th International Conference on Virtual Worlds and Games for Serious Applications (VS-Games). <https://doi.org/10.1109/vs-games.2019.8864579>

- Botwinick J., Thompson L.W. (1966) Premotor and motor components of reaction time. *Journal of Experimental Psychology*, 71 (1), 9–15. <https://doi.org/10.1037/h0022634>
- Brachman A., Marszałek W., Kamieniarz A., Michalska J., Pawłowski M., Juras G. (2021) Biomechanical measures of balance after balance-based exergaming training dedicated for patients with Parkinson's disease. *Gait & Posture*, 87, 170–176. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2021.04.03>
- Cleworth T.W., Horslen B.C., Carpenter M.G. (2012) Influence of real and virtual heights on standing balance. *Gait & Posture*, 36 (2), 172–176. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2012.02.010>
- Cunha M., De Almeida R.S., Fernandes Â., Marques A. (2021) Virtual reality to improve postural control in patients with schizophrenia: Study protocol for a single-blind parallel group Randomised Controlled Trial. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 384–400. https://doi.org/10.1007/978-3-030-72654-6_38
- Cybulski M., Rzeźniczek P., Bilski B. (2020) Simulator sickness and the simulator sickness questionnaire in Polish practice. A study involving professional drivers subject to compulsory initial and periodic qualification courses. *Medycyna Pracy*, 71 (1), 47–58. <https://doi.org/10.13075/mp.5893.00860>
- Cyma-Wejchenig M., Tarnas J., Marciniak K., Stemplewski R. (2020) The influence of proprioceptive training with the use of virtual reality on postural stability of workers working at height. *Sensors*, 20 (13): 3731. <https://doi.org/10.3390/s20133731>
- Davranche K., Audiffren M., Denjean A. (2006) A distributional analysis of the effect of physical exercise on a choice reaction time task. *Journal of Sports Sciences*, 24 (3), 323–329.
- Dowllah I.M., Meza E., Hankins A., Cepeda O., Ybarra K., Palma B., Karabulut M. (2020) Effects of different intensity and duration of warm-up on hemodynamics, jump power, and flexibility. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 52 (7S), 1035–1035. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000686852.454>
- Dunstan D.W., Howard B., Healy G.N., Owen N. (2012) Too much sitting – a health hazard. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 97 (3), 368–376.
- Edworthy J., Waring H. (2006) The effects of music tempo and loudness level on treadmill exercise. *Ergonomics*, 49 (15), 1597–1610. <https://doi.org/10.1080/00140130600899104>
- Elor A., Powell M., Mahmoodi E., Hawthorne N., Teodorescu M., Kurniawan S. (2020) On shooting stars: comparing cave and hmd immersive virtual reality exergaming for adults with mixed ability. *ACM Transactions on Computing for Healthcare*, 1 (4), 1–22. <https://doi.org/10.1145/3396249>
- Ermi F., Mäyrä F. (2005) Fundamental components of the gameplay experience: Analysing immersion. W: S. de Castell, J. Jenson (eds.), *Proceedings of Chancing Views – Worlds in Play*, Digital Games Research Association's Second International Conference. Vancouver, British Columbia, Canada.
- Ersin A., Tezeren H.C., Pekiavas N.O., Asal B., Atabey A., Diri A., Gonen İ. (2022) The relationship between reaction time and gaming time in E-SPORTS players. *Kinesiology*, 54 (1), 36–42. <https://doi.org/10.26582/k.54.1.4>
- Faric N., Potts H.W., Hon A., Smith L., Newby K., Steptoe A., Fisher A. (2019) What players of virtual reality exercise games want: Thematic analysis of web-based reviews. *Journal of Medical Internet Research*, 21 (9). <https://doi.org/10.2196/13833>
- Gamito P., Oliveira J., Santos P., Morais D., Saraiva T., Pombal M. (2008) Presence, immersion and cybersickness assessment through a test anxiety virtual environment. *Annual Review of CyberTherapy and Telemedicine*, 6, 83–90.

- Ghai S., Ghai I. (2019) Effects of (music-based) rhythmic auditory cueing training on gait and posture post-stroke: A systematic review & dose-response meta-analysis. *Scientific Reports*, 9 (1): 2183. Published 2019 Feb 18. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-38723-3>
- Gonçalves G., Monteiro P., Melo M., Vasconcelos-Raposo J., Bessa M. (2020) A comparative study between wired and wireless virtual reality setups. *IEEE Access*, 8, 29249–29258. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2970921>
- Grassini S., Laumann K. (2020) Are modern head-mounted displays sexist? A systematic review on gender differences in hmd-mediated virtual reality. *Frontiers In Psychology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01604>
- Grassini S., Laumann K., Rasmussen Skogstad M. (2020) The use of virtual reality alone does not promote training performance (but sense of presence does). *Frontiers in Psychology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01743>
- Guthold R., Stevens G.A., Riley L.M., Bull F.C. (2018) Worldwide trends in insufficient physical activity from 2001 to 2016: a pooled analysis of 358 population-based surveys with 1·9 million participants. *The Lancet. Global health*, 6 (10), e1077–e1086. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(18\)30357-7](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(18)30357-7)
- Homma I., Masaoka Y. (2008) Breathing rhythms and emotions. *Experimental Physiology*, 93 (9), 1011–1021. <https://doi.org/10.1113/expphysiol.2008.0424>
- Jennett C., Cox A., Cairns P., Dhoparee S., Epps A., Tijs T., Walton A. (2008). Measuring and defining the experience of immersion in games. *International Journal Of Human-Computer Studies*, 66 (9), 641–661.
- Jensen A.R., Munro E. (1979) Reaction time, movement time, and intelligence. *Intelligence*, 3 (2), 121–126. [https://doi.org/10.1016/0160-2896\(79\)90010-2](https://doi.org/10.1016/0160-2896(79)90010-2)
- Jeżewska-Zychowicz M., Gębski J., Guzek D., Świątkowska M., Stangierska D., Plichta M., Wasilewska M. (2018). The associations between dietary patterns and sedentary behaviors in Polish adults (lifestyle study). *Nutrients*, 10 (8), 1004. <https://doi.org/10.3390/nu10081004>
- Kennedy R., Lane N., Berbaum K., Lilienthal M. (1993) Simulator sickness questionnaire: an enhanced method for quantifying simulator sickness. *The International Journal Of Aviation Psychology*, 3 (3), 203–220. https://doi.org/10.1207/s15327108ijap0303_3
- Keshavarz B., Ramkhalawansingh R., Haycock B., Shahab S., Campos J.L. (2018) Comparing simulator sickness in younger and older adults during simulated driving under different multisensory conditions. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 54, 47–62. <http://doi.org/10.1016/j.trf.2018.01.007>
- Kothgassner O.D., Goreis A., Kafka J.X., Hlavacs H., Beutl L., Kryspin-Exner I., Felnhofer A. (2018) Agency and gender influence older adults' presence-related experiences in an interactive virtual environment. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 21 (5), 318–324. <https://doi.org/10.1089/cyber.2017.0691>
- Lachlan K., Krcmar K. (2011) Experiencing presence in video games: the role of presence tendencies, game experience, gender, and time spent in play. *Communication Research Reports*, 28 (1), 27–31.
- Lacour M., Bernard-Demanze L., Dumitrescu M. (2008) Posture control, aging, and attention resources: Models and posture-analysis methods. *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology*, 38 (6), 411–421. <https://doi.org/10.1016/j.neucli.2008.09.005>
- Lajoie Y., Teasdale N., Bard C., Fleury M. (1993) Attentional demands for static and dynamic equilibrium. *Experimental Brain Research*, 97 (1). <https://doi.org/10.1007/bf00228824>

- Leisterer S., Jekauc D. (2019) Students' emotional experience in physical education – A qualitative study for new theoretical insights. *Sports*, 7 (1), 10. <https://doi.org/10.3390/sports7010010>
- Liu R., Menhas R., Dai J., Saqib Z.A., Peng X. (2022) Fitness apps, live streaming workout classes, and virtual reality fitness for physical activity during the Covid-19 lockdown: An empirical study. *Frontiers in Public Health*, 10.
- Lung function testing: Selection of reference values and interpretative strategies (1991) *American Review Of Respiratory Disease*, 144 (5), 1202–1218. <https://doi.org/10.1164/ajrccm/144.5.1202>
- Maki B.E., Holliday P.J., Fernie G.R. (1987) A posture control model and balance test for the prediction of relative postural stability. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, BME-34 (10), 797–810. <https://doi.org/10.1109/tbme.1987.325922>
- Manca A., Cugusi L., Pomidori L., Felisatti M., Altavilla G., Zocca E., Zocca M., Bussu F., Dvir Z., Deriu F. (2020) Listening to music while running alters ground reaction forces: a study of acute exposure to varying speed and loudness levels in young women and men. *European Journal of Applied Physiology*, 120, 1391–1401. <https://doi.org/10.1007/s00421-020-04371-z>
- Marinho A., Terton U., Jones C.M. (2022) Cybersickness and postural stability of first time VR users playing VR videogames. *Applied Ergonomics*, 101: 103698. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2022.103698>
- Marshall S.J., Nicaise V., Ji M., Huerta C., Haubenstricker J., Levy S.S., Ainsworth B., Elder J.E. (2013) Using step cadence goals to increase moderate-to-vigorous-intensity physical activity. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 45 (3), 592–602. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e318277a586>
- Martin A., Fitzsimons C., Jepson R., Saunders D.H., Van der Ploeg H.P., Teixeira P.J., Mutrie N. (2015) Interventions with potential to reduce sedentary time in adults: Systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 49 (16), 1056–1063. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2014-094524>
- Martirosov S., Bureš M., Zítka T. (2021) Cyber sickness in low-immersive, semi-immersive, and fully immersive virtual reality. *Virtual Reality*, 26 (1), 15–32.
- Massion J. (1992). Movement, posture and equilibrium: Interaction and coordination. *Progress in Neurobiology*, 38 (1), 35–56. [https://doi.org/10.1016/0301-0082\(92\)-90034-c](https://doi.org/10.1016/0301-0082(92)-90034-c)
- McDonough D.J., Helgeson M.A., Liu W., Gao Z. (2022) Effects of a remote, YouTube-delivered exercise intervention on young adults' physical activity, sedentary behavior, and sleep during the Covid-19 pandemic: Randomized controlled trial. *Journal of Sport and Health Science*, 11 (2), 145–156.
- McDonough D., Pope Z., Zeng N., Lee J., Gao Z. (2018) Comparison of college students' energy expenditure, physical activity, and enjoyment during exergaming and traditional exercise. *Journal of Clinical Medicine*, 7 (11), 433. <https://doi.org/10.3390/jcm7110433>
- Melo M., Vasconcelos-Raposo J., Bessa M. (2018) Presence and cybersickness in immersive content: Effects of content type, exposure time and gender. *Computers & Graphics*, 71, 159–165. <https://doi.org/10.1016/j.cag.2017.11.007>
- Merkisz J., Markowski J., Galant M., Karpiński D., Orszulak B. (2014) Ocena czynników wpływających na występowanie choroby symulatorowej podczas treningu na symulatorze AutoSim AS 1200-6. *Logistyka*, 3, 4280–4286.

- Michailidis L., Balaguer-Ballester E., He X. (2018) Flow and immersion in video games: the aftermath of a conceptual challenge. *Frontiers In Psychology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01682>
- Mochocki M. (2021). Heritage sites and video games: questions of authenticity and immersion. *Games and Culture*, 16 (8), 951–977. <https://doi.org/10.1177/15554120211005369>
- Morélot S., Garrigou A., Dedieu J., N’Kaoua B. (2021) Virtual reality for fire safety training: Influence of immersion and sense of presence on conceptual and procedural acquisition. *Computers & Education*, 166: 104145. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.10414>
- Munafó J., Diedrick M., Stoffregen T.A. (2017) The virtual reality head-mounted display Oculus Rift induces motion sickness and is sexist in its effects. *Experimental Brain Research*, 235, 889–901. <https://doi.org/10.1007/s00221-016-4846-7>
- Nagymáté G., Orlovits Z., Kiss R.M. (2018) Reliability analysis of a sensitive and independent stabilometry parameter set. *PLOS ONE*, 13 (4).
- Newman M., Gatersleben B., Wyles K.J., Ratcliffe E. (2022) The use of virtual reality in environment experiences and the importance of realism. *Journal of Environmental Psychology*, 79: 101733. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2021.101733>
- Nichols S., Patel H. (2002) Health and safety implications of virtual reality: a review of empirical evidence. *Applied Ergonomics*, 33 (3), 251–271. [https://doi.org/10.1016/S0003-6870\(02\)00020-0](https://doi.org/10.1016/S0003-6870(02)00020-0)
- Nilsson N.C., Nordahl R., Serafin S. (2016) Immersion revisited: A review of existing definitions of immersion and their relation to different theories of presence. *Human Technology*, 12 (2), 108–134. <https://doi.org/10.17011/ht/urn.201611174652>
- Nyklicek I., Thayer J.F., Van Doorn L.J.P. (1997) Cardiorespiratory differentiation of musically-induced emotions. *Journal of Psychophysiology*, 11, 304–321.
- Obmiński Z., Supiński J., Mroczkowska H., Borkowski L., Zdanowicz R. (2017) Wpływ wydolności aerobowej na ostre zmiany funkcji poznawczych i stężeń hormonów we krwi po wyczerpującym wysiłku / The effect of aerobic fitness on acute changes in cognitive functions and blood hormones levels after an exhaustive effort. *Polish Journal of Sports Medicine / Medycyna Sportowa*, 33 (2), 97–106.
- Oh Y., Yang S. (2010) Defining exergames & exergaming: Proceedings of the meaningful play. East Lansing, 1–17.
- Orem J., Trotter R.H. (1994) Behavioral control of breathing. *News in Physiological Science*, 9, 228–252.
- Pachoulakis I., Papadopoulos N. (2016) Exergames for Parkinson’s Disease patients: The balloon goon game. 2016 International Conference on Telecommunications and Multimedia (TEMU). <https://doi.org/10.1109/temu.2016.7551908>
- Pallavicini F., Pepe A., Minissi M.E. (2019) Gaming in virtual reality: What changes in terms of usability, emotional response and sense of presence compared to non-immersive video games? *Simulation & Gaming*, 50 (2), 136–159. <https://doi.org/10.1177/1046878119831420>
- Pourazar M., Mirakhori F., Hemayattalab R., Bagherzadeh F. (2017) Use of virtual reality intervention to improve reaction time in children with cerebral palsy: A randomized controlled trial. *Developmental Neurorehabilitation*, 1–6. <https://doi.org/10.1080/17518423.2017.1368730>
- Rose T., Nam C.S., Chen K.B. (2018) Immersion of virtual reality for rehabilitation – Review. *Applied Ergonomics*, 69, 153–161. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2018.01.009>

- Rutkowski S., Adamczyk M., Pastuła A., Gos E., Luque-Moreno C., Rutkowska A. (2021) Training using a commercial immersive virtual reality system on hand-eye coordination and reaction time in young musicians: A pilot study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18 (3): 1297. <https://doi.org/10.3390/ijerph18031297>
- Ryan M.L. (2003) *Narrative as virtual reality: Immersion and interactivity in literature and electronic media*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Sagnier C., Loup-Escande E., Valléry G. (2020) Effects of Gender and Prior Experience in Immersive User Experience with Virtual Reality. W: T. Ahram, C. Falcão (eds), *Advances in Usability and User Experience. AHFE 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing*, 972. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-19135-1_30
- Seebauer M., Sidler M., Koh J. (2003) Gender differences in workload effect on coordination between breathing and cycling. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 35 (3), 495–499. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000053657.42138.3f>
- Škola F., Rizvić S., Cozza M., Barbieri L., Bruno F., Skarlatos D., Liarokapis F. (2020) Virtual reality with 360-video storytelling in cultural heritage: study of presence, engagement, and immersion. *Sensors*, 20 (20): 5851. <https://doi.org/10.3390/s20205851>
- Slobounov S.M., Ray W., Johnson B., Slobounov E., Newell K.M. (2015) Modulation of cortical activity in 2D versus 3D virtual reality environments: an EEG study. *International Journal of Psychophysiology*, 95 (3), 254–260.
- Soffel F., Zank M., Kunz A. (2016) Postural stability analysis in virtual reality using the HTC vive. *Proceedings of the 22nd ACM Conference on Virtual Reality Software and Technology – VRST '16*. <https://doi.org/10.1145/2993369.2996341>
- Soltani P., Salesi M. (2013) Effects of exergame and music on acute exercise responses to graded treadmill running. *Games for Health Journal*, 2 (2), 75–80. <https://doi.org/10.1089/g4h.2012.0077>
- Strojny P., Strojny A. (2014) The immersion questionnaire – Polish adaptation and empirical verification of the scale. *Homo Ludens*, 1, 1–17.
- Subramaniam S., Wang S., Bhatt T. (2022) Dance-based exergaming on postural stability and kinematics in people with chronic stroke – A preliminary study. *Physiotherapy Theory and Practice*, 38, 13, 2714–2726. <https://doi.org/10.1080/09593985.2021.1994072>
- Szpak A., Michalski S., Loetscher T. (2020) Exergaming With Beat Saber: An investigation of virtual reality aftereffects. *Journal of Medical Internet Research*, 22 (10): e19840. <https://doi.org/10.2196/19840>
- Tabata I., Nishimura K., Kouzaki M. (1996) Effects of moderate-intensity endurance and high-intensity intermittent training on anaerobic capacity and VO_{2max} . *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 28, 1327– 1330.
- Tamir M. (2016) Why do people regulate their emotions? A taxonomy of motives in emotion regulation. *Personality and Social Psychology Review*, 20 (3), 1–24.
- Tao G., Garrett B., Taverner T., Cordingley E., Sun C. (2021) Immersive virtual reality & health games: A narrative review of game design. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 18 (1).
- Trinschek J., Zieliński J., Zarębska E., Kusy K. (2022) Male and female athletes matched for maximum oxygen uptake per skeletal muscle mass: equal but still different. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. <https://doi.org/10.23736/s0022-4707.22.13605-4>
- Van Dyck E. (2019) Musical intensity applied in the sports and exercise domain: an effective strategy to boost performance? *Frontiers in Psychology*, 10 (5). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01145>

- Verburgh L., Königs M., Scherder E.J., Oosterlaan J. (2013) Physical exercise and executive functions in preadolescent children, adolescents and young adults: A meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 48 (12), 973–979. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2012-091441>
- Visch V.T., Tan E.S., Molenaar D. (2010) The emotional and cognitive effect of immersion in film viewing. *Cognition & Emotion*, 24 (8), 1439–1445.
- Vuillerme N., Nougier V., Teasdale N. (2000). Effects of a reaction time task on postural control in humans. *Neuroscience Letters*, 291 (2), 77–80. [https://doi.org/10.1016/s0304-3940\(00\)01374-4](https://doi.org/10.1016/s0304-3940(00)01374-4)
- WHO (2019) Guidelines on physical activity, sedentary behaviour and sleep for children under 5 years of age. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/311664>. License: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- Wilms I.L., Petersen A., Vangkilde S. (2013) Intensive video gaming improves encoding speed to visual short-term memory in young male adults. *Acta Psychologica*, 142 (1), 108–118.
- Wu P.T., Wu W.L., Chu I.H. (2015) Energy expenditure and intensity in healthy young adults during exergaming. *American Journal of Health Behavior*, 39 (4), 556–561. <https://doi.org/10.5993/ajhb.39.4.12>
- Xiaoqing Fu J. (2015) The influence of background music of video games on immersion. *Journal of Psychology & Psychotherapy*, 05 (04). <https://doi.org/10.4172/2161-0487.1000191>
- Zhang H.J., Pan L.L., Ma Z.M., Chen Z., Huang Z.F., Sun Q., Li X.Y. (2016) Long-term effect of exercise on improving fatty liver and cardiovascular risk factors in obese adults: A 1-year follow-up study. *Diabetes, Obesity and Metabolism*, 19 (2), 284–289. <https://doi.org/10.1111/dom.12809>

PODZIĘKOWANIA

Pragnę serdecznie podziękować Promotorowi – prof. drowi hab. Januszowi Maciaszkowi, którego wiedza, doświadczenie oraz niezwykła chęć pomagania sprawiły, że zarówno cykl publikacji, jak i ta praca mogły powstać. Dziękuję za cierpliwość oraz wiarę we mnie. Dziękuję również za wsparcie prof. AWF dr hab. Idzie Laudańskiej-Krzemińskiej za podejście, wszystkie podpowiedzi i wskazówki.

PRZEBIEG PRACY NAUKOWO-ZAWODOWEJ – INFORMACJE DODATKOWE

Publikacje naukowe

Ciążyńska J., Maciaszek J. (2022) Various Types of Virtual Reality-Based Therapy for Eating Disorders: A Systematic Review. *Journal of Clinical Medicine*, 11 (17): 4956. <https://doi.org/10.3390/jcm11174956>

Cytowania: 2; indeks h: 1

ZAŁĄCZNIK 1. OŚWIADCZENIA

załącznik 7 do Wniosku o wszczęcie post.
w sprawie nadania stopnia doktora

Julia Ciężyńska

Imię i nazwisko doktoranta/ki

Poznań, 1.3.2023

Miejscowość, data

Dotyczy: postępowania w sprawie nadania stopnia doktora w dziedzinie nauk medycznych i nauk o zdrowiu, w dyscyplinie nauki o kulturze fizycznej w Akademii Wychowania Fizycznego w Poznaniu.

Oświadczenie

Oświadczam, że mój wkład w powstanie przedłożonej rozprawy doktorskiej pt. **Wpływ środowiska VR exergames na wybrane zdolności koordynacyjne i subiektywne odczucia immersji i choroby symulatorowej u młodych dorosłych kobiet i mężczyzn**

polegał na:

- publikacja 1 - konceptualizacji, opracowaniu metodologii, analizie formalnej, przeprowadzeniu badania, edycji danych, pisaniu i przygotowaniu oryginalnego projektu, przygotowaniu manuskryptu, redagowaniu, wizualizacji, sprawdzeniu oraz zaakceptowaniu ostatecznej wersji manuskryptu.
- publikacja 2 - przeprowadzeniu procedury eksperymentalnej; napisanie manuskryptu; dostarczenie danych do Tabel 1-7, Rycin 1-7, załączników multimedialnych, wykonanie zdjęcia w formacie TOC; przeprowadzeniu wszystkich analiz statystycznych, sprawdzeniu oraz zaakceptowaniu ostatecznej wersji manuskryptu.

Julia Ciężyńska

Podpis doktoranta/ki

Poznań; 1.3.2023

miejsowość, data

Julia Ciężyńska

.....
imię i nazwisko kandydatki/kandydata

**Oświadczenie autorki/autora o oryginalności rozprawy doktorskiej,
samodzielności jej przygotowania i nienaruszeniu praw autorskich**

Ja, niżej podpisana/podpisany oświadczam, że:

- a) rozprawa doktorska pt. ***Wpływ środowiska VR exergames na wybrane zdolności koordynacyjne i subiektywne odczucia immersji i choroby symulatorowej u młodych dorosłych kobiet i mężczyzn*** jest wynikiem mojej działalności twórczej i powstała bez niedozwolonego udziału osób trzecich;
- b) wszystkie wykorzystane przeze mnie materiały źródłowe i opracowania zostały w niej wymienione,
a napisana przez mnie praca nie narusza praw autorskich osób trzecich;
- c) załączona wersja elektroniczna pracy jest tożsama z wydrukiem rozprawy;
- d) praca nie była wcześniej podstawą nadania stopnia innej osobie.

Mam świadomość, że złożenie nieprawdziwego oświadczenia skutkować będzie niedopuszczeniem do dalszych czynności postępowania w sprawie nadania stopnia doktora lub cofnięciem decyzji o nadaniu mi stopnia doktora oraz wszczęciem postępowania dyscyplinarnego/karnego.

Ciężyńska

.....
podpis kandydatki/kandydata

Prof. dr hab. Janusz Maciaszek

Poznań, 01.03.2023 r.

Zakład Nauk o Aktywności Fizycznej i Promocji Zdrowia

Akademia Wychowania Fizycznego im. E. Piaseckiego

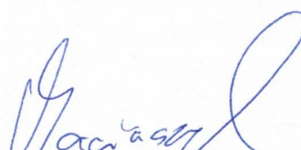
w Poznaniu

**Oświadczenie wskazujące zadania, jakie pełnił promotor rozprawy doktorskiej
Mgr Julii Ciążyńskiej pt. „Wpływ środowiska VR exergames na wybrane zdolności
koordynacyjne i subiektywne odczucia immersji i choroby symulatorowej u młodych
dorosłych kobiet i mężczyzn”**

Jako kandydat na promotora dysertacji doktorskiej wpieryw uczestniczyłem w dyskusjach z Panią magister Julią Ciążyńską, których celem było wyeksponowanie głównego problemu badawczego, którego uwieńczeniem mogłaby być praca doktorska. Wspólne rozmowy i dyskusję pozwoliły na przygotowanie projektu i przedstawienie przed Radą Naukową, która pozytywnie oceniła projekt, jak i moją osobę jako promotora.

Przez cały okres prac nad realizacją przyjętego projektu badawczego moim zadaniem było udzielanie Doktorantce niezbędnej pomocy merytorycznej i metodycznej, coroczna ocena rozwoju naukowego doktorantki i stanu zaawansowania rozprawy doktorskiej, wpieranie w organizacji warsztatu badawczego, udzielanie wskazówek metodycznych i bieżącą kontrola procesu zdobywania doświadczeń dydaktycznych w Zakładzie Nauk o Aktywności Fizycznej i Promocji Zdrowia, opiniowanie rocznych sprawozdań doktorantki z przebiegu jej kształcenia w Szkole Doktorskiej.

Magister Julia Ciążyńska jest pierwszą i główną autorką publikacji naukowych zaliczonych do cyklu rozprawy doktorskiej. Jestem jednym z autorów, który uczestniczył jako promotor w całym procesie przygotowania i realizacji prac naukowych. Moim zadaniem było wspieranie Doktorantki i udzielanie pomocy jeszcze niesamodzielnemu pracownikowi nauki. Jednak magister Julia Ciążyńska wykazywała się niezwykle dużą samodzielnością, zaangażowaniem, pomysłowością, cierpliwością i umiejętnościami w radzeniu sobie z wieloma problemami wynikającym z prowadzenia badań, a później pojawiającymi się podczas przygotowywania manuskryptów i związanych z odpowiedziami na uwagi recenzentów. W związku z tym postawione przede mną zadania (jako promotora) okazały się być łatwe i przyjemne, co jest wielką zasługą Doktorantki.



Michał Janowski
Imię i nazwisko

Poznań 27 marca 2023

Miejscowość, data

Dotyczy: postępowania w sprawie nadaniamgr Julii Ciążyńskiej..... stopnia doktora w dziedzinie nauk medycznych i nauk o zdrowiu, w dyscyplinie nauki o kulturze fizycznej w Akademii Wychowania Fizycznego w Poznaniu.

Oświadczenie

Oświadczam, że mój wkład w powstanie publikacji wchodzącej w skład rozprawy doktorskiej pana/i mgr Julii Ciążyńskiej zatytułowanej:

Wpływ środowiska VR exergames na wybrane zdolności koordynacyjne i subiektywne odczucia immersji i choroby symulatorowej u młodych dorosłych kobiet i mężczyzn

polegał na:

- publikacja 1 – n/d,
- publikacja 2 – dostarczeniu danych do Tabeli numer 8, sprawdzeniu oraz zaakceptowaniu ostatecznej wersji manuskryptu.


.....
Podpis współautora/ki



Article

Effects of Low-Immersive vs. High-Immersive Exercise Environment on Postural Stability and Reaction and Motor Time of Healthy Young Adults

Julia Ciążyńska and Janusz Maciaszek

Special Issue

Emerging Technology Applications to Promote Physical Activity and Health—Volume II

Edited by

Dr. Zan Gao and Dr. Jung Eun Lee



<https://doi.org/10.3390/jcm12010389>



Article

Effects of Low-Immersive vs. High-Immersive Exercise Environment on Postural Stability and Reaction and Motor Time of Healthy Young Adults

Julia Ciężyńska * and Janusz Maciaszek

Department of Physical Activity and Health Promotion Science, Poznan University of Physical Education, 61-871 Poznan, Poland

* Correspondence: ciazyńska@awf.poznan.pl

Abstract: (1) Background: Many young adults spend their time playing games and watching television. This type of spending time should be used effectively, so it's worth adding exercise and immersion to them. Bearing in mind that the video games and physical exercise also improve postural stability, motor time (MT) and reaction time (RT), it is worth reaching for new technologies with immersion that are widely available and can be used, for example, as a remote intervention. This study aimed to compare the effects of a low vs. high-immersive exercise environment on postural stability, RT and MT in young adults. (2) Methods: Ninety-three participants were randomly divided into a control group (CG; $n = 48$) and experimental group (EG; $n = 45$). The CG exercised according to the Tabata self-made video display on a television set, and the EG exercised according to the Audio Trip exergame. In addition to the postural stability, RT and MT, we monitored the heart rate, breath rate and energy expenditure for safety reasons and to note any differences. (3) Results: Significant differences were observed for both groups in RT ($F(2.182) = 3.14, p = 0.046, \eta^2 = 0.03$) and MT ($F(2.182) = 3.07, p = 0.049, \eta^2 = 0.03$) and in postural stability in eyes closed (EC): $F(2.182) = 3.66, p = 0.028, \eta^2 = 0.04$ and eyes open in one leg (EO-OL): $F(2.182) = 5.814, p = 0.04, \eta^2 = 0.07$. (4) Conclusions: The inclusion of a higher immersion produces greater improvements in RT, MT. Additionally, after a low-immersive exercise environment, participants have higher center of pressure (COP) path length values with EC and EO-OL tests, which testifies to less postural stability. Regarding COP trajectory, a smaller area surface means better performance for high-immersive participants after 30 min of exercise.

Keywords: health; virtual reality; head-mounted display; exergaming; high-immersive; low-immersive; physical exercise; health-related fitness; modern exercise; immersion



Citation: Ciężyńska, J.; Maciaszek, J. Effects of Low-Immersive vs. High-Immersive Exercise Environment on Postural Stability and Reaction and Motor Time of Healthy Young Adults. *J. Clin. Med.* **2023**, *12*, 389. <https://doi.org/10.3390/jcm12010389>

Academic Editors: Zan Gao, Jung Eun Lee, Birna Bjarnason-Wehrens and Emmanuel Andrès

Received: 22 September 2022

Revised: 23 December 2022

Accepted: 29 December 2022

Published: 3 January 2023



Copyright: © 2023 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Postural stability is a determinant of functional independence and has a significant role in the everyday life. As health behaviors, regular physical activity and exercise activate different muscle groups enhance postural stability [1–5], many young adults prefer spending time watching television and playing video games, which is an indicator of a sedentary lifestyle [6]. Researchers need to be well-acquainted and also promote modern possibilities to encourage exercise in young people. Bearing in mind that video games and physical exercise also improve postural stability, motor time (MT) and reaction time (RT) [7,8], it is worth reaching for new technologies with immersion that are widely available and can be used, for example, as a remote intervention [9–12]. There is a division in low, medium, and high immersion technologies. The researchers mention VR as a high-immersion type of experience and watching television or looking at a monitor screen as a low-immersion type of experience [13]. Immersion may be strongly connected to media form, that is, the properties of the technological system used to mediate the experience [14]. Immersion is the fundamental concept of the facilitation of emotion in a virtual environment [15,16], and

felt emotions and a sense of reward can influence the performance of tasks [17]. Therefore, it can be assumed that higher immersion means higher satisfaction and the possibility of achieving better results in everyday tasks like postural stability test, RT or MT.

This study aimed to compare the effects of a low- vs. high-immersive exercise environment on postural stability, RT and MT in young adults. It was hypothesized that: 1. High-immersive exercise environment would produce greater improvements in postural stability than low-immersive exercise environment. 2. A high-immersive exercise environment would produce greater improvements in reaction and motor time than low-immersive exercise environment.

2. Materials and Methods

2.1. Participants and Study Design

The study was designed as a randomized controlled trial with an intervention period of 1 day (2 × 30 min session of exercise). An a priori power analysis was conducted utilizing G*Power (Version 3.1.2; Heinrich Heine Universität, Dusseldorf, Germany). Sample size estimations were done for all analyses and the final targeted sample size was selected such that the analysis requiring the largest number of participants can be adequately powered. Based on meta-analyses, we expect a medium effect size ($f^2 = 0.14$). The sample size required to reach a level of significance of 0.05 with a power of 0.80 is 83 participants. By making three measurements, considering two groups and an assumed dropout rate of 10%, we needed to recruit 92 people to test our hypotheses. A total of 93 participants were randomly assigned to the CG or EG. Flowcharts for enrolment, randomization, and follow-up of study participants are available in Figure 1. All participants completed the study.

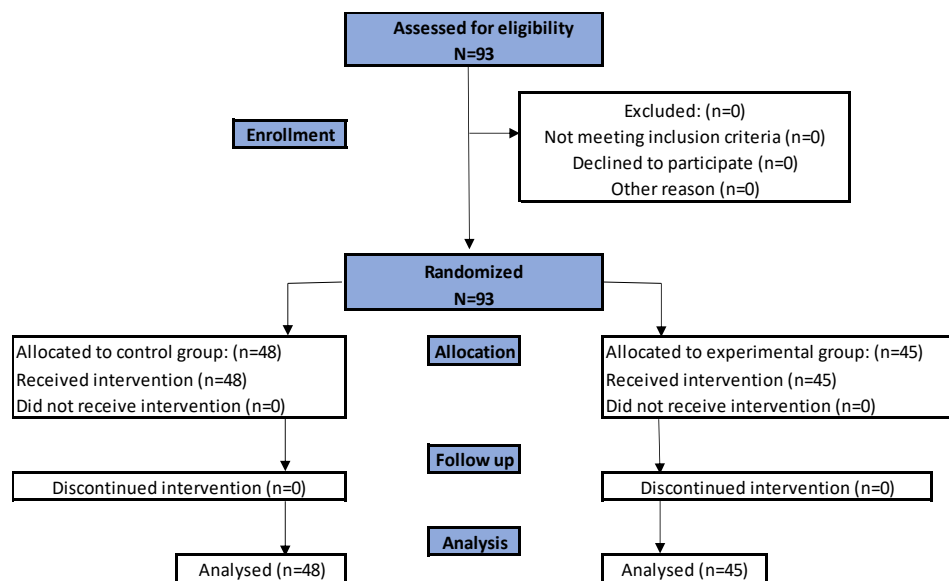


Figure 1. Flowchart for enrolment, randomization, and follow-up of study participants.

To be eligible for participation in the study, the individual had to be a physical education student, be between 19 to 29 years old, have good health conditions (no neurological disorders, lack of disability, lack of mental disorders, no psychotropic medicines and lack of injuries and fresh injuries), have 10 on a scale or less in Ruffier Squat Test, and haven't had interactions with VR equipment or similar VR stimulation before. Individuals were invited to participate in the study through personal invitations and emails. All participants provided signed informed consent, and the respective ethical committees granted ethical approvals for this study.

After an inclusion criteria examination, the participants were randomized into an EG or a CG. The principal investigator carried out the randomization using a computer-generated random number table. The study period for EG and CG was approximately 140 min including: two 30-min session and pre, inter and post measurements. The study protocol is presented in chronological order in Figure 2.

APPROXIMATELY 140 MINUTES						
duration:	20 min	15-20 min	30 min	15-20 min	30 min	15-20 min
EG (n=45)	PREPARATION	PRE	FIRST 30-MIN SESSION	INTER	SECOND 30-MIN SESSION	POST
	Inclusion criteria check	Postural stability	Audio Trip (beginner) ¹	Postural stability	Audio Trip (regular) ¹	Postural stability
	ZB3 calibration	RT3	ZB3: HR-Max, HR-Ave, BR-Max, Br-Ave, EE	RT3	ZB3: HR-Max, HR-Ave, BR-Max, Br-Ave, EE	RT3
		Warm up		ZB3		ZB3
		VR calibration				

APPROXIMATELY 140 MINUTES						
duration:	20 min	15-20 min	30 min	15-20 min	30 min	15-20 min
CG (n=48)	PREPARATION	PRE	FIRST 30-MIN SESSION	INTER	SECOND 30-MIN SESSION	POST
	Inclusion criteria check	Postural stability	Tabata-video workout	Postural stability	Tabata-video workout (higher intensity)	Postural stability
	ZB3 calibration	RT3	ZB3: HR-Max, HR-Ave, BR-Max, Br-Ave, EE	RT3	ZB3: HR-Max, HR-Ave, BR-Max, Br-Ave, EE	RT3
		Warm up		ZB3		ZB3
		TV workout preparation				

Figure 2. Study protocol presented in chronological order from left to right for EG and CG (Abbreviations: CG: control group; EG: experimental group; EE: energy expenditures; RT3: RT Test form S3; ZB3: Zephyr Bioharness 3 sensor). ¹ level of difficulty.

The measurement test was supervised by one constant person; that is, it did not change either in the EG or in the CG. The conditions of the measurement did not differ from each other for both groups and respondents; the tests took place in the same room adapted to physical exercises, with room temperature from 19–22 °C in the autumn–winter period. On one day, 4 people were tested in the midday hours, two as a CG and two as an EG. One person who was unable to see the previous participants entered the study at the same time.

The reliability of the tests were increased by applying two postural stability measurements for each position in random order for the measurement with eyes open in free position (EO), measurement with eyes closed in free position (EC) and measurement with eyes open in one-leg position (EO-OL); applying pre-measurement for each group for RT, MT, EO, EC and EO-OL and rigorous standardization.

No significant differences ($p > 0.05$) between the group have been confirmed. The mean age of EG participants ($n = 45$) was 21.69 years (range: 19–28 years, SD = 2.76). The mean body weight was 71.03 kg (range: 44.5–106.5, SD = 13.07). The mean body height was 173.98 cm (range: 155.6–186.1, SD = 8.09). The mean Body Mass Index (BMI) was 23.3 (range: 18.4–32.3, SD = 3.23). According to the table for BMI [18], the EG had the following results:

- >18.5—1 participant
- 18.5–24.9—31 participants
- 25.0–29.9—13 participants

The EG was mixed; females constituted 48.9% ($n = 22$).

The mean age of CG participants ($n = 48$) was 22.25 years (range: 19–28 years, SD = 1.66). The mean body weight was 68.39 kg (range: 45.0–99.0, SD = 12.96). The mean body height was 173.83 cm (range: 159.4–191.2, SD = 8.63). The mean BMI was 22.5 (range: 17.3–29.5, SD = 2.80). According to the table for BMI [18], the CG had the following results:

- >18.5—1 participant
- 18.5–24.9—37 participants
- 25.0–29.9—10 participants

The CG was mixed; females constituted 54.2% ($n = 26$).

The participants' characteristics are described in Table 1.

Table 1. Participants characteristics for age, body weight, body height, body mass index (BMI), female/male division (F/M), Ruffier index (RI).

Participants Characteristics	EG (95% CI)	CG (95% CI)
Age (years)	21.69 ± 2.76 (22.14)	22.25 ± 1.66 (21.77)
Body weight (kg)	71.03 ± 13.07 (74.96)	68.39 ± 12.96 (64.62)
Body height (cm)	173.98 ± 8.09 (176.41)	173.83 ± 8.63 (176.33)
BMI (kg/m ²)	23.3 ± 3.23 (24.31)	22.5 ± 2.80 (23.28)
F/M (number)	22/23	26/22
RI (Ruffier index) ¹	6.5	6.8

During the Ruffier squat test, subjects are made to do 30 squats in 45 seconds. The HR is recorded before the test (P1), at the end of 45 seconds (P2), and 1 minute after the test (P3). The test score is calculated in the form of an index—the Ruffier's Index (RI) expressed as $(P1 + P2 + P3) - 200 / 10$. The range of the RI given was 0 to 17, but higher than 10 is an adaptation to insufficient effort or even poor adaptation. The individual ranges are as follows: 0 is an exceptionally good adaptation to effort, between 0 and 5 is a good adaptation to effort, and between 5 and 10 (including 10) is the ability to adapt to the average effort. Ruffier originally developed this test for testing European subjects.

2.2. Hardware and Software

The VR Oculus Quest 64 GB system (Oculus Quest system software, Facebook Inc., released on 21 May 2019, Cambridge, MA, USA) was used as the high-immersive VR technology in this study, consisting of a wireless headset through which the VR environment could be viewed and played, two hand controllers that enabled interaction with the VR environment. People wearing corrective glasses could also take part in the study because a special overlay for glasses was applied. To ensure proper performance, the room size should be at least 2.0 m × 2.0 m. The VR Oculus Quest 64 GB has display 5.7 inches, resolution 2880 × 1600 px, reference resolution 1440 × 1600 px, OLED display type, refresh frequency 72 Hz. The name of the game which was used is Audio Trip and was distributed from Oculus Quest store app.

The POCO X3 NFC phone (MIUI 12.0.8) was used to create a video for the warm-up and tabata-workout. Music for warm-up video and tabata-workout are converted from YouTube to mp3 version. In both cases, a 42-inch flat-screen television set was used to run the videos.

2.3. Measure

Five methods were used for the usability evaluation: tabata-workout video on television display (low-immersive environment), Audio Trip VR game (high-immersive environment), Zephyr measurement, AMPI force platform and Vienna Test System.

The purpose of the Audio Trip game (Andromeda Entertainment 2019, Early Access 24 October 2019, Austin, TX, USA) is to dance to the rhythm and immerse into the virtual music and fitness environment. A player was obliged to ride ribbons, catch two colored

gems, smash drums, and dodge virtual barriers. In this study, players from EG had to follow a special 30 min playlist two times on the beginner and regular mode. A playlist is a proprietary idea in which the beats per minute increase during play and the difficulty level in the second session increases, and thus the intensity increases. Details of the playlist are shown in Table 2. The view from the perspective of the gamer is shown in Figure 3.

Table 2. Exergames playlist for beginner and regular of Audio Trip game mode including title, duration and beats per minute.

Title (Chronological)	Duration (min:s)	BPM (Beats per Minute)
Dance monkey	03:28	98
Bangarang	03:32	110
Just Dance	03:38	118
Krishna	02:39	128
Red	07:31	136
Satisfaction	04:44	136
Mandala	04:39	143

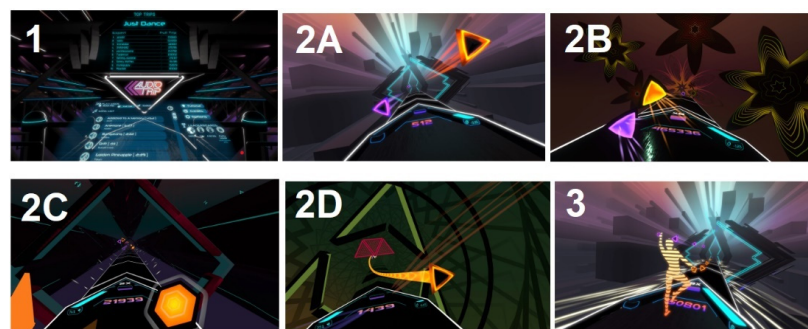


Figure 3. View from the Audio Trip game, from left: (1). Selecting a track from the list. (2). To the rhythm of the music, hitting two-colored triangles as intended: (2A). touching by R/L hand (2B). hitting at a certain angle by R/L hand (2C). smashing the drums by R/L hand (2D). following the path by R/L hand and dodging red barriers with whole body movement. (3). Player avatar view (back perspective).

The tabata-workout video, for CG, was a set of exercises created for the purposes of the described research. To make this video more similar to the VR exergame mentioned above, the same duration, the same playlist, and very similar types of movements were adjusted. Participants had to follow a special 30 min playlist for two times, imitating the trainer from the video. Details of the playlist are shown in Table 3.

A portable wireless piezoelectric recording system (Bioharness 3, Omnisense 3.9.7, Zephyr Technology Corp., Annapolis, MD, USA) was used to monitoring: energy expenditure—estimated according to the formula: $EE \text{ (kcal)} = \text{Gender} \times (-55.0969 + 0.6309 \text{ HR} + 0.1988 \text{ Weight} + 0.2017 \text{ Age}) + (1 - \text{Gender}) \times (-20.4022 + 0.4472 \text{ HR} - 0.1263 \text{ Weight} + 0.074 \text{ Age})$. Gender—1 for male, 0 for female; heart rate (HR): including HR A (average) and HR M (maximum); breathing rate (BR): including BR A (average) and BR M (maximum).

To estimate postural stability, COP data were collected using the force platform (AMPI PJB-101 model, AMTI, Waterdown, MA, USA). The duration of a single test during static stance was 30 s, which is an appropriate time to record a reliable COP measure [19]. Therefore, the most commonly used parameter for analysis was the COP path length, which determines the distance traveled by COP (mm). The path length is known to be a reliable and valid measure of standing balance [20]. A shorter path length means better

postural stability. The second metric is sway area, and it is defined as the Area95 or area of the 95% confidence ellipse around the COP trajectory (mm²). This metric allows assessing the size of the area of the COP movement on a force plate. A smaller area surface means a better performance [21]. The following measurements were conducted: EO, EC, EO-OL. In addition, the Romberg index was calculated from these tests. Values that are higher than 1 indicate greater oscillation with the eyes closed. Zero or negative values mean lower postural oscillation with the EC [22].

Table 3. Tabata-video workout playlist including title, duration, and movement type.

Title (Chronological)	Duration (min:s)	Movement Type ¹
Dance monkey ²	03:28	00:30 dumbbell fly's ×3 ² 00:30 boxing run ×4 ²
Bangarang ³	03:32	00:30 jabs left/right hand ×3 ³ 00:30 biceps drop down ×2 ³ 00:30 diagonally jabs ×2 ³
Just Dance ⁴	03:38	00:30 marking "X" ×2 ⁴ 00:30 knee up ×2 ⁴ 00:30 jumps left to right ×2 ⁴ 00:30 marking "square" ×1 ⁴
Krishna ⁵	02:39	00:30 CrossFit rope ×3 ⁵ 00:30 marking "u" in a squat ×2 ⁵
Red ⁶	07:31	00:30 jabs side to side ×3 ⁶ 00:30 dumbbell fly's ×2 ⁶ 00:30 V-step ×3 ⁶ 00:30 marking "circle" ×2 ⁶ 00:30 squat wrists supination ×3 ⁶ 00:30 torso twists ×2 ⁶
Satisfaction ⁷	04:44	00:30 marking "wave" ×2 ⁷ 00:30 diagonally jabs side to side ×2 ⁷ 00:30 marking "wave" ×2 ⁷ 00:30 drums ×2 ⁷ 00:30 extra step ×2 ⁷
Mandala ⁸	04:39	00:30 squat dumbbell fly's ×3 ⁸ 00:30 arms circling ×3 ⁸ 00:30 knee up to hand ×3 ⁸ 00:10 EXTRA: deep breath

¹ After each sequence, a 00:10 step touch was performed as a form of active rest (imitation of the next track selection for Audio Trip). ^{2,3,4,5,6,7,8} Movement types for each music title.

To study psychomotor, the mean MT and mean RT were both measured with the Reaction Time test (RT test form S3—Choice reaction yellow/tone, Vienna Test System, Schuhfried, Austria). This test required MT and RT movements, suitable for one finger of the right or left hand. When the rest button is used, the RT is the time between the start of the relevant stimulus and the moment the finger leaves the rest button. The score for mean RT is the RT per second. A high score indicates that in comparison to the reference population the respondent has an above-average ability to react quickly in response to relevant stimuli or stimulus constellations. The MT is the time that elapses between the moment the finger leaves the rest button and the moment contact is made with the reaction button when a relevant stimulus has been presented. This score provides information about the respondent's speed of movement. A high score indicates that in comparison to the reference population the respondent has an above-average ability to implement a planned course of action quickly in reaction situations.

2.4. Statistical Analysis

Statistical analyses were performed using Statistica 13.3 (TIBCO Software Inc., Palo Alto, CA, USA) and statistical significance was defined as $p \leq 0.05$. A Levene test was used to check the homogeneity of variance. A series of ANOVAs (groups: EG vs. CG) with repeated measures (pre, inter and post measurements) were performed to determine if significant differences occurred in the study outcomes. The effect size was measured by partial eta squared (η^2). In the study, small, medium and large effect sizes were designated as $\eta^2 = 0.01$, $\eta^2 = 0.06$ and $\eta^2 = 0.14$, respectively.

3. Results

3.1. Reaction Time and Motor Time

The RT Test form S3, choice reaction yellow/tone is a test for the assessment of RT for audible and visual stimuli.

Significant statistical interaction effects $F(2.182) = 3.14$, $p = 0.046$, $\eta^2 = 0.03$ were observed for both groups in RT measurement. Differences between the EG and CG were found, where it was noted that the CG after a 30-min tabata-workout video had a longer RT ($M = 409$ ms) than the EG ($M = 384$ ms). In addition, the CG after the second 30-min tabata-workout video had a longer RT ($M = 408$ ms) than the EG ($M = 369$ ms). The above results are described in Figure 4.

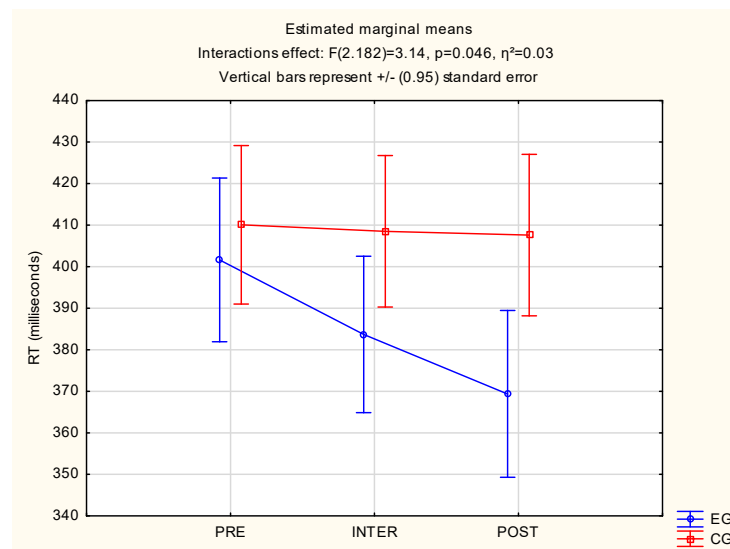


Figure 4. Statistical calculations between EG and CG of RT, for three measurements (PRE, INTER, POST). CG: control group; EG: experimental group; RT: reaction time.

Significant statistical interaction effects $F(2.182) = 3.07$, $p = 0.049$ and $\eta^2 = 0.03$ were observed for both groups in MT measurement. Differences between the EG and CG were found, where it was noted that the CG after a 30-min tabata-workout video had a longer MT ($M = 144$ ms) than the EG ($M = 134$ ms). Also, the CG after the second 30-min tabata-workout video had a longer MT ($M = 143$ ms) than the EG ($M = 127$ ms). The above results are described in Figure 5.

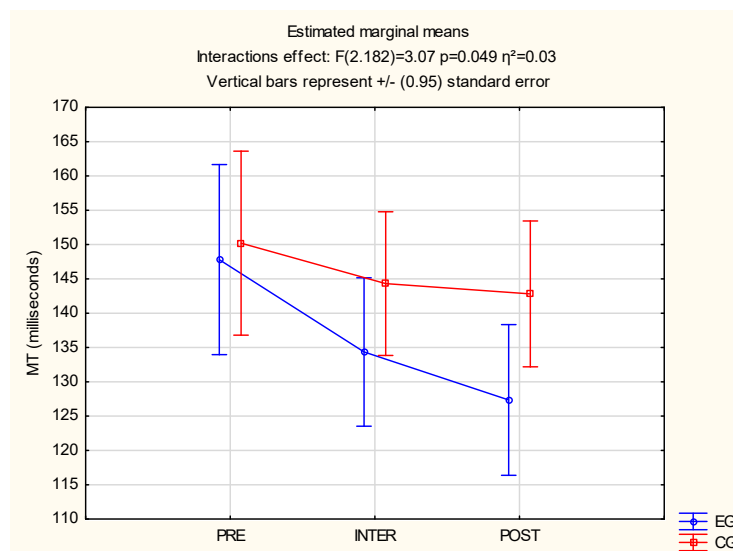


Figure 5. Statistical calculations between EG and CG of MT, for three measurements (PRE, INTER, POST). CG: control group; EG: experimental group; MT: motor time.

3.2. Postural Stability

Significant differences were observed between the groups in EC: $F(2,182) = 3.66$, $p = 0.028$ and $\eta^2 = 0.04$ and EO-OL: $F(2,182) = 5.81$, $p = 0.04$ and $\eta^2 = 0.07$. The above results are described in Table 4 and significant differences are available in Figures 6 and 7.

Table 4. Changes in the path length of postural stability tests in three measurements (PRE, INTER, POST) in the CG and EG.

Path Length	CG	EG	Interaction
EO ¹ (mm)	61.42	60.17	$F(2,182) = 1.29$, $p = 0.28$, $\eta^2 = 0.01$
EO ² (mm)	64.97	62.60	
EO ³ (mm)	66.19	62.81	
EC ¹ (mm)	71.36	68.16	$F(2, 182) = 3.66$, $p = 0.028$ *, $\eta^2 = 0.04$
EC ² (mm)	72.49	66.55	
EC ³ (mm)	70.63	65.45	
Romberg ¹	0.87	0.90	
Romberg ²	0.90	0.95	
Romberg ³	0.95	0.97	
EO-OL ¹ (mm)	140.28	150.45	$F(2, 182) = 5.81$, $p = 0.004$ *, $\eta^2 = 0.07$
EO-OL ² (mm)	144.88	146.54	
EO-OL ³ (mm)	145.20	140.78	

^{1,2,3}—number of measurements, *—significant differences. EO: eyes open, EC: eyes close, EO-OL: eyes open and one leg.

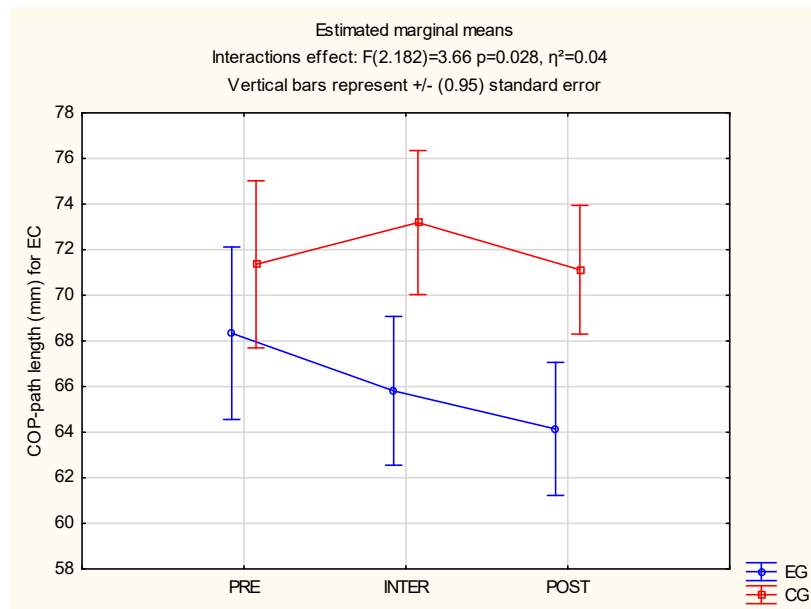


Figure 6. Statistical calculations between EG and CG of COP-path length for EC, for three measurements (PRE, INTER, POST). CG: control group; COP-path length: center of pressure path length; EC: EC-eyes close, EG: experimental group.

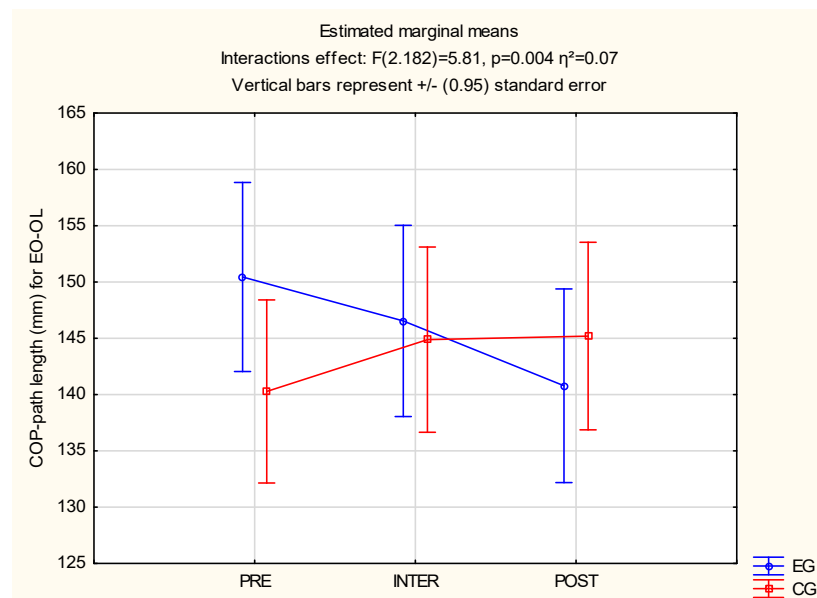


Figure 7. Statistical calculations between EG and CG of COP-path length for EO-OL, for three measurements (PRE, INTER, POST). CG: control group; COP-path length: center of pressure path length; EO-OL: eyes open and one leg, EG: experimental group.

Significant differences were observed between the group in EC: $F(2.182) = 4.30$, $p = 0.02$ and $\eta^2 = 0.05$. The above result is described in Table 5 and Figure 8.

Table 5. Changes in the sway area of postural stability tests in three measurements (PRE, INTER, POST) in the CG and EG.

Area95	CG	EG	Interaction
EO ¹ (mm ²)	2.43	2.39	F(2, 182) = 0.60, p = 0.57, η ² = 0.01
EO ² (mm ²)	3.06	3.44	
EO ³ (mm ²)	3.17	3.57	
EC ¹ (mm ²)	3.56	3.18	F(2, 182) = 4.30, p = 0.02 *, η ² = 0.05
EC ² (mm ²)	4.34	3.33	
EC ³ (mm ²)	3.83	4.23	
EO-OL ¹ (mm ²)	8.25	9.24	F(2, 182) = 0.76, p = 0.47, η ² = 0.01
EO-OL ² (mm ²)	9.56	11.09	
EO-OL ³ (mm ²)	10.67	11.09	

^{1,2,3}—number of measurement, *—significant differences. EO: eyes open, EC: eyes close, EO-OL: eyes open and one leg.

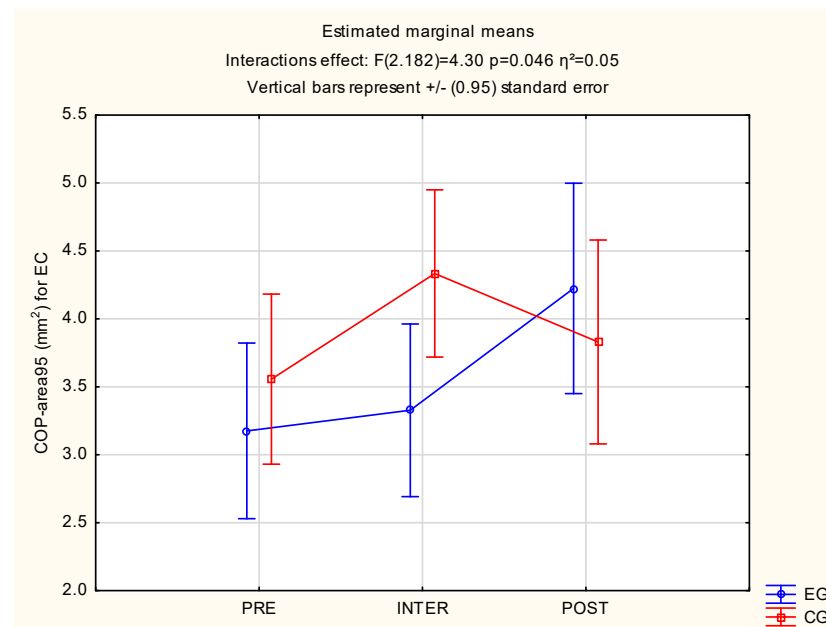


Figure 8. Statistical calculations between EG and CG of COP-area95 for EC, for three measurements (PRE, INTER, POST). CG: control group; COP-area95: center of pressure for area 95; EC: eyes close; EG: experimental group.

3.3. Zephyr Measurement

An analysis of the results with ANOVA test shows the size of changes in mean values for the HR-Ave, HR-Max, BR-Ave, BR-Max and energy expenditure. Significant differences were observed between the groups in BR-Ave: F(2,182) = 2.65, p = 0.013 and η² = 0.07; BR-Max: F(2,182) = 3.86, p = 0.02 and η² = 0.04 and EE: F(2,182) = 3.84, p = 0.02 and η² = 0.04.

4. Discussion

This study’s goals was to compare the effects of low-immersive vs. high-immersive exercise environment on postural stability, RT and MT in young adults. It was hypothesized that 1. high-immersive exercise environment would produce greater improvements in postural stability than low-immersive exercise environment. 2. High-immersive exercise

environment would produce greater improvements in reaction and MT than low-immersive exercise environment. Our study confirmed both hypotheses.

Equipment used as a display for high-immersion can make a difference to postural stability. Soffel et al. [23] showed that postural stability measured with the VR head-mounted display (HMD) system in two conditions, eyes close and virtual fixation point's distance during HMD wearing, are similar to each other. Image displays on a VR HMD screen for postural stability measurement can be compared to a condition with closed eyes. Thus, the VR environment is comparable to standing with eyes closed on a force platform, which probably can explain why eyes close measurements are better for the EG than CG, due to the similar conditions in our study. It is also worth noting that training using VR can eliminate the negative impact of visual stimuli on the level of postural stability [24]. Additionally, the sense of presence in the game, high immersion and the positive emotions associated with it helped to stabilize the standing on the force platform with EC. The mechanisms of enjoyment in gaming are a part of the technology's ability to satisfy the basic psychological needs of the player, such as boosting feelings of competence, autonomy and relatedness [25]. VR exergames typically involve obstacle-based challenges and extrinsic reward systems to engage participants in interventions related to physical functioning [17]. Participants performed high-immersive in-game tasks, and they were able to transfer these positive emotions and competence to other tasks, such as a postural stability stand. Games are based on emotions and getting better and better results. It can be concluded that the positive emotions of a VR game can improve results in the tasks that follow. Immersion is the fundamental concept of the facilitation of emotion in a virtual environment. Some studies report an increase in emotional responses in more immersive compared to less immersive systems [15,16]. In addition, some studies emphasize that positive emotions promoted the learning effect and task performance [26].

Research on e-sport players showed that RT is affected by game playing time. If gamers play longer, the better RT they can have [27]. It is due to the speed of coding visual information into visual short-term memory, and the improvement does seem to depend on the time devoted to gaming [28]. In the case of our research, increased game time also improved better RT and MT. Another study show that exercise can improve the speed of reactions of young adults by energizing motor outputs but also higher RT disappears very quickly after the exercise cessation [29,30]. Additionally, RT can significantly be decreased for post-measurement, if a high-immersive system is applied [31–33]. In summary, the playing time for 60 min in total and the use of high immersion improves the results obtained in the RT and MT tests. The implementation of immersion resulted in reducing the time for RT and MT. However, training in a VR environment, which is a kind of high-immersion, gave the best final results for POST measurements.

Our study showed that exercise using higher immersion helps to increase postural stability and reducing the time for RT and MT compared to lower immersion system. This knowledge will encourage researchers to choose higher immersion, e.g., in the form of VR games instead of trainings displayed on a television screen as a remote interventions, in order to increase the results in this area of research.

5. Limitations and Future Directions

The limitation of this study was the acceptance of the necessity to be a physical education student as one of the inclusion criteria in this study. The aim was to study the effect on fully healthy, fit people. This allowed us to reduce the risk of the influence of other factors (e.g., poor health, chronic diseases, and low endurance). In addition, what we tried to highlight in the article, which mattered most, was the interest in the type of game and the gathering of the appropriate number of people for research who would meet the inclusion criteria, including the Ruffier squat test. To make it possible, we chose people interested in sports due to the type of studies selected. In the future, this study would be complemented by an analysis of the real processes that take place in the brain during the game.

The present study provides several directions for future studies in this research field. First of all, further studies are needed to examine better the high-immersive effects on postural stability, RT and MT, especially in different age groups, a population that hasn't been investigated. In addition, high-immersive and low-immersive characteristics (e.g., genre, platform) in relation to postural stability, RT and MT skills should be further investigated in the future, in order to create specific and effective training programs.

6. Conclusions

The inclusion of higher immersion into an exercise environment produce greater improvements in MT and RT. Additionally, after a low-immersive exercise environment, participants have higher COP path length values with eyes close and standing with open eyes in one-leg tests, which testifies to less postural stability. Regarding COP trajectory, a smaller area surface means better performance for high-immersive participants, but only after 30 min of playing time. Increasing the workout to 60 min made the sway area worse than in CG. The high-immersive exercise environment can improve some aspects of postural stability and improve RT and MT.

Author Contributions: Conceptualization, J.C.; Methodology, J.C.; Software, J.C.; Formal Analysis, J.C. and J.M.; Investigation, J.C. and J.M.; Data Curation, J.C. and J.M.; Writing—Original Draft Preparation, J.C.; Writing and Editing, J.C. and J.M.; Visualization, J.C.; Supervision, J.M.; Project Administration, J.M. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research received no external funding.

Institutional Review Board Statement: Respective ethical committees granted ethical approvals for this study (decision no. 32/20).

Informed Consent Statement: Not applicable.

Data Availability Statement: Not applicable.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. Blaszczyk, J.W.; Hansen, P.D.; Lowe, D.L. Postural Sway and Perception of the Upright Stance Stability Borders. *Perception* **1993**, *22*, 1333–1341. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
2. Dunstan, D.W.; Howard, B.; Healy, G.N.; Owen, N. Too Much Sitting—A Health Hazard. *Diabetes Res. Clin. Pract.* **2012**, *97*, 368–376. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
3. Hrysomallis, C. Balance Ability and Athletic Performance. *Sports Med.* **2011**, *41*, 221–232. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
4. Iqbal, K.; Roy, A. A Novel Theoretical Framework for the Dynamic Stability Analysis, Movement Control, and Trajectory Generation in a Multisegment Biomechanical Model. *J. Biomech. Eng.* **2009**, *131*, 011002. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
5. Olpińska-Lischka, M.; Kujawa, K.; Maciaszek, J. Differences in the Effect of Sleep Deprivation on the Postural Stability among Men and Women. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2021**, *18*, 3796. [[CrossRef](#)]
6. Kenney, E.L.; Gortmaker, S.L. United States Adolescents' Television, Computer, Videogame, Smartphone, and Tablet Use: Associations with Sugary Drinks, Sleep, Physical Activity, and Obesity. *J. Pediatr.* **2017**, *182*, 144–149. [[CrossRef](#)]
7. Pallavicini, F.; Ferrari, A.; Mantovani, F. Video Games for Well-Being: A Systematic Review on the Application of Computer Games for Cognitive and Emotional Training in the Adult Population. *Front. Psychol.* **2018**, *9*, 2127. [[CrossRef](#)]
8. Okubo, Y.; Schoene, D.; Lord, S.R. Step Training Improves Reaction Time, Gait and Balance and Reduces Falls in Older People: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Br. J. Sports Med.* **2016**, *51*, 586–593. [[CrossRef](#)]
9. Liu, R.; Menhas, R.; Dai, J.; Saqib, Z.A.; Peng, X. Fitness Apps, Live Streaming Workout Classes, and Virtual Reality Fitness for Physical Activity during the COVID-19 Lockdown: An Empirical Study. *Front. Public Health* **2022**, *10*, 852311. [[CrossRef](#)]
10. McDonough, D.J.; Helgeson, M.A.; Liu, W.; Gao, Z. Effects of a Remote, YouTube-Delivered Exercise Intervention on Young Adults' Physical Activity, Sedentary Behavior, and Sleep during the Covid-19 Pandemic: Randomized Controlled Trial. *J. Sport Health Sci.* **2022**, *11*, 145–156. [[CrossRef](#)]
11. Romeas, T.; More-chevalier, B.; Charbonneau, M.; Bieuzen, F. Virtual-Reality Training of Elite Boxers Preparing for the Tokyo 2020 Olympics During the COVID-19 Pandemic: A Case Study. *Case Stud. Sport Exerc. Psychol.* **2022**, *6*, 21–35. [[CrossRef](#)]
12. Woyo, E.; Nyamandi, C. Application of Virtual Reality Technologies in the Comrades' Marathon as a Response to Covid-19 Pandemic. *Dev. S. Afr.* **2021**, *39*, 20–34. [[CrossRef](#)]
13. Martirosov, S.; Bureš, M.; Zitka, T. Cyber Sickness in Low-Immersive, Semi-Immersive, and Fully Immersive Virtual Reality. *Virtual Real.* **2021**, *26*, 15–32. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

14. Nilsson, N.C.; Nordahl, R.; Serafin, S. Immersion Revisited: A Review of Existing Definitions of Immersion and Their Relation to Different Theories of Presence. *Hum. Technol.* **2016**, *12*, 108–134. [CrossRef]
15. Kim, A.; Chang, M.; Choi, Y.; Jeon, S.; Lee, K. The Effect of Immersion on Emotional Responses to Film Viewing in a Virtual Environment. In Proceedings of the 2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR), Reutlingen, Germany, 18–22 March 2018.
16. Visch, V.T.; Tan, E.S.; Molenaar, D. The Emotional and Cognitive Effect of Immersion in Film Viewing. *Cogn. Emot.* **2010**, *24*, 1439–1445. [CrossRef]
17. Tao, G.; Garrett, B.; Taverner, T.; Cordingley, E.; Sun, C. Immersive Virtual Reality & Health Games: A Narrative Review of Game Design. *J. NeuroEng. Rehabil.* **2021**, *18*, 31.
18. Eknoyan, G. Adolphe Quetelet (1796 1874) the Average Man and Indices of Obesity. *Nephrol. Dial. Transplant.* **2007**, *23*, 47–51. [CrossRef]
19. Witmer, B.G.; Singer, M.J. Measuring Presence in Virtual Environments: A Presence Questionnaire. *Presence Teleoperat. Virtual Environ.* **1998**, *7*, 225–240. [CrossRef]
20. Nagymáté, G.; Orlovits, Z.; Kiss, R.M. Reliability Analysis of a Sensitive and Independent Stabilometry Parameter Set. *PLoS ONE* **2018**, *13*, e0195995. [CrossRef]
21. Asseman, F.; Caron, O.; Crémieux, J. Effects of the Removal of Vision on Body Sway during Different Postures in Elite Gymnasts. *Int. J. Sports Med.* **2005**, *26*, 116–119. [CrossRef]
22. Tjernström, F.; Björklund, M.; Malmström, E.-M. Romberg Ratio in Quiet Stance Posturography—Test to Retest Reliability. *Gait Posture* **2015**, *42*, 27–31. [CrossRef] [PubMed]
23. Soffel, F.; Zank, M.; Kunz, A. Postural Stability Analysis in Virtual Reality Using the HTC Vive. In Proceedings of the 22nd ACM Conference on Virtual Reality Software and Technology, Munich, Germany, 2–4 November 2016.
24. Cyma-Wejchenig, M.; Tarnas, J.; Marciniak, K.; Stemplewski, R. The Influence of Proprioceptive Training with the Use of Virtual Reality on Postural Stability of Workers Working at Height. *Sensors* **2020**, *20*, 3731. [CrossRef] [PubMed]
25. Tamborini, R.; Grizzard, M.; David Bowman, N.; Reinecke, L.; Lewis, R.J.; Eden, A. Media Enjoyment as Need Satisfaction: The Contribution of Hedonic and Nonhedonic Needs. *J. Commun.* **2011**, *61*, 1025–1042. [CrossRef]
26. Tan, J.; Mao, J.; Jiang, Y.; Gao, M. The Influence of Academic Emotions on Learning Effects: A Systematic Review. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2021**, *18*, 9678. [CrossRef]
27. Ersin, A.; Tezeren, H.C.; Pekyavas, N.O.; Asal, B.; Atabey, A.; Diri, A.; Gonen, İ. The Relationship between Reaction Time and Gaming Time in E-SPORTS Players. Available online: <https://hrcak.srce.hr/ojs/index.php/kinesiology/article/view/19294> (accessed on 21 December 2022).
28. Wilms, I.L.; Petersen, A.; Vangkilde, S. Intensive Video Gaming Improves Encoding Speed to Visual Short-Term Memory in Young Male Adults. *Acta Psychol.* **2013**, *142*, 108–118. [CrossRef]
29. Davranche, K.; Audiffren, M.; Denjean, A. A Distributional Analysis of the Effect of Physical Exercise on a Choice Reaction Time Task. *J. Sports Sci.* **2006**, *24*, 323–329. [CrossRef]
30. Audiffren, M.; Tomporowski, P.D.; Zagrodnik, J. Acute Aerobic Exercise and Information Processing: Energizing Motor Processes during a Choice Reaction Time Task. *Acta Psychol.* **2008**, *129*, 410–419. [CrossRef]
31. Pallavicini, F.; Pepe, A. Virtual Reality Games and the Role of Body Involvement in Enhancing Positive Emotions and Decreasing Anxiety: Within-Subjects Pilot Study. *JMIR Serious Games* **2020**, *8*, e15635. [CrossRef]
32. Glueck, A.C.; Han, D.Y. Improvement Potentials in Balance and Visuo-Motor Reaction Time after Mixed Reality Action Game Play: A Pilot Study. *Virtual Real.* **2019**, *24*, 223–229. [CrossRef]
33. Gumaa, M.; Khaireldin, A.; Rehan Youssef, A. Validity and Reliability of Interactive Virtual Reality in Assessing the Musculoskeletal System: A Systematic Review. *Curr. Rev. Musculoskelet. Med.* **2021**, *14*, 130–144. [CrossRef]

Disclaimer/Publisher’s Note: The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.

[Original Paper](#)

Effects of a Modern Virtual Reality 3D Head-Mounted Display Exergame on Simulator Sickness and Immersion Under Specific Conditions in Young Women and Men: Experimental Study

Julia Ciężyńska¹, MSc; Michał Janowski², PhD Eng; Janusz Maciaszek¹, PhD

¹Department of Physical Activity and Health Promotion Science, Poznan University of Physical Education, Poznan, Poland

²Department of Athletics, Strength and Conditioning, Poznan University of Physical Education, Poznan, Poland

Corresponding Author:

Julia Ciężyńska, MSc

Department of Physical Activity and Health Promotion Science

Poznan University of Physical Education

61-871 Poznan

Królowej Jadwigi 27/39

Poznan, 61-871

Poland

Phone: 48 (61) 835 52 14

Email: ciazyńska@awf.poznan.pl

Abstract

Background: Many young adults do not reach the World Health Organization's minimum recommendations for the amount of weekly physical activity. The virtual reality 3D head-mounted display (VR 3D HMD) exergame is a technology that is more immersive than a typical exercise session. Our study considers gender differences in the experience of using VR games for increasing physical activity.

Objective: The aim of this study was to examine the differences in the effects of VR 3D HMD gaming in terms of immersion, simulator sickness, heart rate, breathing rate, and energy expenditure during two 30-minute sessions of playing an exergame of increasing intensity on males and females.

Methods: To examine the effects of the VR 3D HMD exergame, we experimented with 45 participants (23 males and 22 females) exercising with VR 3D HMD Oculus Quest 1, hand controllers, and Zephyr BioHarness 3.0. Players exercised according to the Audio Trip exergame. We evaluated the immersion levels and monitored the average heart rate, maximum heart rate, average breathing rate, maximum breathing rate, and energy expenditure in addition to simulator sickness during two 30-minute exergame sessions of increasing intensity.

Results: Audio Trip was well-tolerated, as there were no dropouts due to simulator sickness. Significant differences between genders were observed in the simulator sickness questionnaire for nausea ($F_{2,86}=0.80$; $P=.046$), oculomotor disorders ($F_{2,86}=2.37$; $P=.010$), disorientation ($F_{2,86}=0.92$; $P=.040$), and total of all these symptoms ($F_{2,86}=3.33$; $P=.04$). The measurements after the first 30-minute VR 3D HMD exergame session for all the participants showed no significant change compared to the measurements before the first 30-minute exergame session according to the total score. There were no gender differences in the immersion ($F_{1,43}=0.02$; $P=.90$), but the measurements after the second 30-minute exergame session showed an increase in the average points for immersion in women and men. The increase in the level of immersion in the female group was higher than that in the male group. A significant difference between genders was observed in the average breathing rate ($F_{2,86}=1.44$; $P=.04$), maximum breathing rate ($F_{2,86}=1.15$; $P=.047$), and energy expenditure ($F_{2,86}=10.51$; $P=.001$) measurements. No gender differences were observed in the average heart rate and maximum heart rate measurements in the two 30-minute sessions.

Conclusions: Our 30-minute VR 3D HMD exergame session does not cause simulator sickness and is a very immersive type of exercise for men and women users. This exergame allows reaching the minimum recommendations for the amount of weekly physical activity for adults. The second exergame session resulted in simulator sickness in both groups, more noticeably in women, as reflected in the responses in the simulator sickness questionnaire. The gender differences observed in the breathing rates and energy expenditure measurements can be helpful when programming VR exergame intensity in future research.

<https://games.jmir.org/2022/4/e41234>

JMIR Serious Games 2022 | vol. 10 | iss. 4 | e41234 | p. 1
(page number not for citation purposes)

XSL-FO
RenderX

KEYWORDS

virtual reality; HMD; simulator sickness; immersion; physical activity; exergame; Zephyr; gender differences; WHO recommendation; young adult; digital health; energy expenditure; exercise game

Introduction

Background

Several studies have shown evidence that excessive sedentary behavior can harm the health of people [1-4] and that programmed physical activity may increase health-related fitness [5,6]. According to the new recommendations of the World Health Organization, adults (18-64 years) should exercise for 150-300 minutes a week at moderate intensity or 75-150 minutes at vigorous intensity [7]. For moderate intensity activities, it is about 22-42 minutes of physical activity a day to improve health. Adults should also engage in a muscle-strengthening exercise of moderate or high intensity that engages all the major muscle groups for 2 or more days per week [7]. However, it should be emphasized that this is an absolute minimum that is often not achieved [8,9]. Studies have shown that young female adults typically engage lesser in physical activity than men [10], but both genders have difficulty achieving the World Health Organization recommendations for weekly physical activity [11]. Globally, in 2016, more than a quarter of all adults were not performing enough physical activity [11]. The world of computer devices is often blamed for low activity and a sedentary lifestyle [12], and the group at risk is people in their 20s and 30s because they are the most active gamers [13]. Over the past 2 decades, the number of female video game players has increased, and females today make up half of the gaming population [14]. The enthusiasm of young people should be channeled to play virtual reality (VR) games because of the positive enhanced heart rates and energy expenditure during exergames compared to those while playing on traditional computer displays [15]. In 2016, the VR games market began to develop dynamically, and the equipment used for VR gaming was modernized. Most studies until 2016 showed that women users experienced high simulator sickness and low immersion while using the same VR play equipment and content as men [16-20]. Males and females may be sensitive to different features of the simulated environment and may experience simulator sickness accordingly (females more for 2D environments, while males for 3D environments). Further, different studies have reported increased simulator sickness differences between men and women according to the type of the utilized head-mounted display (HMD) equipment and categories of VR content (female users experienced more discomfort compared to males when exposed to high emotional and arousing content). Recent studies have shown that proper modern equipment and properly selected game content can minimize the feelings of simulator sickness and increase immersion in both genders [21-24]. However, the previous studies do not refer to exergames based on programmed physical exercises in the VR 3D HMD. No study has shown VR exergaming as a form of physical activity that can be performed for fulfilling the weekly physical activity recommendations of the World Health Organization for adults.

Immersive VR 3D HMD exergaming systems are plain body movements and are close to the planned, structured, and repetitive elements of a typical moderate training session [25]. Immersion is one of the main factors required for enabling the game users to perceive all aspects to create a real-life impression [16]. VR 3D HMD exergame is a technology that is more immersive than a typical exercise session [20]. An exergame that is a whole-body exercise is important, and it should involve rhythmic activity from large muscle masses, require quick shuffling to change positions, and should include locomotor tasks or even defensive actions to promote increased energy expenditure [26].

Goal of This Study

Our study presents a VR device as a tool to reach the minimum recommendations of the World Health Organization for the amount of weekly physical activity and to counteract a sedentary lifestyle. As per the World Health Organization recommendation, we divided the exergame sessions into two 30-minute sessions to assess whether the minimum recommendation could be achieved by both the genders. The 30-minute sessions have also been used in another HMD study [27] and has shown a positive response in the mental health of young adults. We chose individuals in the age group of 19-29 years as the most vulnerable to a sedentary lifestyle. The aim of this study was to evaluate the effects of a modern 3D HMD exergame on simulator sickness and immersion under specific conditions in healthy people. Thus, the risk of influence of other factors such as poor health, chronic diseases, and low endurance was reduced. In our experiment, we chose such conditions for playing the exergame to minimize gender differences, and we matched the game type for a group of recipients. We chose Oculus Quest 1 with Audio Trip, a first-person perspective game with 3D vision and a low emotional VR environment, for both genders. As the sessions increased in intensity, we collected data on the heart rate, breathing rate, and energy expenditure.

Hypotheses

We formed 3 hypotheses in this study.

1. Hypothesis 1: playing Audio Trip with a modern VR 3D HMD would result in higher cardiovascular function in men.
2. Hypothesis 2: playing Audio Trip with a modern VR 3D HMD would not cause simulator sickness in both genders.
3. Hypothesis 3: playing Audio Trip with a modern VR 3D HMD would have an immersion level that is gender independent, regardless of the playing time.

Methods

Participants

Sample size estimations were conducted using G*Power 3.1 (Axel Buchner). Sample size estimations were done for all

analyses, and the final targeted sample size was selected such that the analysis requiring the largest number of participants can be adequately powered. Based on meta-analyses, we expect a medium effect size of Cohen $f=.26$. The sample size required to reach a level of significance of .05 with a power of .80 is 26 participants. By making 3 measurements considering gender and an assumed dropout rate of 25%, we needed to recruit 33 people to test our hypotheses. We evaluated all the participants who signed up; there was a total of 45 participants. All the participants completed this study. To be eligible for participation in this study, the individual had to be a physical education student, be between 19 and 29 years old, and have a good health condition (no neurological disorders, disability, mental disorders, psychotropic medicines, injuries, or fresh injuries), have a score of 10 or less on the Ruffier Squat Test scale, and have had no interactions with VR equipment or similar VR stimulation before. Individuals were invited to participate in the study through personal invitations and emails.

Technology

The VR Oculus Quest 64 GB system (Oculus Quest system software, Facebook Inc, released on May 21, 2019) was used as the immersive VR technology in this study. It consists of a wireless headset through which the VR environment can be viewed and played with 2 hand controllers that enable interaction with the VR environment. People wearing glasses could also take part in this study because a special overlay for glasses was applied. To ensure proper performance, the room size should be at least 2 meters \times 2 meters. The VR Oculus Quest 64 GB has a display of 5.7 inches, resolution of 2880 pixels \times 1600 pixels, reference resolution of 1440 pixels \times 1600 pixels, organic light emitting diode display type, and refresh frequency of 72 Hz. The name of the game that was used was Audio Trip and was distributed from the Oculus Quest store app.

Instruments

Four methods were used for the usability evaluation: Audio Trip VR exergame, Simulator Sickness Questionnaire (SSQ), The Immersion Questionnaire, and BioHarness 3.0 measurements. One of the inclusion criteria for the study was the Ruffier Squat Test.

The purpose of the Audio Trip VR game (Andromeda Entertainment) [28] is to dance to the rhythm and immerse into the virtual musical and fitness environment. A player is obliged to follow the colored path by using their hands to catch 2 colored gems, smash drums, and dodge virtual barriers. In this study, players had to follow a special 30-minute playlist 2 times in the beginner and regular modes. A playlist is a proprietary idea in which the beats per minute increase during play, and the difficulty level increases in the second session, thereby increasing the intensity. The details of the playlist are shown in Figure 1.

The SSQ is one of the most frequently used simulator testing tools [29]. In this research, we used the SSQ by Kennedy et al [30], translated into Polish by Biernacki et al [31]. One of the essential aspects of research on simulators is how different test conditions affect the severity of the symptoms due to a simulator. Among the conditions in this study, one should

specify both the movement of the platform and the type of visual stimuli. This questionnaire evaluates 26 symptoms due to the simulator. Questions on nausea (question numbers 1, 8, 10, 11, 12, 22, 25), oculomotor disorders (question numbers 1, 2, 5, 6, 7, 12, 15), and disorientation (question numbers 7, 1, 14, 15, 16, 17, 18) were asked in the questionnaire. The task of the person examined using SSQ consists of making a subjective assessment of the severity of specific symptoms. A 4-step scale was used: (1) none, no symptoms due to the simulator; (2) small, few symptoms due to the simulator; (3) moderate, moderate symptoms due to the simulator; and (4) significant, serious symptoms due to the simulator. The SSQ result includes both the overall levels of the symptoms from using a simulator (SSQ total), and the indicators consist of individual (unproportioned relative to each other) scales: (1) nausea symptoms of increased salivation, sweating, nauseousness, and burping; (2) oculomotor disorder symptoms of fatigue, headache, eye fatigue, and difficulty in concentration; and (3) disorientation symptoms of dizziness, daze feeling (both with open and closed eyes), and blurriness (out of focus). The first step when calculating SSQ is to convert the results to a numerical form. The SSQ scales are expressed on a 4-stage Likert scale (where 0=none, 1=small, 2=moderate, and 3=significant). For calculating the score for SSQ, add raw values for the data of the symptoms assigned to the specified factor and multiply by a specific number. For individual scales, they are as follows: (1) nausea, 9.54 (score ranging from 0 to 200.34); (2) oculomotor disorders, 7.58 (scores ranging from 0 to 159.18); (3) disorientation, 13.92 (scores ranging from 0 to 292.32); and (4) SSQ total, 3.74 (scores ranging from 0 to 235.62).

The Immersion Questionnaire is a scale measuring video game engagement [32]. In this research, we used the Immersion Questionnaire by Jennett et al [32], which was translated into Polish by Strojny et al [33]. This questionnaire was used as a tool for measuring the player's absorption/immersion while playing games. Researchers commonly consider immersion to be an important part of the videogame user experience [34-37]. The Polish adaptation consists of 27 test items instead of 31 questions of the original questionnaire, because 4 questions in the original questionnaire had a low correlation with the overall test score and are unnecessary [38]. The Immersion Questionnaire scales are expressed on a 5-stage Likert scale (where 1=very small, 2=small, 3=average, 4=more than average, 5=a lot/definitely). The total score to earn on the Immersion Questionnaire is 135.

A portable wireless piezoelectric recording system (BioHarness 3.0, OmniSense 3.9.7, Zephyr Technology Corp) [39] was used for monitoring energy expenditure, estimated according to the following formula: energy expenditure (kcal) = gender \times (-55.0969 + 0.6309 heart rate + 0.1988 weight + 0.2017 age) + (1 - gender) \times (-20.4022 + 0.4472 heart rate - 0.1263 weight + 0.074 age) (gender: 1 for male, 0 for female; heart rate, including average heart rate and maximum heart rate; and breathing rate, including average breathing rate and maximum breathing rate).

In the Ruffier Squat Test, participants are made to do 30 squats in 45 seconds [40]. Heart rate is recorded before the test (P1), at the end of 45 seconds (P2), and at 1 minute after the test (P3).

The test score is calculated in the form of an index—the Ruffier Index expressed as $(P1 + P2 + P3) - 200/10$. The range of the Ruffier Index given was 0 to 17, but higher than 10 is an adaptation to insufficient effort or even poor adaptation. The individual ranges are as follows: 0 is a very good adaptation to

effort, between 0 and 5 is a good adaptation to effort, and between 5 and 10 (including 10) is the ability to adapt to the average effort. Ruffier originally developed this test for testing the European population.

Figure 1. Exergame playlist in beginner and regular modes of the Audio Trip virtual reality game, including the title, duration of songs, and beats per minute. BPM: beats per minute.

TITLE (chronological)	DURATION (min:sec)	BPM (beats per minute)
DANCE MONKEY	03:28	98
BANGARANG	03:32	110
JUST DANCE	03:38	118
KRISHNA	02:39	128
RED	07:31	136
SATISFACTION	04:44	136
MANDALA	04:39	143

Procedure

Each participant came once to be examined and approved for research and to take part in the main study. Each participant attended an information meeting. They were informed of the study and encouraged to ask questions, after which they signed a written consent form if they agreed to participate. The study protocol is presented in a chronological order in [Figure 2](#). The participants filled in the first 2 pages of SSQ (see [Multimedia Appendix 1](#)). The first page included preliminary information before starting the study about simulator experience and physical statements, that is, level of current physical fitness, the occurrence of diseases during a week, alcohol consumption, medications taken 24 hours before the study, and sleep duration. The second page collected information on cybersickness data before the first 30-minute VR 3D HMD exergame session. Before completing the SSQ, a BioHarness 3.0 sensor was attached to the chest by a strap and calibrated with a computer. The participants were weighed and their heights were measured, and then these data were entered into the OmniSense software (Zephyr BioHarness 3.0).

Each participant took part in a 5-minute warm-up, according to the instructions in a video prepared earlier (see [Figure 3](#)). The VR 3D exergame tutorial starts with the calibration of HMD and controllers. People wearing glasses could also take part in this study because a special overlay for glasses was applied. Moreover, left-handed people could take part in this study. The participants stood next to an imaginary console with songs and were then fitted with the VR equipment. At this point, researchers had a preview of the VR world on the screen of the mobile phone to be able to see what the participant saw during the experimental sessions. The safe space for the participant to

move was a square of 2.5 meters \times 2.5 meters. In the VR environment, the controllers were represented by hands in the console environment and by 2-color orbs in the exergame environment. The tutorial was built in steps, with each step being supported by instructions on what tasks to perform to meet the goal to proceed to the next step, and the tasks were graded from the easiest to the most difficult (see [Multimedia Appendix 2](#)). The details of the playlist are shown in [Figure 1](#). The intensity of the game increases during each session and with the difficulty level. The participants were dressed in casual sports clothes ([Figure 4](#)) and had safety face pads between the HMD Oculus Quest headset and their face. The details on what the Audio Trip game looks like are shown in [Figure 5](#). We determined whether a participant managed to perform each task by noting the points for every 7 songs from a playlist on the checklist box. Between the songs was a quick pause to select the next one from the playlist.

After the first 30 minutes of the exergame playlist session, participants proceeded to the measurements that were taken between the 2 sessions: The Immersion Questionnaire, SSQ, and BioHarness 3.0 measurements ([Figure 2](#)). The participants were expected to answer the questions alone, but some questions required clarification and affirmation by the researcher to confirm the proper interpretation. After completing the measurements in the interval between the 2 sessions, the second session of the exergame started. The interval time of 15-20 minutes was enough for the heart rates of all the participants to return to normal resting heart rate before the start of the next game session. The game was then launched on the regular level. After completing the second 30-minute playlist (60 minutes in total), the same measurements were performed as done between the 2 sessions.

Figure 2. Study protocol presented in the chronological order from left to right for the experimental group. Br-Ave: average breathing rate; Br-Max: maximum breathing rate; EE: energy expenditure; HR-ave: average heart rate; HR-Max: maximum heart rate; SSQ: Simulator Sickness Questionnaire; TIQ: The Immersion Questionnaire; VR: virtual reality; ZB3: Zephyr Bioharness 3.0.

duration:	20 min	15-20 min	30 min	15-20 min	30 min	15-20 min
Experimental group (N=45)	PREPARATION	PRE (before first session)	FIRST 30-MIN SESSION	INTER (between sessions)	SECOND 30-MIN SESSION	POST (after second session)
	Inclusion criteria check	SSQ	BEGINNER MODE	TIQ	REGULAR MODE (higher intensity)	TIQ
	ZB3 calibration	ZB3	ZB3: HR-Max, HR-Ave, BR-Max, Br-Ave, EE	SSQ	ZB3: HR-Max, HR-Ave, BR-Max, Br-Ave, EE	SSQ
		Warm-up		ZB3		ZB3
		VR calibration				

Figure 3. The various elements of the 5-minute warm-up (5: running in place, 4: arm swings, 3: torso twists, 2: torso bends, 1: warming the joints, that is, wrist and ankle) on the television.

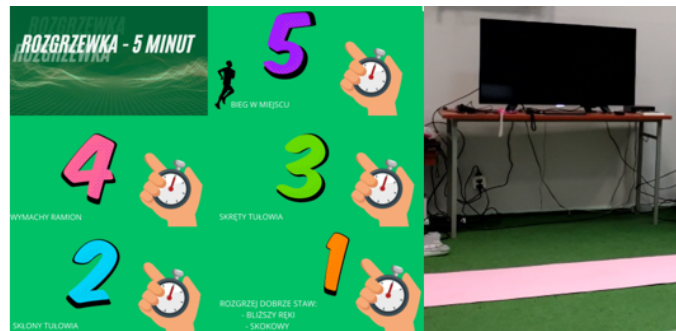
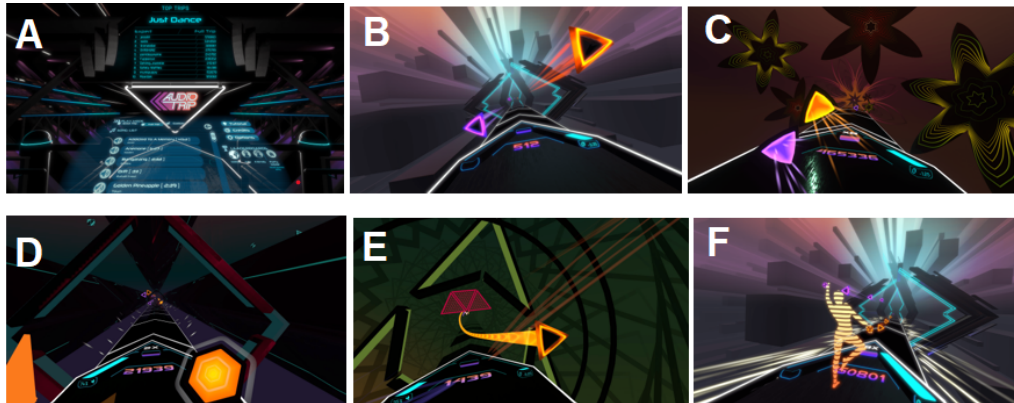


Figure 4. Virtual reality exergame intervention in a safe area of 2.5 meters × 2.5 meters.



Figure 5. View of the Audio Trip game. From left: A. Selecting a track from the list.; To the rhythm of the music, hitting two-colored triangles as intended: B. touching by R/L hand C. hitting at a certain angle by R/L hand, D. smashing the drums by R/L hand, E. following the path by R/L hand and dodging the barriers.; F. Following the trainer (back perspective).



Data Interpretation

We analyzed the data measured from BioHarness 3.0 in the experiment by using the OmniSense software. The data measured from the experiment are maximum heart rate, average heart rate, maximum breathing rate, average breathing rate, and energy expenditure. Repeated-measures analysis of variance (ANOVA) was used to test the hypotheses. We analyzed the data using Statistica 13.3 (TIBCO Software Inc), and statistical significance was defined as $P \leq .05$.

Ethics Approval

This study was performed according to the ethical standards laid down in the Declaration of Helsinki. All participants

provided signed informed consent, and the Bioethics Commission of Poznan University of Medical Sciences granted the ethical approval for this study (decision 32/20).

Results

Participant Characteristics

The mean age (in years) of the participants ($N=45$) was 21.69 (SD 2.76; range 19-28). The mean body weight (in kilograms) was 71.03 (SD 13.07; range 44.5-106.5). The mean body height (in centimeters) was 173.98 (SD 8.09; range 155.6-186.1). The mean body mass index (in kg/m^2) was 23.3 (SD 3.23; range 18.4-32.3). The experimental group was mixed; females constituted 49% (22/45) of the study population (Table 1).

Table 1. Characteristics of the study population ($N=45$).

Participant characteristic	Value
Mean age (years)	21.69
Mean body weight (kg)	71.03
Mean body height (cm)	173.98
Mean BMI (kg/m^2)	23.3
Females (n)	22
Ruffier index	6.5

SSQ Results

Nausea

Significant differences between genders were observed in nausea symptoms (Table 2), that is, increased salivation, sweating,

nauseousness, and burping. Analysis of the results with the ANOVA test showed that the size of the changes in the mean values for the SSQ nausea score was $F_{2,86}=0.80$ ($P=.46$).

Table 2. Gender differences in nausea during the 3 measurements.^a

Simulator sickness questionnaire on nausea	Female group	Male group
Before the first 30-minute exergame session		
Average (SD)	9.54 (9.74)	10.37 (9.22)
Minimum points	0	0
Maximum points	28.62	38.16
Between the exergame sessions		
Average (SD)	13.01 (10.54)	18.25 (11.19)
Minimum points	0	0
Maximum points	38.16	47.7
After the second 30-minute exergame session		
Average (SD)	20.38 (13.05)	22.40 (12.87)
Minimum points	0	0
Maximum points	57.24	47.7

^a $F_{2,86}=0.80$; $P=.046$.

Oculomotor Disorders

Significant differences between genders were observed in oculomotor disorder symptoms (Table 3), that is, fatigue,

headache, eye fatigue, and difficulty in concentrating. Analysis of the results with the ANOVA test showed that the size of the changes in the mean values for the SSQ oculomotor disorders score was $F_{2,86}=2.37$ ($P=.10$).

Table 3. Gender differences in the simulator sickness questionnaire for oculomotor disorders during the 3 measurements.^a

Simulator sickness questionnaire on oculomotor disorders	Female group	Male group
Before the first 30-minute exergame session		
Average (SD)	18.26 (14.18)	14.50 (12.25)
Minimum points	0	0
Maximum points	60.64	30.32
Between the exergame sessions		
Average (SD)	22.74 (13.32)	11.21 (14.01)
Minimum points	0	0
Maximum points	53.06	30.32
After the second 30-minute exergame session		
Average (SD)	34.11 (18.80)	21.09 (15.33)
Minimum points	0	0
Maximum points	83.38	53.06

^a $F_{2,86}=2.37$; $P=.010$

Disorientation

Significant differences between genders were observed in disorientation symptoms (Table 4), that is, dizziness, daze

feeling (both with open and closed eyes), and blurriness (out of focus). Analysis of the results with the ANOVA test showed that the size of the changes in the mean values for the SSQ disorientation score was $F_{2,86}=0.92$ ($P=.40$).

Table 4. Gender differences in the simulator sickness questionnaire on disorientation during the 3 measurements.^a

Simulator sickness questionnaire on disorientation	Female group	Male group
Before the first 30-minute exergame session		
Average (SD)	11.39 (11.42)	7.87 (10.05)
Minimum points	0	0
Maximum points	41.76	27.84
Between the exergame sessions		
Average (SD)	16.45 (15.67)	5.45 (7.49)
Minimum points	0	0
Maximum points	55.68	55.68
After the second 30-minute exergame session		
Average (SD)	24.68 (22.80)	15.13 (10.65)
Minimum points	0	0
Maximum points	69.60	83.52

^a $F_{2,86}=0.92$; $P=.004$.

SSQ Total Symptoms

Audio Trip was well-tolerated, as there were no dropouts due to simulator sickness. Significant differences between genders were observed in SSQ total symptoms (oculomotor disorders + nausea + disorientation). Analysis of the results with the ANOVA test showed the size of changes in mean values for the SSQ total symptoms was $F_{2,86}=3.33$ ($P=.04$); however, after the first 30-minute session, all participants showed no significant change compared to premeasurements according to SSQ total symptoms results (Table 5 and Figure 6). One-way ANOVA showed no significant differences between the measurements for men ($P=.83$) and women ($P=.59$) before the first 30-minute exergame session and between the sessions.

The two 30-minute sessions of the exergame changed the SSQ profile only in the male group. The SSQ profile of males changed during the 3 measurements as follows (highest score to the smallest score): oculomotor disorders>nausea>disorientation before the first session, nausea>oculomotor disorders>disorientation between the 2 sessions, and nausea>oculomotor disorders>disorientation after the second session. However, the SSQ profile of the female group remained the same in every measurement, that is, before, between, and after the exergame sessions, as follows: oculomotor disorders>disorientation>nausea. The mean points for the SSQ profiles are described in Table 6.

Table 5. Gender differences in the simulator sickness questionnaire for the total symptoms during the 3 measurements.^a

Simulator sickness questionnaire on the total symptoms	Female group	Male group
Before the first 30-minute exergame session		
Average (SD)	15.47 (11.41)	13.65 (10.68)
Minimum points	0	0
Maximum points	48.62	33.66
Between the exergame sessions		
Average (SD)	21.93 (11.55)	13.01 (9.22)
Minimum points	0	0
Maximum points	52.36	33.66
After the second 30-minute exergame session		
Average (SD)	32.98 (17.30)	15.13 (16.60)
Minimum points	0	0
Maximum points	74.80	59.84

^a $F_{2,86}=3.33$; $P=.04$.

Figure 6. Gender differences in the total simulator sickness score during the three measurements. PRE: before the first 30-minute exergame session; INTER: between the exergame sessions; POST: after the second 30-minute exergame session; SSQ: Simulator Sickness Questionnaire.

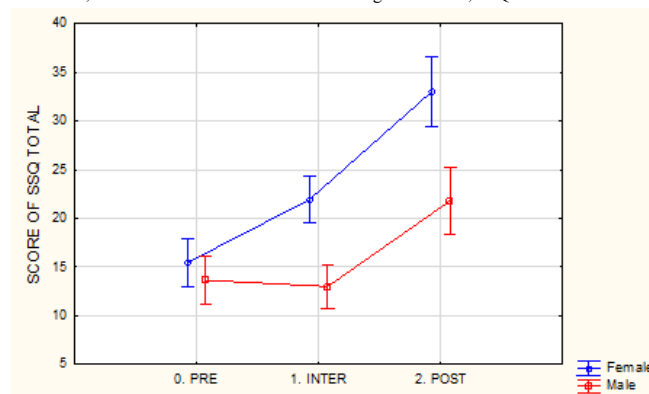


Table 6. Gender differences for the simulator sickness questionnaire profile during the 3 measurements.

Simulator sickness questionnaire profile	Female group	Male group
Before the first 30-minute exergame session (mean points)		
Oculomotor disorder	18.26	14.50
Nausea	9.54	10.37
Disorientation	11.39	7.87
Between the exergame sessions (mean points)		
Oculomotor disorder	22.74	11.21
Nausea	13.01	18.25
Disorientation	16.45	5.45
After the second 30-minute exergame session (mean points)		
Oculomotor disorder	34.11	21.09
Nausea	20.38	22.40
Disorientation	24.68	15.13

The Immersion Questionnaire

No significant differences between genders were observed in the Immersion Questionnaire score (Table 7 and Figure 7).

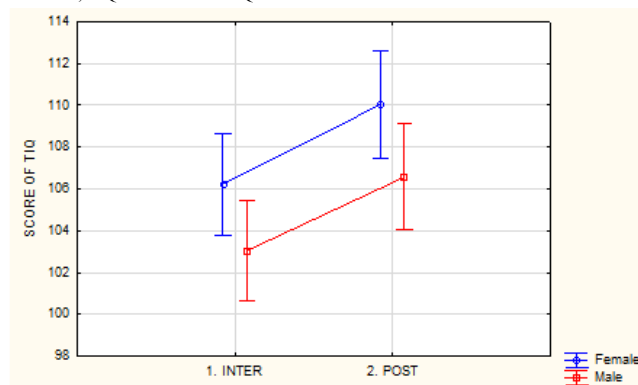
Analysis of the results with the ANOVA test shows the size of changes in the mean values for the Immersion Questionnaire score ($F_{1,43}=0.02$; $P=.89$).

Table 7. Gender differences in the immersion questionnaire during the 2 measurements.^a

Immersion questionnaire	Female group	Male group
Between the exergame sessions		
Average (SD)	106.23 (7.80)	103.04 (10.68)
Minimum points	72	78
Maximum points	121	121
After the second 30-minute exergame session		
Average (SD)	110.05 (11.06)	106.56 (10.83)
Minimum points	79	76
Maximum points	129	129

^a $F_{1,43}=0.02$; $P=.89$

Figure 7. Gender differences in the immersion questionnaire score during the two measurements. INTER: between the exergame sessions; POST: after the second 30-minute exergame session; TIQ: The Immersion Questionnaire.



BioHarness Measurements

A significant gender difference was observed in the average breathing rate ($F_{2,86}=1.44$; $P=.04$), maximum breathing rate

($F_{2,86}=1.15$; $P=.047$), and energy expenditure ($F_{2,86}=10.513$; $P=.001$) measurements (Table 8). No gender differences appeared in the average heart rate and maximum heart rate measurements in the two 30-minute sessions.

Table 8. Gender differences in the average heart rate, maximum heart rate, average breathing rate, maximum breathing rate, and energy expenditure during the 3 measurements.

BioHarness measurements	Female group	Male group	Interaction, F test (df)	P value
Average heart rate			0.19 (2,86)	.83
Before the first 30-minute exergame session	90.95	80.87		
Between the exergame sessions	142.72	129.86		
After the second 30-minute exergame session	144.68	133.56		
Maximum heart rate			0.29 (2,86)	.75
Before the first 30-minute exergame session	110.77	101.26		
Between the exergame sessions	171.82	158.17		
After the second 30-minute exergame session	172.77	160.52		
Average breathing rate			1.44 (2,86)	.04
Before the first 30-minute exergame session	14.50	12.91		
Between the exergame sessions	27.95	28.99		
After the second 30-minute exergame session	27.05	28.70		
Maximum breathing rate			1.15 (2,86)	.047
Before the first 30-minute exergame session	23.09	21.65		
Between the exergame sessions	37.27	35.04		
After the second 30-minute exergame session	36.27	36.65		
Energy expenditure			10.513 (2,86)	.001
Before the first 30-minute exergame session	33.82	39.47		
Between the exergame sessions	267.95	340.96		
After the second 30-minute exergame session	272.77	356.82		

Discussion

Principal Findings

Hypothesis 1: Audio Trip Exergame With Modern VR 3D HMD Would Result in Higher Cardiovascular Function in Men

The findings from this study provide support for our first hypothesis. A significant gender difference was observed in the average breathing rate ($F_{2,86}=1.44$; $P=.04$), maximum breathing rate ($F_{2,86}=1.15$; $P=.047$), and energy expenditure ($F_{2,86}=10.513$; $P=.001$) measurements. Seebauer et al [41] suggested that the effect of exercise intensity on the occurrence of coordination between breathing rate and rhythms of exercise differs between men and women. A similar mechanism could have occurred in our study due to the use of a rhythmic music game. During heavy exercise, tidal volume plateaus and increase in minute ventilation can only be reached via an increase in the breathing rates and energy expenditure. Interestingly, even though women have smaller lung volumes compared to men [42], in our study, men adjusted their breathing rates more during the whole exergame session. Trinschek et al [43] proved that men showed significantly higher values in cardiorespiratory variables (by 12%-34%) during the running treadmill test until exhaustion [43]. Men users feel more excited when they do something they like very much or want to achieve something and are forced to breathe more frequently during an exercise session [44]. Additionally, the frequency of breathing increases energy expenditure [45]. Breathing can also change in response to changes in emotions. Due to the physical activity, the attractiveness of the task, perceived competence, and autonomy concerning emotional experience are especially important aspects [46]. Although our study showed a prominent level of immersion, it can be assumed that satisfaction influenced the need to increase breathing in male users. The values of average heart rate and maximum heart rate showed no gender differences in both sessions because the groups were well-matched in terms of physical performance, as per the Ruffier Squat Test inclusion criterion in this study.

Hypothesis 2: Audio Trip Exergame With Modern VR 3D HMD Will Not Cause Simulator Sickness in Both Genders

The findings from our study provide partial support for our second hypothesis. There were statistical differences between the genders in both sessions: men were more resistant to simulator sickness than women. After two 30-minute sessions, there was a change in simulator sickness ($F_{2,86}=3.33$; $P=.04$); however, after the first 30-minute session, all participants showed no significant change compared to premeasurements according to SSQ total results. Although there is a lack of studies about gender imbalance in the susceptibility to simulator sickness in the context of modern HMDs, some studies do elucidate this point [23,24,47]. Female participants may experience discomfort only in specific conditions (movements in first-person perspective). Males and females may be sensitive to different features of the simulated environment and experience simulator sickness accordingly (females more for

2D environments, while males for 3D). Studies have shown the causes for simulator sickness in men and women, which are different by the type of the utilized HMD equipment and categories of VR content (female participants experienced more discomfort compared to males when exposed to highly emotional and arousing content) [22]. A systematic review on gender differences in VR HMD [23] showed that women are commonly more sensitive to simulator sickness when the realism of the content is low or when the game is highly emotional. Such an increase in SSQ total score in women can be partially explained that female users may be more willing to report distress and discomfort during the experiment [48]. This may be due to the social biological differences and social expectations [49]. The newest HMD technology can provide a more advantageous experience [27,50] and if this is combined with a careful selection of VR content, the risk of VR simulator sickness can be leveled off. Furthermore, Giammarco et al [51] suggested that gender differences in SSQ scores may be differentially related to gender differences in cognitive functions like spatial attention depending on the VR environment. Another aspect is that the VR HMD simulator sickness has been found to increase after 10 minutes [52]. Our study showed that only the second session (a total of 60 minutes of VR exergaming) of VR content caused statistically significant differences in simulator sickness. Therefore, the hypothesis was confirmed partially, because only the first 30-minute of the Audio Trip exergame will not cause simulator sickness in adults, which is a positive finding in the field of SSQ. A new type of VR HMD and appropriately selected content and intensity can help delay the appearance of the effects of simulator sickness for men and women, as shown in other VR studies [50,53]. Szpak et al [53] suggested that the exposure duration did not influence any visual measure, and observable changes in accommodation and vergence did occur within the first 10 minutes of VR exposure and did not significantly change for exposures up to 50 minutes. The results of our study should encourage men and women to try VR HMD exercise, without fearing that playing may have a high probability of causing them discomfort during 30 minutes of exergaming. The development of VR equipment and more modern games in the future should extend the effect of non-simulator sickness.

Hypothesis 3: Immersion Level is Gender Independent Regardless of the Playing Time

The findings from this study provide support for our third hypothesis. There were no gender differences in the level of immersion ($F_{1,43}=0.02$; $P=.90$) but the second 30-minute session showed an increase in the average points for both women and men. The increase in the level of immersion in the female group was higher than that in the male group. As we mentioned, immersion is one of the main factors required to enable the game users to perceive all aspects to create a real-life impression [16]. Studies until 2011 show that men are more frequent immersive users of VR devices. Men, regardless of their prior game experience, expressed more sensory immersion and more control over the environment than women. The golden period of VR was the year 2016. Since 2016, VR devices were contemporary and were found to be suitable for users (weightless, wireless, etc). Our study suggests that there are no

gender differences concerning the level of immersion with contemporary VR equipment (Oculus Quest) if the VR content is suitable for both genders. Our experiment was performed with physical education students who had not interacted with VR equipment or similar VR stimulation before, and we made sure that the content of the game was interesting for both genders (physical exercise for physical education students). Physical exergame content (Audio Trip) and technical capabilities (wireless HMD, hand controllers) can probably contribute to the reduction of gender differences.

Limitations

The first limitation in this study was the assessment of the breathing rate based on chest movements alone. Based upon the principle of a strain gauge sensor, thoracic expansion and contraction cause size differentials that induce changes in capacitance because of the resultant changes in impedance. The change in impedance is manifested as a change in the waveform signal amplitude represented as a sine wave with downward and upward deflections, indicating chest expansion (increased impedance) and contraction (decreased impedance), respectively [54]. Incorrect tension on the chest strap may prevent adequate sensor response to chest expansion and contraction [39]. To eliminate the effects of these variances, we recommend the use of additional tools such as spirometry for future studies measuring physiological effort and energy expenditure.

The second limitation in this study was the acceptance of the necessity to be a physical education student as one of the inclusion criteria in this study. The aim was to study the effects the VR 3D HMD exergame on fully healthy and fit people. This

allowed reducing the risk of the influence of other factors, for example, poor health, chronic diseases, and low endurance. In addition, what we tried to highlight in our study, which mattered the most, was the interest in the type of game and the gathering of the appropriate number of people for research who would meet the inclusion criteria, including the Ruffier Squat Test score. We chose people interested in sports by the type of studies selected (physical education students).

Conclusions

This study showed that a 30-minute session of the VR 3D HMD exergame does not cause simulator sickness and is a very immersive type of exercise for men and women users. This exergame gives the opportunity to reach the minimum recommendations for the amount of weekly physical activity for adults. The second exergame session resulted in simulator sickness in both groups, more noticeably in women, as indicated by the responses in the SSQ. Gender differences were observed in the breathing rate and energy expenditure measurements, and this information can be helpful when programming VR exergame intensities in future research. Our findings provide a foundation for future research on VR exergames with no simulator sickness but as a refreshing and an enjoyable type of exercise for male and female users. Motivating the public to be physically active is perhaps one of the most important and difficult tasks. Gamification of physical exercises can facilitate more weekly physical activity than that recommended by the World Health Organization for minimum weekly physical activity for adults. Future immersive exergaming concepts should focus on increasing the intensity while considering user susceptibility to simulator sickness.

Authors' Contributions

JC conducted the experimental procedure; wrote the manuscript; provided data for Tables 1-7, Figures 1-7, multimedia appendices, and TOC image; and conducted all the statistical analyses. MJ provided data for Table 8. JC, MJ, and JM reviewed the final manuscript.

Conflicts of Interest

None declared.

Multimedia Appendix 1

The simulator sickness questionnaire.

[\[DOCX File, 244 KB-Multimedia Appendix 1\]](#)

Multimedia Appendix 2

Audio Trip virtual reality tutorial video.

[\[MP4 File \(MP4 Video\), 19379 KB-Multimedia Appendix 2\]](#)

References

1. Dunstan D, Howard B, Healy GN, Owen N. Too much sitting—a health hazard. *Diabetes Res Clin Pract* 2012 Sep;97(3):368-376. [doi: [10.1016/j.diabres.2012.05.020](https://doi.org/10.1016/j.diabres.2012.05.020)] [Medline: [22682948](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22682948/)]
2. Grøntved A, Hu FB. Television viewing and risk of type 2 diabetes, cardiovascular disease, and all-cause mortality: a meta-analysis. *JAMA* 2011 Jun 15;305(23):2448-2455 [FREE Full text] [doi: [10.1001/jama.2011.812](https://doi.org/10.1001/jama.2011.812)] [Medline: [21673296](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21673296/)]
3. Thorp AA, Owen N, Neuhaus M, Dunstan DW. Sedentary behaviors and subsequent health outcomes in adults: a systematic review of longitudinal studies, 1996-2011. *Am J Prev Med* 2011 Aug;41(2):207-215. [doi: [10.1016/j.amepre.2011.05.004](https://doi.org/10.1016/j.amepre.2011.05.004)] [Medline: [21767729](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21767729/)]

4. Jezewska-Zychowicz M, Gębski J, Guzek D, Świątkowska M, Stangierska D, Plichta M, et al. The Associations between Dietary Patterns and Sedentary Behaviors in Polish Adults (LifeStyle Study). *Nutrients* 2018 Aug 01;10(8):1004 [FREE Full text] [doi: [10.3390/nu10081004](https://doi.org/10.3390/nu10081004)] [Medline: [30071656](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30071656/)]
5. Adamczyk J, Celka R, Stemplewski R, Ceynowa K, Kamińska P, Maciaszek J. The Impact of 12-Week Jaques-Dalcroze Eurhythmics Programme on the Dynamic Agility in Single-Dual-Task Conditions in Older Women: A Randomized Controlled Trial. *Biomed Res Int* 2020 Jul 01;2020:9080697 [FREE Full text] [doi: [10.1155/2020/9080697](https://doi.org/10.1155/2020/9080697)] [Medline: [32714989](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32714989/)]
6. Ratajczak M, Skrypnik D, Bogdański P, Mądry E, Walkowiak J, Szulińska M, et al. Effects of Endurance and Endurance-Strength Training on Endothelial Function in Women with Obesity: A Randomized Trial. *Int J Environ Res Public Health* 2019 Nov 05;16(21):4291 [FREE Full text] [doi: [10.3390/ijerph16214291](https://doi.org/10.3390/ijerph16214291)] [Medline: [31694237](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31694237/)]
7. Guidelines on physical activity, sedentary behaviour and sleep for children under 5 years of age. World Health Organization. 2019. URL: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/311664> [accessed 2020-12-12]
8. Althoff T, Sosič R, Hicks JL, King AC, Delp SL, Leskovec J. Large-scale physical activity data reveal worldwide activity inequality. *Nature* 2017 Jul 20;547(7663):336-339 [FREE Full text] [doi: [10.1038/nature23018](https://doi.org/10.1038/nature23018)] [Medline: [28693034](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28693034/)]
9. UNESCO. Final report MINEPS VI. 2017 Presented at: International Conference of Ministers and Senior Officials Responsible for Physical Education and Sport, 6th, Kazan, Russian Federation, 2017; September; Kazan URL: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000259362>
10. DeWolfe CEJ, Watt MC, Romero-Sanchiz P, Stewart SH. Gender differences in physical activity are partially explained by anxiety sensitivity in post-secondary students. *J Am Coll Health* 2020 Apr;68(3):219-222. [doi: [10.1080/07448481.2018.1549048](https://doi.org/10.1080/07448481.2018.1549048)] [Medline: [30645185](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30645185/)]
11. Guthold R, Stevens GA, Riley LM, Bull FC. Worldwide trends in insufficient physical activity from 2001 to 2016: a pooled analysis of 358 population-based surveys with 1.9 million participants. *Lancet Glob Health* 2018 Oct;6(10):e1077-e1086 [FREE Full text] [doi: [10.1016/S2214-109X\(18\)30357-7](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(18)30357-7)] [Medline: [30193830](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30193830/)]
12. Cam H, Nur N. A Study on the prevalence of Internet addiction and its association with psychopathological symptoms and obesity in adolescents. *TAF Prev Med Bull* 2015;14(3):181. [doi: [10.5455/pmb.20141016033204](https://doi.org/10.5455/pmb.20141016033204)]
13. Matsui H, Sugiura J, Kikkawa T. The Current Status of Japanese Game Players and Its Impact on the Society. *Translational Systems Sciences* 2022:73-89. [doi: [10.1007/978-981-19-0348-9_5](https://doi.org/10.1007/978-981-19-0348-9_5)]
14. Lopez-Fernandez O, Williams JA, Griffiths MD, Kuss DJ. Female Gaming, Gaming Addiction, and the Role of Women Within Gaming Culture: A Narrative Literature Review. *Front Psychiatry* 2019;10:454 [FREE Full text] [doi: [10.3389/fpsy.2019.00454](https://doi.org/10.3389/fpsy.2019.00454)] [Medline: [31354536](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31354536/)]
15. Mouatt B, Smith AE, Mellow ML, Parfitt G, Smith RT, Stanton TR. The use of virtual reality to influence engagement and enjoyment during exercise: A scoping review. *Journal of Science and Medicine in Sport* 2019 Oct;22:S98 [FREE Full text] [doi: [10.1016/j.jsams.2019.08.124](https://doi.org/10.1016/j.jsams.2019.08.124)]
16. Slater M, Wilbur S. A Framework for Immersive Virtual Environments (FIVE): Speculations on the Role of Presence in Virtual Environments. *Presence: Teleoperators & Virtual Environments* 1997 Dec;6(6):603-616. [doi: [10.1162/pres.1997.6.6.603](https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.6.603)]
17. Lombard M. Direct Responses to People on the Screen: Television and Personal Space. *Communication Research* 2016 Jun 29;22(3):288-324. [doi: [10.1177/009365095022003002](https://doi.org/10.1177/009365095022003002)]
18. Lachlan K, Kremer M. Experiencing Presence in Video Games: The Role of Presence Tendencies, Game Experience, Gender, and Time Spent in Play. *Communication Research Reports* 2011 Feb 02;28(1):27-31. [doi: [10.1080/08824096.2010.518924](https://doi.org/10.1080/08824096.2010.518924)]
19. Slater M, Steed A, McCarthy J, Maringelli F. The influence of body movement on subjective presence in virtual environments. *Hum Factors* 1998 Sep;40(3):469-477. [doi: [10.1518/001872098779591368](https://doi.org/10.1518/001872098779591368)] [Medline: [9849105](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9849105/)]
20. Oh Y, Yang S. University of Wisconsin-Madison. 2010. URL: https://meaningfulplay.msu.edu/proceedings2010/mp2010_paper_63.pdf [accessed 2022-11-16]
21. Al Zayer M, Adhanom IB, MacNeilage P, Folmer E. The effect of field-of-view restriction on sex bias in VR sickness and spatial navigation performance. 2019 Presented at: CHI Conference on Human Factors in Computing Systems; May; Glasgow p. 1-12. [doi: [10.1145/3290605.3300584](https://doi.org/10.1145/3290605.3300584)]
22. Gaggioli A. An Open Research Community for Studying Virtual Reality Experience. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking* 2017 Feb;20(2):138-139. [doi: [10.1089/cyber.2017.29063.esi](https://doi.org/10.1089/cyber.2017.29063.esi)]
23. Grassini S, Laumann K. Are Modern Head-Mounted Displays Sexist? A Systematic Review on Gender Differences in HMD-Mediated Virtual Reality. *Front Psychol* 2020;11:1604 [FREE Full text] [doi: [10.3389/fpsyg.2020.01604](https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01604)] [Medline: [32903791](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32903791/)]
24. Munafo J, Diedrick M, Stoffregen TA. The virtual reality head-mounted display Oculus Rift induces motion sickness and is sexist in its effects. *Exp Brain Res* 2017 Mar;235(3):889-901. [doi: [10.1007/s00221-016-4846-7](https://doi.org/10.1007/s00221-016-4846-7)] [Medline: [27915367](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27915367/)]
25. Feodoroff B, Konstantinidis I, Froböse I. Effects of Full Body Exergaming in Virtual Reality on Cardiovascular and Muscular Parameters: Cross-Sectional Experiment. *JMIR Serious Games* 2019 Aug 28;7(3):e12324 [FREE Full text] [doi: [10.2196/12324](https://doi.org/10.2196/12324)] [Medline: [31464194](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31464194/)]

26. Perrin T, Faure C, Nay K, Cattozzo G, Sorel A, Kulpa R, et al. Virtual Reality Gaming Elevates Heart Rate but Not Energy Expenditure Compared to Conventional Exercise in Adult Males. *Int J Environ Res Public Health* 2019 Nov 11;16(22):4406 [FREE Full text] [doi: [10.3390/ijerph16224406](https://doi.org/10.3390/ijerph16224406)] [Medline: [31717971](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31717971/)]
27. Xu W, Liang H, Baghaei N, Ma X, Yu K, Meng X, et al. Effects of an Immersive Virtual Reality Exergame on University Students' Anxiety, Depression, and Perceived Stress: Pilot Feasibility and Usability Study. *JMIR Serious Games* 2021 Nov 22;9(4):e29330 [FREE Full text] [doi: [10.2196/29330](https://doi.org/10.2196/29330)] [Medline: [34813487](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34813487/)]
28. Audio Trip press kit. Andromeda Entertainment. URL: <https://www.enterandromeda.com/at-presskit> [accessed 2020-12-12]
29. Walch M, Frommel J, Rogers K, Schüssel F, Hock P, Döbelstein D, et al. Evaluating VR driving simulation from a player experience perspective. 2017 Presented at: The CHI Conference Extended Abstracts On Human Factors In Computing Systems; May 06-11; Denver, CO, USA p. 1-8. [doi: [10.1145/3027063.3053202](https://doi.org/10.1145/3027063.3053202)]
30. Kennedy RS, Lane NE, Berbaum KS, Lilienthal MG. Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness. *The International Journal of Aviation Psychology* 2009 Nov 13;203-220 [FREE Full text] [doi: [10.1207/s15327108ijap0303_3](https://doi.org/10.1207/s15327108ijap0303_3)]
31. Biernacki MP, Kennedy RS, Dziuda Ł. Simulator sickness and its measurement with Simulator Sickness Questionnaire. *Medycyna Pracy* 2016;67(4):545-555 [FREE Full text] [doi: [10.13075/mp.5893.00512](https://doi.org/10.13075/mp.5893.00512)]
32. Jennett C, Cox AL, Cairns P, Dhopee S, Epps A, Tijs T, et al. Measuring and defining the experience of immersion in games. *International Journal of Human-Computer Studies* 2008 Sep;66(9):641-661. [doi: [10.1016/j.ijhcs.2008.04.004](https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2008.04.004)]
33. Strojny P, Strojny A. The Immersion Questionnaire: Polish adaptation and empirical verification of the scale. *Homo Ludens*. 2014. URL: https://www.researchgate.net/publication/276905865_The_Immersion_Questionnaire_-_Polish_adaptation_and_empirical_verification_of_the_scale [accessed 2022-11-16]
34. Michailidis L, Balaguer-Ballester E, He X. Flow and Immersion in Video Games: The Aftermath of a Conceptual Challenge. *Front Psychol* 2018;9:1682 [FREE Full text] [doi: [10.3389/fpsyg.2018.01682](https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01682)] [Medline: [30233477](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30233477/)]
35. Mochocki M. Heritage Sites and Video Games: Questions of Authenticity and Immersion. *Games And Culture* 2021;16(8):951-977 [FREE Full text] [doi: [10.1177/15554120211005369](https://doi.org/10.1177/15554120211005369)]
36. Škola F, Rizvić S, Cozza M, Barbieri L, Bruno F, Skarlatos D, et al. Virtual Reality with 360-Video Storytelling in Cultural Heritage: Study of Presence, Engagement, and Immersion. *Sensors (Basel)* 2020 Oct 16;20(20):5851 [FREE Full text] [doi: [10.3390/s20205851](https://doi.org/10.3390/s20205851)] [Medline: [33081154](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33081154/)]
37. Xiaoqing Fu J. The Influence of Background Music of Video Games on Immersion. *J Psychol Psychother* 2015;05:4 [FREE Full text] [doi: [10.4172/2161-0487.1000191](https://doi.org/10.4172/2161-0487.1000191)]
38. Dużmańska N, Strojny P, Strojny A. Can Simulator Sickness Be Avoided? A Review on Temporal Aspects of Simulator Sickness. *Front Psychol* 2018;9:2132 [FREE Full text] [doi: [10.3389/fpsyg.2018.02132](https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02132)] [Medline: [30459688](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30459688/)]
39. User manual. Zephyr BioHarness 3. URL: <https://www.zephyranywhere.com/> [accessed 2021-12-12]
40. Richet X, Ruffier J. Faut-il avoir peur des usines chinoises? Compétitivité et pérennité de "l'atelier du monde". *China Perspectives* 2007 Sep 15;2007(3):3. [doi: [10.4000/chinaperspectives.2433](https://doi.org/10.4000/chinaperspectives.2433)]
41. Seebauer M, Sidler MA, Kohl J. Gender Differences in Workload Effect on Coordination between Breathing and Cycling. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 2003;35(3):495-499. [doi: [10.1249/01.mss.0000053657.42138.3f](https://doi.org/10.1249/01.mss.0000053657.42138.3f)]
42. No Authors. Lung function testing: selection of reference values and interpretative strategies. *American Thoracic Society. Am Rev Respir Dis* 1991 Nov;144(5):1202-1218. [doi: [10.1164/ajrccm/144.5.1202](https://doi.org/10.1164/ajrccm/144.5.1202)] [Medline: [1952453](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1952453/)]
43. Trinschek J, Zieliński J, Zarębska EA, Kusy K. Male and female athletes matched for maximum oxygen uptake per skeletal muscle mass: equal but still different. *J Sports Med Phys Fitness* 2022 Mar 01;1-5 [FREE Full text] [doi: [10.23736/S0022-4707.22.13605-4](https://doi.org/10.23736/S0022-4707.22.13605-4)] [Medline: [35230070](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35230070/)]
44. Boiten FA. The effects of emotional behaviour on components of the respiratory cycle. *Biological Psychology* 1998 Sep;49(1-2):29-51. [doi: [10.1016/s0301-0511\(98\)00025-8](https://doi.org/10.1016/s0301-0511(98)00025-8)]
45. Telles S, Singh N. High frequency yoga breathing increases energy -expenditure from carbohydrates. Comment to: Assessment of sleep patterns, energy expenditure and circadian rhythms of skin temperature in patients with acute coronary syndrome Hadil Al Otair, Mustafa Al-shamiri, Mohammed Bahobail, Munir M. Sharif, Ahmed S. BaHammam *Med Sci Monit*, 2011; 17(7): CR397-403. *Med Sci Monit* 2011 Sep;17(9):LE7-LE8. [doi: [10.12659/msm.881916](https://doi.org/10.12659/msm.881916)] [Medline: [21873954](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21873954/)]
46. Leisterer S, Jekauc D. Students' Emotional Experience in Physical Education-A Qualitative Study for New Theoretical Insights. *Sports (Basel)* 2019 Jan 03;7(1):10 [FREE Full text] [doi: [10.3390/sports7010010](https://doi.org/10.3390/sports7010010)] [Medline: [30609809](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30609809/)]
47. Boyd D. Is the Oculus Rift sexist? *Quartz*. 2014 Mar 28. URL: <http://qz.com/192874/is-the-oculus-rift-designed-to-be-sexist/> [accessed 2021-12-12]
48. Meulders A, Vansteenwegen D, Vlaeyen JWS. Women, but not men, report increasingly more pain during repeated (un)predictable painful electrocutaneous stimulation: Evidence for mediation by fear of pain. *Pain* 2012 May;153(5):1030-1041. [doi: [10.1016/j.pain.2012.02.005](https://doi.org/10.1016/j.pain.2012.02.005)] [Medline: [22401700](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22401700/)]
49. Barsky AJ, Peekna HM, Borus JF. Somatic symptom reporting in women and men. *J Gen Intern Med* 2001 Apr;16(4):266-275 [FREE Full text] [Medline: [11318929](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/11318929/)]

50. Kourtis P, Collina S, Doumas LAA, MacPherson SE. Technological Competence Is a Pre-condition for Effective Implementation of Virtual Reality Head Mounted Displays in Human Neuroscience: A Technological Review and Meta-Analysis. *Front Hum Neurosci* 2019;13:342 [FREE Full text] [doi: [10.3389/fnhum.2019.00342](https://doi.org/10.3389/fnhum.2019.00342)] [Medline: [31632256](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31632256/)]
51. Giammarco EA, Schneider TJ, Carswell JJ, Knipe WS. Video game preferences and their relation to career interests. *Personality and Individual Differences* 2015 Jan;73:98-104. [doi: [10.1016/j.paid.2014.09.036](https://doi.org/10.1016/j.paid.2014.09.036)]
52. Moss JD, Muth ER. Characteristics of head-mounted displays and their effects on simulator sickness. *Hum Factors* 2011 Jun;53(3):308-319. [doi: [10.1177/0018720811405196](https://doi.org/10.1177/0018720811405196)] [Medline: [21830515](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21830515/)]
53. Szpak A, Michalski SC, Loetscher T. Exergaming With Beat Saber: An Investigation of Virtual Reality Aftereffects. *J Med Internet Res* 2020 Oct 23;22(10):e19840 [FREE Full text] [doi: [10.2196/19840](https://doi.org/10.2196/19840)] [Medline: [33095182](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33095182/)]
54. Robergs R, Landwehr R. THE SURPRISING HISTORY OF THE “HRmax=220-age” EQUATION. *J Exer Physiol Online* 2002;5(2):1-10. [doi: [10.1163/2352-0272_emho_dum_023107](https://doi.org/10.1163/2352-0272_emho_dum_023107)]

Abbreviations

ANOVA: analysis of variance
HMD: head-mounted display
SSQ: Simulator Sickness Questionnaire
VR: virtual reality

Edited by N Zary, G Eysenbach; submitted 19.07.22; peer-reviewed by B Feodoroff, HN Liang; comments to author 25.08.22; revised version received 30.08.22; accepted 31.10.22; published 29.11.22

Please cite as:

Ciężyńska J, Janowski M, Maciaszek J
Effects of a Modern Virtual Reality 3D Head-Mounted Display Exergame on Simulator Sickness and Immersion Under Specific Conditions in Young Women and Men: Experimental Study
JMIR Serious Games 2022;10(4):e41234
URL: <https://games.jmir.org/2022/4/e41234>
doi: [10.2196/41234](https://doi.org/10.2196/41234)
PMID: [36445744](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36445744/)

©Julia Ciężyńska, Michał Janowski, Janusz Maciaszek. Originally published in JMIR Serious Games (<https://games.jmir.org>), 29.11.2022. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work, first published in JMIR Serious Games, is properly cited. The complete bibliographic information, a link to the original publication on <https://games.jmir.org>, as well as this copyright and license information must be included.



prof. dr hab. Janusz Maciaszek

Urodzony w 1967 r. w Poznaniu. Zatrudniony w Zakładzie Nauk o Aktywności Fizycznej i Promocji Zdrowia w AWF w Poznaniu. Zainteresowania naukowe: znaczenie nadmiernej szczupłości, otyłości i aktywności fizycznej dla sprawności fizycznej, wpływ deprywacji snu na sprawność funkcjonalną, wpływ treningu fizycznego tai-chi na sprawność funkcjonalną mężczyzn w wieku starszym, pacjentów z osteoporozą, nadciśnieniem, hiperglikemią.



mgr Julia Ciężyńska

Urodzona w 1993 r. w Poznaniu. Absolwentka AWF w Poznaniu, magister dietetyki o profilaktyce żywieniowej w aktywności fizycznej oraz magister wychowania fizycznego. Zatrudniona w Zakładzie Nauk o Aktywności Fizycznej i Promocji Zdrowia w AWF w Poznaniu. Instruktorka tenisa ziemnego oraz trenerka fitnessu. Zainteresowania naukowe: aktywność fizyczna w środowisku VR (virtual reality), wykorzystanie exergames w promocji zdrowia.

