

Marzena Malińska
Krystyna Zużewicz
Joanna Bugajska
Andrzej Grabowski

SUBIEKTYWNE ODCZUCIA WSKAZUJĄCE NA WYSTĘPOWANIE CHOROBY SYMULATOROWEJ I ZMĘCZENIE PO EKSPOZYCJI NA RZECZYWISTOŚĆ WIRTUALNĄ

SUBJECTIVE SENSATIONS INDICATING SIMULATOR SICKNESS AND FATIGUE AFTER EXPOSURE TO VIRTUAL REALITY

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy / Central Institute for Labour Protection –
National Research Institute, Warszawa, Poland
Zakład Ergonomii / Department of Ergonomics

STRESZCZENIE

Wstęp: Celem pracy była ocena występowania i nasilenia subiektywnych objawów wskazujących na występowanie choroby symulatorowej u osób bez skłonności do choroby lokomocyjnej, których zanurzenie w rzeczywistości wirtualnej (virtual reality – VR) polegało na oglądaniu godzinnego fragmentu filmu w wersji stereoskopowej (three-dimensional – 3D) i niestereoskopowej (two-dimensional – 2D) oraz uczestnictwie w godzinnym szkoleniu z wykorzystaniem rzeczywistości wirtualnej, nazwanym sVR. **Materiał i metody:** W badaniach uczestniczyło 20 zdrowych młodych mężczyzn niemających skłonności do choroby lokomocyjnej. Subiektywne odczucia uczestników, wskazujące na występowanie objawów choroby symulatorowej, oceniano na podstawie kwestionariusza wypełnianego 3-krotnie po badaniu: bezpośrednio oraz 20 min i 24 godz. po nim. Do oceny zmęczenia i nastroju zastosowano skalę Grandjeana. **Wyniki:** Wszystkie z 8 analizowanych objawów zaobserwowano tylko bezpośrednio po sVR. Stopień ich nasilenia był większy niż po obejrzeniu filmu w obu wersjach – 2D i 3D. Stwierdzono istotny związek występowania bólu oczu z rodzajem ekspozycji 2D, 3D i sVR ($\chi^2_{(2)} = 6,225; p \leq 0,05$) oraz związek wzmożonej potliwości po emisji filmu 3D i sVR ($\chi^2_{(1)} = 9,173; p \leq 0,01$). Niektóre objawy obserwowano jeszcze po upływie 20 min, szczególnie po sVR. Porównanie wyników skali Grandjeana przed szkoleniem i po nim w obsłudze wirtualnego stanowiska pracy wykazało istotność różnic dla 11 spośród 14 podskal. Przed filmem w wersji 3D i po nim różnica była istotna tylko dla podskali ‘wypoczęty – zmęczony’ ($Z = 2,501; p \leq 0,012$) w kierunku zmęczony. **Wniosek:** U osób z potwierdzonym brakiem skłonności do choroby lokomocyjnej trudno na podstawie subiektywnych odczuć dyskomfortu po obejrzeniu filmu w wersji 2D i 3D przewidzieć objawy choroby symulatorowej, mogące wystąpić po szkoleniu z użyciem wirtualnego stanowiska pracy. Med. Pr. 2014;65(3):361–371

Słowa kluczowe: choroba symulatorowa, film stereoskopowy, film niestereoskopowy, rzeczywistość wirtualna

ABSTRACT

Background: The study assessed the incidence and intensity of subjective symptoms indicating simulator sickness among the persons with no inclination to motion sickness, immersed in virtual reality (VR) by watching an hour long movie in the stereoscopic (three-dimensional – 3D) and non-stereoscopic (two-dimensional – 2D) versions and after an hour long training using virtual reality, called sVR. **Material and Methods:** The sample comprised 20 healthy young men with no inclination to motion sickness. The participants' subjective sensations, indicating symptoms of simulator sickness were assessed using the questionnaire completed by the participants immediately, 20 min and 24 h following the test. Grandjean's scale was used to assess fatigue and mood. **Results:** The symptoms were observed immediately after the exposure to sVR. Their intensity was higher than after watching the 2D and 3D movies. A significant relationship was found between the eye pain and the type of exposure (2D, 3D and sVR) ($\chi^2_{(2)} = 6.225, p \leq 0.05$); the relationship between excessive perspiration and the exposure to 3D movie and sVR was also noted ($\chi^2_{(1)} = 9.173, p \leq 0.01$). Some symptoms were still observed 20 min after exposure to sVR. The comparison of Grandjean's scale results before and after the training in sVR handling showed significant differences in 11 out of 14 subscales. Before and after exposure to 3D movie, the differences were significant only for the “tired-fatigued” subscale ($Z = 2.501, p \leq 0.012$) in favor of “fatigued”. **Conclusion:** Based on the subjective sensation of discomfort after watching 2D and 3D movies it is impossible to predict symptoms of simulator sickness after training using sVR. Med Pr 2014;65(3):361–371

Key words: simulator sickness, stereoscopic movie, non-stereoscopic movie, virtual reality

Autorka do korespondencji / Corresponding author: Marzena Malińska, Zakład Ergonomii, Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa, e-mail: mamal@ciop.pl
Nadesłano: 4 października 2013, zatwierdzono: 6 maja 2014

WSTĘP

Techniki rzeczywistości wirtualnej (virtual reality – VR) mają coraz szersze zastosowanie w życiu codziennym i środowisku pracy, głównie w celach szkoleniowych. Dzięki nim pracownicy mogą m.in. doskonalić umiejętności na stanowiskach operatorskich, na których popełnienie błędu wiąże się z ryzykiem wypadku, stratami materialnymi lub uszczerbkiem na zdrowiu. Techniki VR mają także zastosowanie w przemyśle, w symulatorach różnego typu pojazdów (1) oraz w życiu codziennym, gdzie kontakt z rzeczywistością wirtualną jest związany głównie z oglądaniem filmów w wersji stereoskopowej (three-dimensional – 3D) w kinie lub telewizji oraz z korzystaniem z gier komputerowych.

Coraz większa liczba użytkowników sprzętu wykorzystującego techniki rzeczywistości wirtualnej sprawia, że pojawia się pytanie, czy techniki te wpływają na funkcjonowanie organizmu człowieka. Symulacja ruchu u osoby nieruchomo oglądającej film stereoskopowy (3D) wywołuje złudzenie ruchu związane z odbiorem przez mózg sygnałów odmiennych niż w ruchu rzeczywistym. Sygnały płynące z narządu przedsionkowego, narządu wzroku i receptorów czuciowych nie odpowiadają wzorcowi zapamiętanemu i utrwalonemu w mózgu podczas ruchu rzeczywistego. W trakcie ekspozycji na 3D jest odbierana głównie wzrokowa informacja o ruchu (np. o zmianie położenia, przyspieszenia, odległości). Jej podstawą jest obraz, w którym wykorzystuje się m.in. złudzenia analogiczne do stosowanych w malarstwie (perspektywa, światłocien). Na głębokość zanurzenia w VR ma w tym przypadku wpływ np. wielkość ekranu i możliwość przenoszenia wzroku na otaczające środowisko rzeczywiste, płynność i jakość obrazu (2).

Niezgodność zapamiętanych w mózgu schematów reakcji na ruch rzeczywisty z odczuciami złudzenia ruchu wywołanego obrazem stereoskopowym prowadzi do konfliktu przekładającego się na reakcje fizjologiczne człowieka (3). Symulowany ruch może powodować m.in. zaburzenia percepcji wzrokowej, równowagi i koordynacji wzrokowo-ruchowej oraz wahania nastroju. Obserwowany jest dyskomfort związany z funkcjonowaniem układu pokarmowego, a także zmiany w równowadze sympatycznej autonomicznej układu nerwowego (4,5).

U osób eksponowanych na rzeczywistość wirtualną mogą się pojawiać objawy charakterystyczne dla choroby lokomocyjnej, określane terminem choroby symulatorowej. W piśmiennictwie angielskim występuje ona jako symulator sickness, induced sickness, motion sickness induced by virtual reality, cybersickness (4–8).

U osób szczególnie wrażliwych wielogodzinne zanurzenie w VR – np. podczas oglądania obrazu stereoskopowego (3D) lub szkoleń i treningów zawodowych z wykorzystaniem różnego typu symulatorów ruchu (obraz w wersji niestereoskopowej (two-dimensional – 2D) i 3D) – może po kilku godzinach wywołać nawet zaburzenia oceny odległości i pola widzenia oraz złudzenie ruchu. W przypadku kierowców pojazdów czy operatorów urządzeń w ruchu (np. operatorów koparki lub wózka widłowego) może to zwiększać ryzyko wypadku (9,10).

Celem niniejszej pracy była ocena występowania i stopnia nasilenia subiektywnych objawów wskazujących na występowanie choroby symulatorowej u osób bez skłonności do choroby lokomocyjnej. Ich zanurzenie w rzeczywistości wirtualnej polegało na godzinnym oglądaniu fragmentu filmu w wersji 3D i 2D oraz uczestniczeniu w godzinnym szkoleniu (sVR). Badani przed badaniem i po jego zakończeniu dokonywali subiektywnej oceny zmęczenia i nastroju.

MATERIAŁ I METODY

Uczestnicy badania

Badanie przeprowadzono w grupie 20 młodych, zdrowych mężczyzn w wieku 19–25 lat (średnia: 21,6, odchylenie standardowe: = 2,2). Wykształcenie średnie miało 80% osób, a wyższe – 20%.

Uważa się, że objawy choroby symulatorowej wywołanej złudzeniem ruchu w VR częściej występują u osób ze skłonnością do choroby lokomocyjnej związanej z ruchem rzeczywistym, stąd wszystkich uczestników poddano próbie Coriolisa, pozwalającej na zwerifikowanie indywidualnych skłonności do tej choroby. Warunkiem uczestnictwa w badaniu był brak zarówno skłonności do choroby lokomocyjnej, jak i objawów zażębienia (kataru, bólu głowy lub gardła).

Trzy godziny przed badaniem, a także 24 godz. po jego zakończeniu uczestnicy mieli przestrzegać zakazu spożywania używek. Ponadto byli proszeni o spożycie przed badaniem lekkiego posiłku (śniadania) oraz o sen zapewniający prawidłowy wypoczynek przed badaniem.

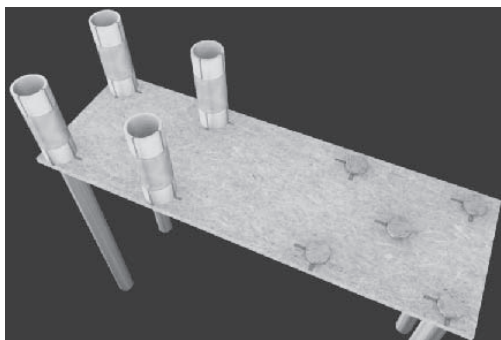
Przed przystąpieniem do badań w dniu 27 września 2012 r. uzyskano pozytywną opinię Komisji ds. Etyki w Badaniach Naukowych w Wojskowym Instytucie Higieny i Epidemiologii.

Przebieg badań

W pierwszym etapie badań ochotnicy oglądali godzinny fragment filmu „Avatar” (reż. James Cameron, 2009), wybranego ze względu na występowanie

w nim obrazów szczególnie dobrze eksponujących efekt stereoskopowy. Wszystkie badane osoby, w losowej kolejności, z odstępem kilkudniowym, oglądały ten sam fragment filmu w 2 wersjach – stereoskopowej (3D) i niestereoskopowej (2D).

Drugim etapem było szkolenie polegające na wykonaniu przez uczestników czynności operatorskich na wirtualnym stanowisku pracy. Jedna osoba została wyłączona z dalszych badań ze względów zdrowotnych, dlatego w tym etapie uczestniczyło 19 osób. Wszyscy badani wykonywali tę samą, prostą pracę manualną, polegającą na ustawieniu na stole roboczym elementów w odpowiednim miejscu poprzez dopasowanie ich do wzorca. Elementy miały kształt cylindra o wysokości 25 cm i średnicy 8,5 cm. Na każdym cylindrze znajdowały się 2 czerwone linie pionowe, które uczestnicy mieli dopasować do takich samych linii na stole (fot. 1). Zadaniem badanych było wykonanie czynności precyzyjnie i w jak najkrótszym czasie.



Fot. 1. Wirtualne stanowisko pracy – 2. etap badania
Photo 1. Virtual workstation – the 2nd stage of the study

W jednym cyklu symulowanej pracy było wymagane wykonanie następujących czynności:

- przeniesienie wszystkich elementów z lewej części stołu na prawą i dopasowanie znaczników umieszczonych na cylindrach do znaczników znajdujących się na blacie stołu,
- wciśnięcie (wirtualnego) przycisku znajdującego się na środku blatu stołu,
- przeniesienie wszystkich elementów z prawej części stołu na lewą i dopasowanie znaczników umieszczonych na cylindrach do znaczników znajdujących się na blacie stołu,
- wciśnięcie (wirtualnego) przycisku znajdującego się na środku blatu stołu.

Badania poprzedzał około 10-minutowy trening, którego celem było zaznajomienie uczestników ze środowiskiem wirtualnym i zastosowaną aparaturą.

W pierwszym i drugim etapie badania schemat postępowania był następujący:

- zapoznanie się z informacją o przebiegu badania, wypełnienie formularza świadomej zgody na uczestnictwo w badaniach,
- wypełnienie kwestionariuszy (ankieta osobowa, skala Grandjeana),
- obejrzenie godzinowego fragmentu filmu w wersji 3D i 2D – pierwszy etap, oraz odbycie godzinowego szkolenia (sVR) – drugi etap,
- badanie kwestionariuszowe (dotyczące subiektywnych odczuć wskazujących na występowanie choroby symulatorowej, skala Grandjeana) bezpośrednio po ekspozycji na 2D, 3D oraz po sVR,
- ponowne wypełnienie kwestionariusza po 20 min oraz do 24 godz. od zakończenia badania (w ostatnim przypadku drogą mailową).

Badania przeprowadzano w klimatyzowanym pomieszczeniu (temperatura ok. 23°C), o stałej porze dnia (godziny poranne). Czas każdego etapu badania (film 3D/2D, szkolenie sVR) wynosił około 2 godz. Badania odbywały się w obecności osoby nadzorującej ich przebieg. Na życzenie uczestnika mogły zostać przerwane w dowolnym momencie.

Aparatura

Pomieszczenie, w którym przeprowadzano badania, zostało wyposażone w:

- projektor JVC DLA-X3 (prod. JVC, Japonia) – umożliwiający wyświetlanie na ekranie obrazu stereoskopowego w rozdzielczości 1920×1080 pkt z częstotliwością 120 Hz (najczęściej spotykaną częstotliwością odświeżenia obrazu w przypadku sprzętu – monitorów, projektorów – prezentującego obraz stereoskopowy, większość telewizorów ma wyższą częstotliwość odświeżania);
- ekran projekcyjny AVTek typ 300B (prod. AVTek, Chiny) – służący do prezentacji filmu w wersji stereoskopowej i niestereoskopowej;
- bezprzewodowe okulary migawkowe (Nvidia 3D vision 3D glasses) (prod. Nvidia, Niemcy) z odbiornikiem podczerwieni (IR – Infra Red) – zsynchronizowane z projektorem za pomocą nadajnika IR, umożliwiające oglądanie obrazu stereoskopowego poprzez generowanie 2 inaczej spolaryzowanych, nałożonych na siebie obrazów;
- parę inforekawic DgTech (DG5 VHand) (prod. DgTech, Włochy) – z 5 sensorami ugięcia umożliwiającymi rejestrację informacji o poziomie zgięcia wszystkich palców dłoni; inforekawice wzbogacono

o sensor z systemu śledzenia, który daje możliwość poprawnego odtworzenia awatarów dłoni w wirtualnym środowisku oraz interakcji osoby szkolonej z wirtualnym środowiskiem, a w szczególności wciskania przycisków oraz przenoszenia przedmiotów (awatar dłoni to znajdująca się w środowisku wirtualnym reprezentacja graficzna stanu dłoni osoby badanej, umożliwiająca wzrokową obserwację położenia i orientacji w przestrzeni trójwymiarowej dłoni, a także stopnia zgięcia palców; prawidłowa ocena relacji przestrzennych między dłonią a przedmiotem oraz możliwość zgięcia palców są niezbędne do sprawnego wykonywania zadania polegającego na przeniesieniu przedmiotów, w tym również wirtualnych) – obie rękawice zostały wyposażone w system bezprzewodowej transmisji danych za pośrednictwem interfejsu Bluetooth (fot. 2);

- okulary rzeczywistości wirtualnej (HMD – Head Mounted Display) Sony HMZ-T1 (prod. Sony, Japonia) – wyświetlające obraz stereoskopowy w rozdzielczości 1280×720 pkt, o FOV (field of view – pole widzenia) równym 450, konstrukcja HMD umożliwia całkowite zasłonięcie obrazu świata rzeczywistego, dzięki czemu szkolący ma wrażenie całkowitego zanurzenia w środowisku wirtualnym (fot. 2).



Fot. 2. Rękawica (GD Tech, DG5 VHand) i „okulary rzeczywistości wirtualnej” (Sony HMZ-T1) z zamontowanymi znacznikami wizyjnego systemu śledzenia
Photo 2. Glove (GD Tech, DG5 VHand) and head mounted display (HMD) (Sony HMZ-T1) with vision tracking system markers

Projektor i ekran projekcyjny zostały wykorzystane podczas prezentacji filmu w wersjach stereoskopowej i niestereoskopowej, natomiast okulary migawkowe tylko podczas oglądania filmu stereoskopowego. Infolokalizacja i HMD wykorzystano w drugim etapie badania, podczas szkolenia w obsłudze wirtualnego stanowiska pracy.

Narzędzia badawcze

Ankieta osobowa

Na potrzeby badania opracowano ankietę, której pytania dotyczyły danych ogólnych, takich jak wiek, wykształcenie, choroby (m.in. narządu równowagi, uszu, gardła, oczu i zaziębienia) oraz predyspozycji do choroby lokomocyjnej. Pytania obejmowały subiektywną ocenę kondycji psychofizycznej (m.in. liczby godzin snu w dobie poprzedzającej badanie, poziomu zmęczenia i senności).

Ankieta dotycząca subiektywnych odczuć wskazujących na występowanie choroby symulatorowej

Ankieta została opracowana na podstawie dostępnych danych literaturowych (11–13). Każdy z uczestników wypełniał kwestionariusz 3-krotnie – bezpośrednio, 20 min i 24 godz. po badaniu. Stopień subiektywnie odczuwanych objawów choroby symulatorowej badani oznaczali w skali od 1 (nieznaczny stopień nasilenia) do 5 (bardzo duże nasilenie). W przypadku niewystąpienia żadnego ze wskazanych objawów możliwe było zaznaczenie wariantu „nie występuje w ogóle”. Objawy wymienione w ankiecie to: zawroty głowy o charakterze oszołomienia, ból głowy, zblednięcie skóry twarzy, uczucie gorąca, ślinotok, wzmożona potliwość, mdłości, wymioty, ucisk w górnej części jamy brzusznej, znużenie i apatia, niepokój, senność, ból oczu i problemy z oceną odległości (dezorientacja przestrzenna). Zblednięcie skóry twarzy było oceniane przez osobę koordynującą badanie, obecną cały czas w jego trakcie i po zakończeniu.

Skala Grandjeana

Do analizy subiektywnie odczuwanego zmęczenia psychicznego zastosowano skalę Grandjeana (14). Na 14 odcinkach o długości 10 cm – opisanych na krańcach określeniami oznaczającymi przeciwstawne odczucia – uczestnicy badania zaznaczyli poziom swoich aktualnych odczuć odnoszących się do:

- nastroju: nastrój pozytywny – nastrój negatywny (G1), odprężony – spięty (G3), szczęśliwy – przygnębiony (G4), energiczny – ospały (G7), w dobrym humorze – w złym humorze (G9), podniecony – uspokojony (G11);
- zmęczenia: silny – słaby (G2), wypoczęty – zmęczony (G5), zainteresowany – znużony (G6), pełen wigor – wyczerpany (G8), rozbudzony – śpiący (G10), skuteczny w działaniu – nieskuteczny w działaniu (G12), uważny – rozkojarzony (G13), zdolny do koncentracji – niezdolny do koncentracji (G14).

Miarą nastroju lub zmęczenia była liczba punktów uzyskanych na każdej z podskal, równa odległości (mierzonej w milimetrach) od początku skali do miejsca zaznaczonego przez osobę badaną.

Analiza statystyczna

Wyniki dotyczące podskal Grandjeana opisano za pomocą mediany i kwantyli (25% i 75%). W celu porównania wyników tych samych osób przed każdym etapem badania i po jego zakończeniu zastosowano test kolejności par Wilcozona. Zmienne jakościowe opisano, podając liczbę przypadków w danej kategorii odpowiedzi. Do porównania liczby przypadków z danym objawem po obejrzeniu 2 wersji filmu zastosowano test niezależności χ^2 . Przyjęto poziom istotności statystycznej $p \leq 0,05$. Do analizy statystycznej danych wykorzystano program Statistica w wersji 6.0.

WYNIKI

Ankieta osobowa

W pierwszym etapie badania 7 uczestników oceniło subiektywnie swój stan zdrowia jako bardzo dobry, a 13 jako dobry. W dobie poprzedzającej oglądanie filmu w wersji 3D średnia liczba godzin snu wynosiła 7. W dniu badania 19 ochotników oceniło poziom swojego zmęczenia i wyspania po obudzeniu na 2 i 3 pkt w skali 5-punktowej (od 1 – rześki/wyspany do 5 – bardzo zmęczony / bardzo senny). W dobie poprzedzającej oglądanie filmu w wersji niestereoskopowej (2D) średni czas trwania snu badanych wynosił 6 godz. i 40 min. Poziom zmęczenia na 2 i 3 pkt oceniło 19 osób. Tak samo poziom senności określiło 18 osób.

W drugim etapie badania 11 uczestników oceniło subiektywnie swój stan zdrowia jako bardzo dobry, a 9 jako dobry. W dobie poprzedzającej szkolenie w obsłudze wirtualnego stanowiska pracy średni czas trwania snu badanych wynosił 6 godz. i 40 min. Dwóch uczestników oceniło swój poziom senności i wyspania na 4 pkt, a pozostali na 2–3 pkt.

Na pytanie dotyczące wcześniejszej ekspozycji na VR podczas oglądania filmu w wersji stereoskopowej 9 uczestników odpowiedziało negatywnie. Jedna osoba oglądała filmy 3D minimum raz w miesiącu, 1 osoba – 3 razy w roku, 4 osoby – 2 razy w roku, a 5 osób – 1 raz w roku. Żadna z badanych osób nie oglądała filmów w wersji 3D w telewizji. Film „Avatar” obejrzało wcześniej w kinie 11 uczestników, w tym 5 osób w wersji 3D i 6 osób w wersji 2D. Pozostałych 9 uczestników obejrzało film po raz pierwszy.

Subiektywne odczucia

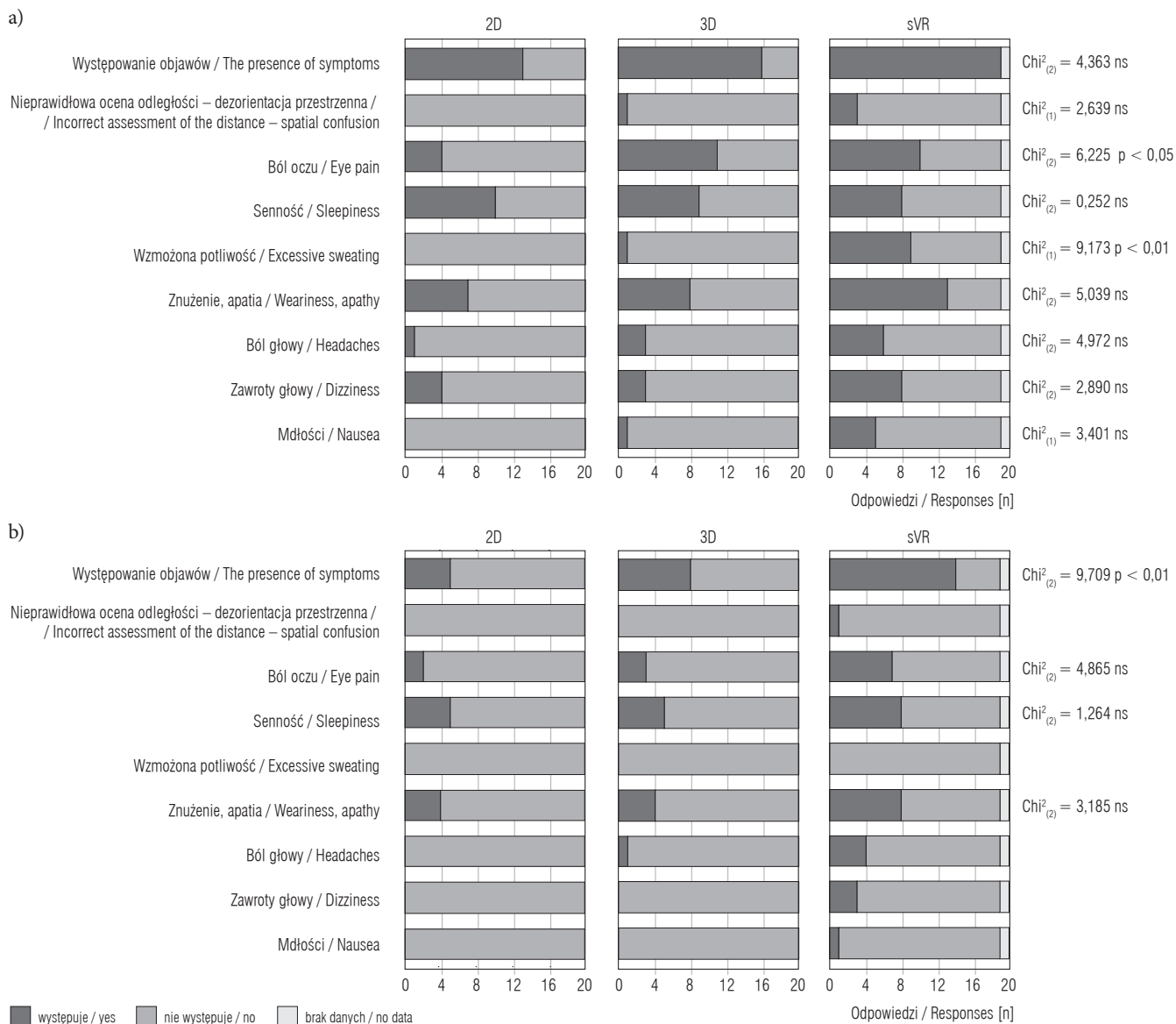
Na rycinie 1a zestawiono wyniki dotyczące objawów występujących u uczestników badania bezpośrednio po oglądaniu filmu w wersji 3D i 2D oraz po szkoleniu w obsłudze sVR. Liczba objawów może być większa od liczby uczestników, ponieważ u 1 osoby mogło wystąpić kilka różnych objawów.

Objawy choroby symulatorowej zaobserwowano u 16 badanych po obejrzeniu filmu w wersji 3D, u 13 – po obejrzeniu wersji 2D, a u wszystkich ($N = 19$) po szkoleniu na stanowisku wirtualnym. We wszystkich przypadkach zgłaszano ból oczu, senność, znużenie, apatię, ból i zawroty głowy o charakterze oszołomienia. Objawy, takie jak mdłości, wzmożona potliwość i nieprawidłowa ocena odległości (dezorientacja przestrzenna), występowały tylko po obejrzeniu filmu w wersji 3D i po obsłudze wirtualnego stanowiska pracy. Z kolei zmęczenie i senność w przypadku 2 badanych zaobserwowano jeszcze przed obejrzeniem filmu w wersji niestereoskopowej (ocenili swój poziom zmęczenia i wyspania na „4” w 5-stopniowej skali).

Analiza wyników ankiety dotyczącej subiektywnych odczuć wskazujących na indywidualną skłonność do choroby symulatorowej pokazuje, że te same osoby zarówno bezpośrednio, jak i 20 min po filmie uskarżały się na znużenie, apatię i senność.

Na podstawie analizy związku między rodzajem ekspozycji (2D, 3D) i sVR a występowaniem poszczególnych objawów choroby symulatorowej wykazano, że jest on statystycznie istotny w przypadku bólu oczu ($\chi^2_{(2)} = 6,225$; $p \leq 0,05$). Stwierdzono też istotną zależność między ekspozycją 3D i sVR a występowaniem objawu wzmożonej potliwości ($\chi^2_{(1)} = 9,173$; $p \leq 0,01$). Mimo braku istotnego związku między rodzajem ekspozycji na rzeczywistość wirtualną a występowaniem większości analizowanych objawów choroby symulatorowej, uwagę zwraca to, że po zanurzeniu w rzeczywistości wirtualnej z wykorzystaniem HMD i jednocześnie czynnym uczestnictwie w scenariuszu zastosowanej wizualizacji objawy te dotyczyły największej liczby badanych (ryc. 1a).

Stwierdzono istotny związek występowania objawów choroby symulatorowej z rodzajem ekspozycji po 20 min od jej zakończenia ($\chi^2_{(1)} = 9,709$; $p \leq 0,01$). Spośród 8 analizowanych objawów po obejrzeniu filmu w wersji 2D odnotowano tylko 3 objawy – ból oczu (2 badanych), senność (5 badanych) oraz znużenie i apatię (4 badanych). Po obejrzeniu filmu w wersji 3D senność, znużenie i apatia dotyczyły takiej samej liczby przypadków, ból oczu wystąpił u 3 osób, a ból głowy u 1 uczestnika.



2D – film niestereoskopowy / non-stereoscopic movie (two-dimensional), 3D – film stereoskopowy / stereoscopic movie (three-dimensional), sVR – szkolenie z obsługi wirtualnego stanowiska pracy / training on the virtual workstation.

Ryc. 1. Objawy a) bezpośrednio i b) 20 min po obejrzeniu filmu w wersji 2D i 3D (N = 20) i po sVR (N = 19)
Fig. 1. Symptoms developed a) immediately and b) 20 min after watching 3D and 2D movies (N = 20) and following training sVR (N = 19)

Po 20 min od zakończenia szkolenia w obsłudze wirtualnego stanowiska pracy badani zgłosili 7 z listy 8 objawów choroby symulatorowej. Najczęściej wymieniane to ból oczu (N = 7), senność (N = 8), znużenie i apatia (N = 8) oraz ból głowy (N = 4). WzmóŜona potliwość była objawem, który u nikogo nie wystąpił po 20 min od zakończenia wszystkich 3 ekspozycji, natomiast zawroty głowy o charakterze oszołomienia (N = 3), mdłości (N = 1) i nieprawidłową ocenę odległości (N = 1) odnotowano tylko w przypadku

szkolenia na wirtualnym stanowisku pracy. Zależności między rodzajem ekspozycji a takimi objawami, jak ból oczu, znużenie i apatia, po 20 min od zakończenia badania nie zostały potwierdzone statystycznie (odpowiednio: $\chi^2_{(2)} = 4,865$ i $\chi^2_{(2)} = 3,185$). Utrzymywanie się większości objawów choroby symulatorowej po obsłudze stanowiska wirtualnego może natomiast wskazywać, że to zadanie było dla badanych osób bardziej obciążające niż oglądanie filmów w wersji 3D i 2D (ryc. 1b).

Obserwacja badanych przez kolejne godziny doby po zakończeniu ekspozycji na środowisko wirtualne wykazała, że nadal występowały u nich objawy obserwowane w chorobie symulatorowej. U osób, które odesłały ankietę (wypełnianą elektronicznie), objawy po obejrzeniu filmu w wersji 3D występowały w przybliżeniu po 5. godzinie, a po szkoleniu sVR – po 4. godzinie. Zgodnie z subiektywnym odczuciem badanych zgłaszane objawy miały niewielki stopień nasilenia i w przypadku filmu w wersji 3D dotyczyły senności, znużenia i apatii, bólu głowy, oczu, zawrotów głowy, mdłości, a w przypadku szkolenia – zawrotów i bólu głowy, dezorientacji przestrzennej i senności.

Stopień nasilenia poszczególnych objawów bezpośrednio po obejrzeniu filmu w wersjach 2D i 3D oraz po szkoleniu na stanowisku wirtualnym zestawiono na rycinie 2. Można zauważyć, że nie był on jednakowy we wszystkich sytuacjach. Wyniki wskazują, że osoby uczestniczące w badaniu największy dyskomfort odczuwały po szkoleniu na sVR. Statystyczną weryfikację tego spostrzeżenia uniemożliwiła zbyt mała liczba przypadków w poszczególnych kategoriach objawów.

Nastrój i zmęczenie uczestników przed badaniem i bezpośrednio po jego zakończeniu

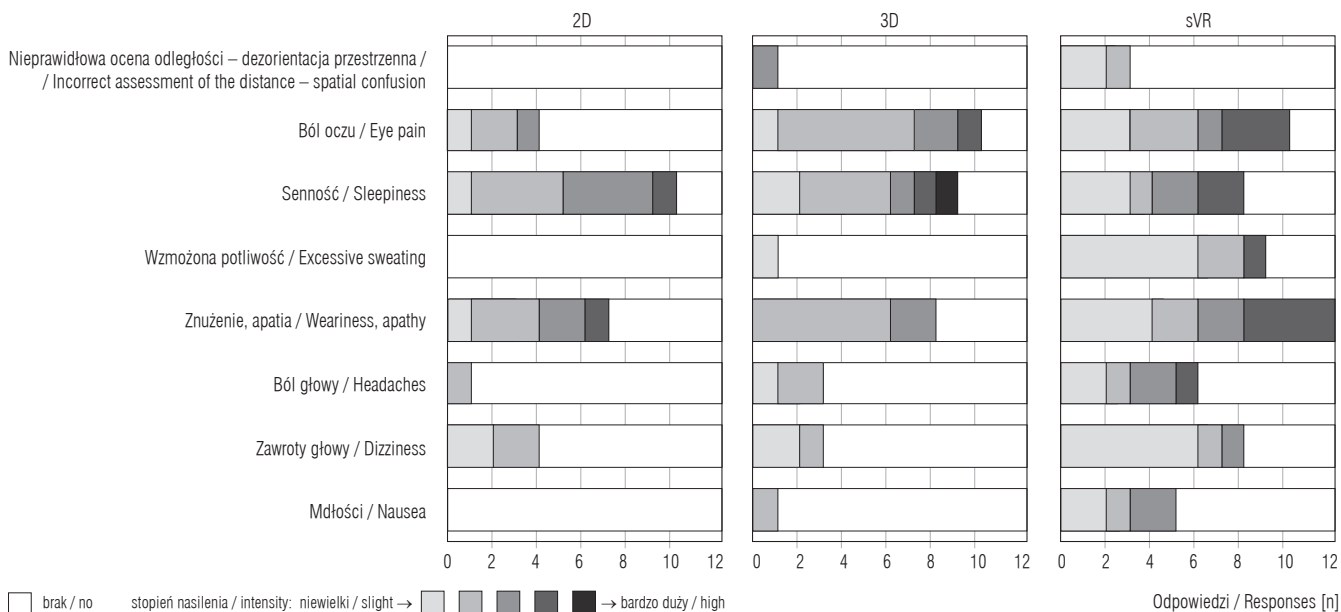
Na rycinie 3. zestawiono wyniki podskal Grandjeana (G1–G14) u tych samych osób w 3 wariantach badania – przed obejrzeniem i po obejrzeniu filmu

w wersji 2D i 3D oraz przed szkoleniem i po odbyciu szkolenia w obsłudze sVR. Porównanie wyników przed emisją i po obejrzeniu filmu w wersji 2D nie wykazało istotnych różnic dla żadnej z podskal. Po obejrzeniu filmu w wersji 3D różnica istotna statystycznie dotyczyła tylko podskali G5, tzn. wypoczęty – zmęczony ($Z = 2,501, p \leq 0,012$), w kierunku zmęczony.

Porównanie wyników skali Grandjeana przed szkoleniem i po nim w obsłudze wirtualnego stanowiska pracy wskazuje na różnice istotne statystycznie w przypadku 11 spośród 14 podskal. Po sVR uczestnicy ocenili swój nastrój jako negatywny (G1: $Z = 3,136; p \leq 0,002$), czuli się bardziej spięci (G3: $Z = 2,2455; p \leq 0,014$), ospali (G7: $Z = 2,548; p \leq 0,011$) i mieli gorszy humor (G9: $Z = 2,736; p \leq 0,006$). Podskale Grandjeana dotyczące zmęczenia wskazywały na nasilenie się negatywnych odczuć. Badani czuli się słabsi (G2: $Z = 1,972; p \leq 0,049$), bardziej zmęczeni (G5: $Z = 3,501; p \leq 0,001$), znudzeni (G6: $Z = 3,136; p \leq 0,002$), wyczerpani (G8, $Z = 2,254; p \leq 0,024$), rozkojarzeni (G13, $Z = 3,078; p \leq 0,002$) oraz mniej zdolni do koncentracji (G14, $Z = 2,495; p \leq 0,012$).

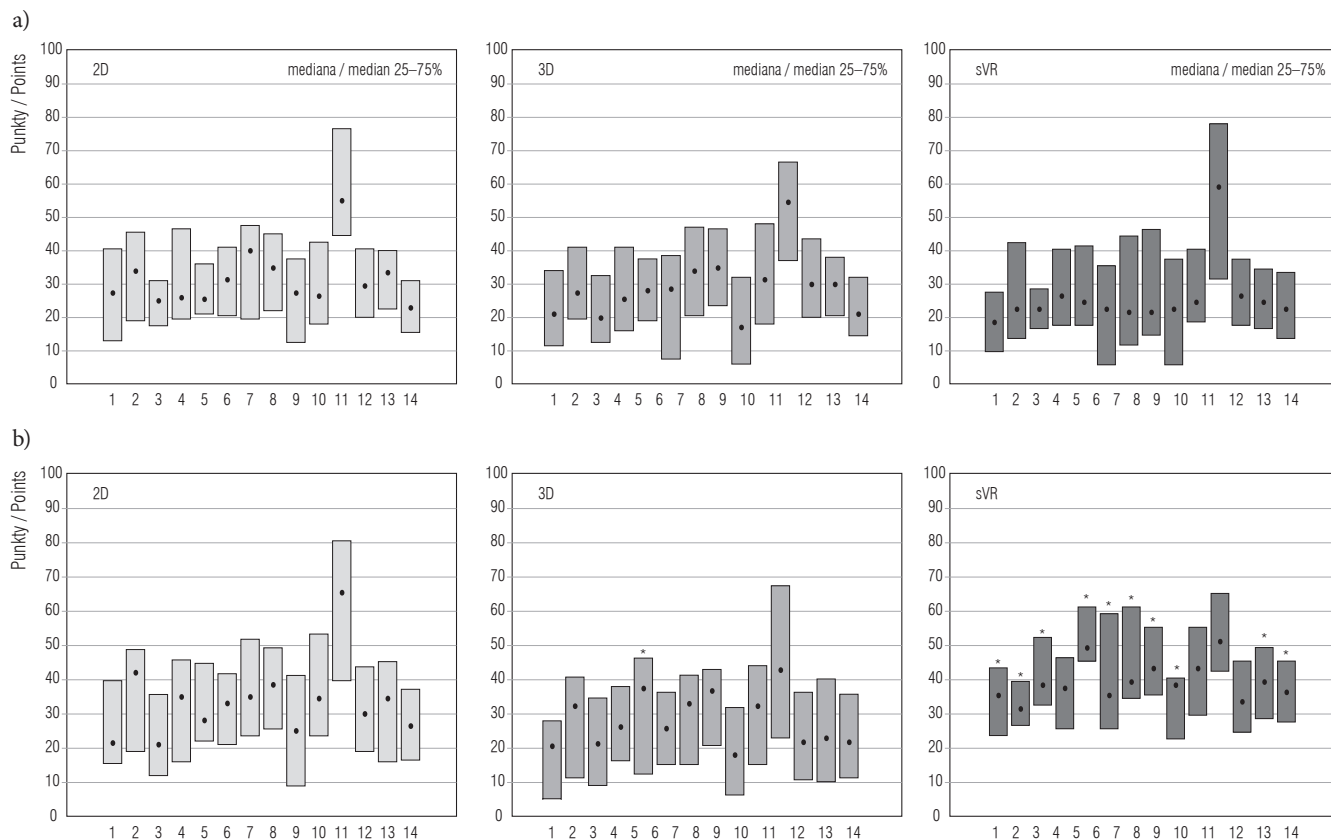
OMÓWIENIE

Techniki rzeczywistości wirtualnej stają się coraz bardziej powszechne, pojawiają się nie tylko w kinach, lecz coraz częściej także w domach. Jednocześnie wzrasta



Skróty jak w rycinie 1 / Abbreviations as in Figure 1.

Ryc. 2. Nasilenie objawów po obejrzeniu godzinnego fragmentu filmu w wersji 2D i 3D oraz po sVR
Fig. 2. Severity of symptoms after watching an hour long part of the movie in its 2D and 3D versions and after sVR



* Istotność różnic poszczególnych podskal w odniesieniu do wyników przed ekspozycją / Significance of the differences in each subscale compared with the results obtained before exposure; $p \leq 0,05$.

Inne objaśnienia jak w rycinie 1 / Other abbreviations as in Figure 1.

Ryc. 3. Wyniki podskal Grandjeana uzyskane przez te same osoby a) przed oglądaniem filmu 2D i 3D oraz szkoleniem (sVR) oraz b) po filmie i szkoleniu

Fig. 3. Results obtained from Grandjean's subscales in the same subjects: a) prior to watching movies 2D and 3D and training (sVR); b) after watching the movies and training

liczba ostrzeżeń przed korzystaniem z tego typu technologii. Profesor Mark Lambooy z Eindhoven University of Technology w Holandii wykazał, że natłok trójwymiarowych obrazów może wywoływać bóle głowy, mdłości, a nawet ataki padaczki i że problemy te odczuwa 10–20% osób korzystających w domu z technologii stereoskopowych (15).

Firma Toshiba, produkująca m.in. telewizory z technologią 3D, ostrzega, że oglądanie filmów stereoskopowych może powodować zaburzenia widzenia stereoskopowego u dzieci. Zaleca, żeby dzieci poniżej 6. roku życia nie oglądały tego typu telewizji. Producenci najnowszych konsol do gier – Sony PlayStation 3 oraz Nintendo 3D – dostrzegają negatywny wpływ technologii stereoskopowej na zdrowie użytkowników. Firma Samsung ostrzega chorych na padaczkę, że korzystanie ze sprzętu z technologią 3D jest niebezpieczne dla ich zdrowia (16).

Wielu autorów wyraziło swoje obawy przed negatywnym wpływem korzystania z technologii stereoskopowej na dolegliwości ze strony narządu wzroku oraz występowaniem dolegliwości podobnych jak w chorobie lokomocyjnej. Wyniki niniejszej analizy wykazały, że ból oczu istotnie częściej ($p \leq 0,05$) występował bezpośrednio po obejrzeniu tego samego fragmentu filmu „Avatar” w wersji stereoskopowej niż niestereoskopowej. Pölönen i wsp. przeprowadzili badanie dotyczące subiektywnych odczuć w grupie 85 osób po ekspozycji na film „Avatar” oglądany w kinie w wersji stereoskopowej i niestereoskopowej (17). Stwierdzili, że oglądanie filmu w wersji stereoskopowej wywołało objawy świadczące o przemęczeniu oczu, lecz były one słabe. Dokonując porównania objawów występujących po oglądaniu filmu w wersji 3D, trwającego 162 min, i filmu w wersji 2D, który trwał 82 min, autorzy wykazali, że poziom zmęczenia oczu był podobny niezależnie od długości trwania filmu (17).

Lee i wsp. z zastosowaniem 2 metod – obiektywnej (pomiar częstości mrugania) i subiektywnej (badanie ankietowe) – porównali poziom zmęczenia oczu podczas oglądania wyświetlaczy 2D i 3D. Na podstawie wyników wykazali, że poziom zmęczenia oczu podczas oglądania wyświetlacza w wersji stereoskopowej był istotnie wyższy niż podczas oglądania wersji niestereoskopowej, zwłaszcza przy małych odległościach od ekranu (18).

U większości uczestników (N = 16) badania, którzy oglądali film w wersji 3D, zaobserwowano objawy podobne do objawów choroby lokomocyjnej lub choroby symulatorowej. Badani zgłaszali ból oczu, senność, zmęczenie i apatię, ból głowy, zawroty głowy o charakterze oszołomienia, a także nieprawidłową ocenę odległości (dezorientację przestrzenną) i wzmożoną potliwość. Wyniki te są zbieżne z doniesieniami innych autorów, według których oglądanie obrazów stereoskopowych może powodować – oprócz zmęczenia i bólu oczu – bóle i zawroty głowy, dezorientację przestrzenną i mdłości (19–22).

Według Pölönen i wsp. około 5% osób oglądających film stereoskopowy w kinie zaobserwowało u siebie objawy mdłości i/lub dezorientacji przestrzennej niezależnie od czasu emisji oglądanego filmu (23). Jumi-sko-Pyykkö i wsp. stwierdzili zwiększenie intensywności objawów chorobowych wraz z wydłużaniem czasu oglądania obrazu stereoskopowego. Zaobserwowali też, że intensywność objawów ma związek z rozmiarem wyświetlacza – oglądanie obrazu 3D na wyświetlaczach o większych rozmiarach wywołuje bardziej nasilone objawy (24). W niniejszym badaniu czas oglądania filmu w obu wersjach był jednakowy i wynosił 1 godz. Potwierdziło się więc spostrzeżenie innych autorów, że częstszy ból oczu i o bardziej nasilonych objawach występuje podczas oglądania filmu w wersji 3D.

Najnowsze badania Pölönen i wsp. miały na celu porównanie reakcji organizmu dorosłych i dzieci (N = 130) na film oglądany na różnych nośnikach – w wersji stereoskopowej na projektorze, w telewizorze 3D oraz podczas gry komputerowej. Po obejrzeniu filmu stereoskopowego („Alicja w krainie czarów”) badani wypełniali kwestionariusze oceniające ich subiektywną skłonność do choroby lokomocyjnej (Simulator Sickness Questionnaire – SSQ, Visual Symptoms Questionnaire – VSQ). Nie stwierdzono istotnych różnic w ocenie zmęczenia oczu, mdłości i dezorientacji przestrzennej między dorosłymi a dziećmi. W obu grupach zauważono jedynie łagodne zmęczenie oczu. Zdaniem ww. autorów oglądanie filmu stereoskopowego

trwającego nie dłużej niż 2 godz. nie wpływa niekorzystnie na organizm większości użytkowników, niezależnie od ich wieku (25).

Wyniki niniejszego badania wskazują na możliwość występowania objawów podobnych jak w chorobie symulatorowej nawet po upływie wielu godzin od oglądania filmu stereoskopowego. Są tym samym zbieżne z wynikami innych badaczy. U 14 (25%) badanych zaobserwowano senność, zmęczenie i apatię, ból i zawroty głowy, ucisk w górnej części jamy brzusznej oraz ból oczu. Objawy występowały jeszcze prawie 5 godz. po zakończeniu oglądania filmu 3D.

Dostępne dane dotyczące pilotów szkolących się na symulatorach lotniczych i wyniki badań na symulatorze samochodu ciężarowego, w których zastosowano możliwie „głębokie” zanurzenie w rzeczywistość wirtualną, wskazują, że objawy choroby symulatorowej mogą utrzymywać się przez pewien czas od zakończenia ekspozycji na VR (26,27). Baltzley i wsp. poddali analizie wyniki badań ponad 700 osób korzystających z symulatorów (28). U prawie połowy osób zaobserwowano objawy choroby symulatorowej. U 25% badanych utrzymywały się one przez ponad godzinę po opuszczeniu symulatora, a u 8% badanych – do 8 godz. Najczęściej zgłaszano mdłości (51%), dezorientację (28%) i problemy okulistyczne (21%) (28). Według innych badaczy dolegliwościami najczęściej zgłaszanymi bezpośrednio po opuszczeniu symulatora były problemy żołądkowe, uczucie oszołomienia i kołysania się. Jako efekt długoczasowy wskazywano natomiast zmęczenie (29).

W prezentowanych badaniach własnych objawy choroby symulatorowej zaobserwowano u wszystkich osób szkolących się w obsłudze wirtualnego stanowiska pracy. Bezpośrednio po szkoleniu zmęczenie i apatia wystąpiły u 63% uczestników, ból oczu – 53%, wzmożona potliwość – 47%, zawroty głowy, senność i uczucie gorąca – 42%, a ból głowy – u 32% badanych. Stopień nasilenia tych objawów był większy po szkoleniu w obsłudze wirtualnego stanowiska pracy niż po obejrzeniu filmu w obu wersjach – 2D i 3D.

Niewątpliwie stopień nasilenia tych objawów mógł być wynikiem zmęczenia – zmęczenia ochotników. Biorąc pod uwagę klasyfikację zmęczenia uwzględniającą lokalizację zmian czynnościowych (30), zaobserwowano u nich zarówno zmęczenie obwodowe (lokalne), wynikające z dolegliwości bólowych ręki używanej do wykonywanych zadań, jak i zmęczenie na skutek regularnego powtarzania tych samych czynności w jak najkrótszym czasie i jak najprecyzyjniej. Mogło to

również wpływać na stwierdzone istotne statystycznie zmiany subiektywnie odczuwanego zmęczenia i nastroju w przypadku szkolenia w obsłudze wirtualnego stanowiska pracy, nieobserwowane po obejrzeniu filmu w obu wersjach – 2D i 3D. Analizę tych wyników utrudnia brak danych o badaniach prowadzonych w podobnych warunkach, tj. z podobną symulacją stanowiska pracy, wykorzystaniem analogicznego sprzętu lub prowadzenia eksperymentu w takim samym czasie ekspozycji na VR.

Technologia 3D w szkoleniach pracowników w obsłudze stanowisk pracy jest coraz częściej wykorzystywana w urządzeniach (hełm i rekawica) dających głębsze zanurzenie w rzeczywistość wirtualną niż filmy w wersji stereoskopowej. Stwarza to ryzyko występowania objawów choroby symulatorowej u większej liczby osób niż w przypadku oglądania obrazu 3D. Większe nasilenie objawów może wywoływać dyskomfort przez kilka godzin po zakończeniu szkolenia i wzbudzać niechęć pracowników do takiej jego formy.

Z tego powodu w programach szkoleń prowadzonych na wirtualnych stanowiskach pracy powinno się uwzględniać możliwość pojawienia się objawów choroby symulatorowej u uczestników szkolenia. Powinien je poprzedzać wywiad mający na celu uzyskanie informacji o skłonności pracownika do choroby lokomocyjnej i występowania w dniu szkolenia problemów zdrowotnych mogących pogłębiać jej objawy. Z kolei osoby zgłaszające dyskomfort wskazujący na objawy choroby symulatorowej powinny po zakończeniu szkolenia zostać poinformowane, że objawy te mogą utrzymywać się jeszcze przez kilka następnych godzin i potencjalnie stanowić ryzyko, np. dla osób kierujących pojazdami.

WNIOSEK

Na podstawie subiektywnych odczuć dyskomfortu po obejrzeniu filmu w wersjach 2D i 3D nie można u osób z potwierdzonym brakiem skłonności do choroby lokomocyjnej przewidzieć występowania objawów choroby symulatorowej po szkoleniu z użyciem wirtualnego stanowiska pracy.

PIŚMIENNICTWO

1. Grabowski A.: Wykorzystanie współczesnych technik rzeczywistości wirtualnej i rozszerzonej do szkolenia pracowników. *Bezpiecz. Pr. Nauka Prakt.* 2012;4:18–21
2. Lozia Z.: *Symulatory jazdy samochodem*. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2008
3. Zużewicz K.: *Fizjologiczne skutki uboczne wykorzystywania technik rzeczywistości wirtualnej*. CIOP-PIB, Warszawa 2010 [cytowany 20 września 2013]. Adres: <http://archiwum.ciop.pl/23081>
4. Nichols S., Patel H.: Health and safety implications of virtual reality: A review of empirical evidence. *Appl. Ergon.* 2002;33(3):251–271, [http://dx.doi.org/10.1016/S0003-6870\(02\)00020-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0003-6870(02)00020-0)
5. Sharples S., Cobb S., Moody A., Wilson J.R.: Virtual reality induced symptoms and effects (VRISE): Comparison of head mounted display (HMD), desktop and display systems. *Displays* 2008;29(2):58–69, <http://dx.doi.org/10.1016/j.displa.2007.09.005>
6. Zużewicz K., Saulewicz A., Konarska M., Kaczorowski Z.: Heart rate variability and motion sickness during forklift simulator driving. *Int. J. Occup. Saf. Ergon. (JOSE)* 2011;17(4):403–410
7. La Viola Jr. J.J.: A discussion of cybersickness in virtual environments. *SIGCHI Bulletin* 2000;32(1):47–56, <http://dx.doi.org/10.1145/333329.333344>
8. Biernacki M.P., Dziuda Ł.: Choroba symulatorowa jako realny problem badań na symulatorach. *Med. Pr.* 2012;63(3):377–388
9. Guideline for alleviation of simulator sickness symptomatology. Naval Training System Center NAVTRAST-SCEN TR-87-007, Orlando 1987
10. Money K.E.: Simulator sickness. W: *Motion sickness: Significance in aerospace operations and prophylaxis*. North Atlantic Treaty Organization, Advisory Group for Aerospace Research & Development (Francja). AGARD Lecture series 1991;175(6B):1–3
11. Gerwatowska W.: Choroba lokomocyjna. *Pol. Przegl. Med. Lotn.* 1996;2(2):155–159
12. Bubka A., Bonato F., Palmisano S.: Expanding and contracting optical flow patterns and simulator sickness. *Aviat. Space Environ. Med.* 2007;78:383–386
13. Park J.R., Lim D.W., Lee S.Y., Lee H.W., Choi M.H., Chung S.C.: Long-term study of simulator sickness: Differences in EEG response due to individual sensitivity. *Int. J. Neurosci.* 2008;118(6):857–865, <http://dx.doi.org/10.1080/00207450701239459>
14. Baschera P., Grandjean E.P.: Effect of repetitive task with different degrees of difficulty on critical fusion frequency (CFF) and subjective state. *Ergonomics* 1979;22(4):377–385, <http://dx.doi.org/10.1080/00140137908924622>
15. Burda K.: 3D, czyli trzy wymiary i mdłości. *Newsweek* 16.02.2011 [cytowany 20 września 2013]. Adres: <http://technologie.newsweek.pl/3d--czyli-trzy-wymiary-i-mdlosci,72003,2,1.html>

16. Burda K.: Telewizja 3D bardziej rozczarowuje, niż zachwyca. W dodatku niektórym szkodzi. Newsweek, 12 lutego 2011 [cytowany 20 września 2013]. Adres: <http://www.newsweek.pl/wydania/1266/trzy-wymiary-i-mdlosci,71809,1,1>
17. Pölönen M., Salmimaa M., Takatalo J., Häkkinen J.: Subjective experiences of watching stereoscopic „Avatar” and „U2 3D” in a cinema. *J. Electron. Imaging* 2012;21(1):011006, <http://dx.doi.org/10.1117/1.JEI.21.1.011006>
18. Lee E.C., Heo H., Park K.R.: The comparative measurements of eye strain caused by 2D and 3D displays. *Trans. Consumer Electronics* 2010;56(3):1677–1683, <http://dx.doi.org/10.1109/TCE.2010.5606312>
19. Kennedy R., Lane N., Berbaum K., Lilienthal K.: Simulator sickness questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness. *Int. J. Aviat. Psych.* 1993;3(3):203–220, http://dx.doi.org/10.1207/s15327108-ijap0303_3
20. Lambooij W.I., Jsselsteijn M., Fortuin I.: Visual discomfort and visual fatigue of stereoscopic displays: A review. *J. Imaging Sci. Technol.* 2009;53(3):030201-1–030201-14, <http://dx.doi.org/10.2352/J.ImagingSci.Technol.2009.53.3.030201>
21. Häkkinen J., Takatalo J., Pölönen M., Nyman G.: Simulator sickness in virtual display gaming: A comparison of stereoscopic and non-stereoscopic situations. *MobileHCI06. Proceedings of the 8th Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*. 12–15 September 2006, Espoo, Finland. ACM, New York 2006, ss. 227–229, <http://dx.doi.org/10.1145/1152215.1152263>
22. Howart P.A., Hodder S.G.: Characteristics of habituation to motion in a virtual environment. *J. Displays Technol.* 2008;29(2):117–112, <http://dx.doi.org/10.1016/j.dipla.2007.09.009>
23. Pölönen M., Salmimaa M., Aaltonen V., Häkkinen J., Takatalo J.: Subjective measures of presence and discomfort in viewers of color separation-based stereoscopic cinema. *J. Soc. Inf. Display* 2009;17(5):459–466
24. Jumisko-Pyykkö S., Utriainen T., Strohmeier D., Boev A., Kunze K.: Simulator sickness – Five experiments using auto stereoscopic mid-sized or small mobile screens. *Proceedings of 3DTV-Conference 2010: The True Vision – Capture, Transmission and Display of 3D Video (3DTV-CON)*. 7–9 czerwca 2010, Tampere, Finland. IEEE Conference Publications 2010 [cytowany 20 września 2013], ss. 1–4, <http://dx.doi.org/10.1109/3DTV.2010.5506401>
25. Pölönen M., Järvenpää T., Bilcu B.: Stereoscopic 3D entertainment and its effect on viewing comfort: Comparison of children and adults. *Appl. Ergon.* 2013;44(1): 151–160, <http://dx.doi.org/10.1016/j.apergo.2012.06.006>
26. Johnson D.M.: Introduction to and review of simulator sickness research (ARI Research Report 1832). U.S. Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences, Arlington 2005
27. Sharkey T., McCauley M.: Does a motion base prevent simulator sickness? (AIAA Tech. Rep. 92-4133-CP). American Institute of Aeronautics and Astronautics, Reston 1992
28. Baltzley D.R., Kennedy R.S., Berbaum K.S., Lilienthal M.G., Gower D.W.: The time course of post flight simulator sickness symptoms. *Aviat. Space Environ. Med.* 1989;60(11):1043–1048
29. Silverman D.R., Slaughter R.A.: An exploration of simulator sickness in the MH-60G operation at flight trainer (Rep. No.AL/HR-TR-1994-0173). Aircrew Training Research Division, Human Resources Directorate, Mesa 1995
30. Makowiec-Dąbrowska T., Bortkiewicz A., Siedlecka J., Gadzicka E.: Wpływ zmęczenia na zdolność prowadzenia pojazdów. *Med. Pr.* 2011;62(3):281–290