

Marcin Biernacki¹

Łukasz Dziuda²

CHOROBA SYMULATOROWA JAKO REALNY PROBLEM BADAŃ NA SYMULATORACH

SIMULATOR SICKNESS AS A VALID ISSUE OF SIMULATOR-BASED RESEARCH

¹ Wojskowy Instytut Medycyny Lotniczej / Military Institute of Aviation Medicine, Warszawa, Poland

Zakład Psychologii Lotniczej / Department of Aviation Psychology

² Wojskowy Instytut Medycyny Lotniczej / Military Institute of Aviation Medicine, Warszawa, Poland

Zakład Bioinżynierii Lotniczej / Department of Aviation Bioengineering

STRESZCZENIE

Symulatory są coraz częściej stosowane zarówno w badaniach naukowych, jak i w szkoleniach oraz np. terapii osób ze zdiagnozowanym zespołem stresu pourazowego (post traumatic stress disorders – PTSD). Pozwalają one, przy ścisłej kontroli warunków otoczenia, badać procesy obciążenia pracą i ćwiczyć procedury z nią związane. Oprócz wielu zalet stosowanie symulatorów niesie ze sobą problem choroby symulatorowej. Może ona zakłócać rzetelność pomiaru, zaburzać skuteczność szkolenia czy terapii, a także stanowić źródło stresu dla osób wykonujących zadania na symulatorach. W artykule omówiono zagadnienie choroby symulatorowej, zwracając szczególną uwagę na zakres tego zjawiska, teorie je wyjaśniające oraz na metody pomiaru. Med. Pr. 2012;63(3):377–388

Słowa kluczowe: symulatory, choroba symulatorowa

ABSTRACT

Simulators are increasingly being used in both research and training as well as in medicine, e.g., therapy of patients with diagnosed post traumatic stress disorders (PTSD). The use of simulators with strict control of environmental conditions allows for workload assessment or procedures improvement. Despite all the advantages of the utilization of simulators, the simulator sickness issue remains still topical. Simulator sickness may interfere with the measurement accuracy or effectiveness of training or therapy, but it can also be a source of stress for those carrying out the assignments on simulators. This article discusses problems associated with simulator sickness, paying particular attention to the scope of this phenomenon, its explaining theories and measurement methods. Med Pr 2012;63(3):377–388

Key words: simulators, simulator sickness

Adres 1. autora: Zakład Psychologii Lotniczej, Wojskowy Instytut Medycyny Lotniczej,
ul. Zygmunta Krasińskiego 54, 01-001 Warszawa; e-mail: mpbiernacki@gmail.com
Nadesłano 4 stycznia 2012, zatwierdzono 7 marca 2012

WSTĘP

Ciągła potrzeba obniżania udziału czynnika ludzkiego w zdarzeniach lotniczych i drogowych prowadzi do coraz większego zainteresowania symulatorami w odniesieniu zarówno do badań, jak i szkoleń. Niewątpliwą zaletą stosowania symulatorów w badaniach naukowych jest możliwość kontroli jak największej liczby czynników oraz możliwość rejestrowania szeregu zmiennych,

w tym fizjologicznych i psychologicznych (1,2). Na podstawie tych wskaźników oceniane jest obciążenie pracą bądź szybkość wyszukiwania informacji wzrokowych przy różnej konfiguracji kokpitu samolotu czy deski rozdzielczej samochodu (2). Dane zebrane z takich badań pozwalają konstruować środowisko pracy optymalne z punktu widzenia człowieka jako operatora. Z kolei w przypadku szkoleń symulatory umożliwiają przećwiczenie procedur, np. awaryjnego lądowania sa-

molotu. Symulatory są także coraz częściej stosowane w terapii osób ze zdiagnozowanym zespołem stresu pourazowego czy lęku przed lataniem oraz służą do szkolenia kierowców (3–5).

Duży zakres zastosowań symulatorów, idący w parze z ich zwiększonym wykorzystywaniem w badaniach naukowych i treningach, sprawił, że coraz częściej zaczęto dostrzegać problem choroby symulatorowej (simulator sickness). Jednym z jej powodów jest trudność w odzwierciedleniu na symulatorach zgodności między bodźcami wzrokowymi, przedsionkowymi i proprioceptywnymi. Trzeba pamiętać, że niektóre symulatory nie są wyposażone w ruchome platformy, co sprawia, że wrażenie ruchu budowane jest wyłącznie na podstawie informacji wzrokowej, bez możliwości odniesienia tego do bodźców pochodzących z innych zmysłów wskazujących na ten sam kierunek działania. Zresztą wprowadzanie ruchomych platform nie eliminuje występowania choroby symulatorowej. Przyjmuje się, że w trakcie pracy na symulatorze brakuje skoordynowania informacji dobiegających z kilku zmysłów.

Choroba symulatorowa może:

- zakłócać rzetelność pomiaru (6),
- ograniczać efektywność treningu (7),
- zwiększać liczbę osób niebędących w stanie ukończyć zadania (6).

Występowanie choroby symulatorowej może też stanowić źródło stresu, co ma szczególne znaczenie w przypadku stosowania symulatorów w terapii zaburzeń po stresie traumatycznym (post-traumatic stress disorder – PTSD) czy związanych z lękiem przed lataniem (4,5). W tych sytuacjach choroba symulatorowa może nie tylko uniemożliwić osiągnięcie założonego efektu terapeutycznego, ale co o wiele bardziej istotne – być źródłem dodatkowego stresu dla osób poddawanych terapii. Tym samym choroba symulatorowa jest więc niewątpliwie zjawiskiem, które w jak największym stopniu musi być kontrolowane.

Czynniki odpowiedzialne za chorobę symulatorową mają swoje źródło zarówno w środowisku pracy, jak i we właściwościach indywidualnych operatora (2). Można powiedzieć, że istnieje grupa czynników predysponujących do występowania choroby symulatorowej i wywołujących ją. Dopiero interdyscyplinarne podejście zakładające interakcję między tymi dwoma czynnikami daje możliwość pełnego spojrzenia na to zjawisko.

W niniejszym artykule skupiono się na obu tych aspektach, które mogą stanowić podstawę do opracowania metodyki badania na symulatorach.

CHOROBA SYMULATOROWA JAKO REALNY PROBLEM BADAŃ Z WYKORZYSTANIEM SYMULATORÓW

Przy rozpatrywaniu zagadnienia choroby symulatorowej istotne jest zwrócenie uwagi, że zjawisko to ma postać wielowymiarową, a występowanie objawów choroby może się różnić w zależności od rodzaju symulatora oraz indywidualnych właściwości operatora. Obydwa te czynniki mogą więc powodować, że w badaniach na symulatorach nasilenie objawów związanych z chorobą symulatorową znacznie się waha. Z czynników indywidualnych należy wymienić wiek, płeć czy poziom statycznych zdolności przestrzennych (8). Nie bez znaczenia wydaje się też poziom lęku czy indywidualna podatność jednostki na chorobę symulatorową (9). Ponadto należy wziąć pod uwagę, że powyżej wymienione zmienne mogą wchodzić w interakcję (10).

Badania McCauley (11) wskazują, że zjawisko choroby symulatorowej dotyczy 10–88% osób badanych na symulatorach. Inne metaanalizy wskazują na 27–88% osób (12) bądź 12–60% (13). Podane wartości bardzo się różnią, co jest pochodną omówionych wyżej czynników. Samo występowanie tak dużych rozbieżności sugeruje wieloaspektowość i złożoność tego zjawiska.

Określanie stopnia występowania choroby symulatorowej jest oczywiście istotnym elementem badań nad tym zjawiskiem. Niemniej ważna jest ocena, czy choroba symulatorowa – oprócz tego, że zaburza funkcjonowanie danej osoby w trakcie badania na symulatorze – nie wywołuje negatywnych skutków odroczonego w czasie. Wśród czynników, które są następstwem ekspozycji na warunki symulatorowe i utrzymują się w czasie, wymienia się ataksję czy nawracające zaburzenia percepcji (14). Mimo że utrzymywanie się tych objawów w czasie może potencjalnie zagrażać bezpiecznemu wykonywaniu zadań w świecie realnym, na co zwracał uwagę McCauley (11), nie ma jednoznacznych danych potwierdzających zwiększone ryzyko wystąpienia wypadku lotniczego czy drogowego w efekcie ekspozycji na warunki symulowane (15,16).

Potwierdzeniem są dane zebrane przez Johnsona (17), które wskazują, że w ciągu 12 godz. po badaniu żaden z operatorów nie uczestniczył w wypadku. Bardzo możliwe, że po badaniu na symulatorze osoby, które brały w nim udział, bardziej uważały w warunkach rzeczywistych. Podobny mechanizm pojawia się w zachowaniach kierowców przy nagłym załamaniu pogody – jeżdżą wtedy wolniej i uważniej, co wyraża się

mniejszą liczbą kolizji i wypadków. Takie wyjaśnianie tego zjawiska wymagałoby jednak weryfikacji empirycznej.

W innym badaniu analizie poddano wyniki ponad 700 rejestracji na symulatorach (18). Okazało się, że ponad 45% badanych miało objawy choroby symulatorowej, przy czym u 25% utrzymywały się one ponad godzinę od opuszczenia symulatora, a u 8% czas ten wydłużył się do 8 godz. Osoby badane najczęściej zgłaszały mdłości (51%), dezorientację (28%) i problemy okuomotoryczne (21%).

Podobne dane uzyskali w swoim badaniu Silverman i Slaughter (19). W badaniu wzięło udział 13 członków załóg śmigłowca MH-60G (9 pilotów, 4 techników pokładowych). Badani wykonywali różnego rodzaju zadania, np. precyzyjne podejście, lądowanie z wykorzystaniem systemu ILS (Instrument Landing System), lot bez widoczności (w oparciu o wskazania przyrządów) oraz procedury awaryjne. Zadania były wykonywane w warunkach dziennych i nocnych. Badanie było rozłożone na 10 dni, po 3–4 godziny lotu na symulatorze dziennie. Okazało się, że 85% jego uczestników zgłaszało występowanie objawów choroby symulatorowej, wśród których najczęstsze były:

- po wyjściu z symulatora – odruchy żołądkowe, uczucie falowania, zapadania się, kołysania, oszołomienia;
- efekty długotrwałe – zmęczenie.

Co więcej, okazało się, że nasilenie efektów długotrwałych choroby symulatorowej istotnie korelowało z nasileniem objawów tuż po wyjściu z symulatora ($r = 0,828$). Znaczenie miał też rodzaj wykonywanej misji – nasilenie objawów choroby symulatorowej najczęściej obserwowano dla sytuacji awaryjnych. Sugeruje to, że obciążenie pracą oraz stres mogą wzmacniać tego rodzaju zależność. Ponadto objawy choroby symulatorowej najczęściej występowały w trakcie zadań wykonywanych w godzinach 15:00–19:00, rzadziej o 11:00–15:00, a najrzadziej między 7:00 a 11:00. Jednocześnie trzeba wspomnieć, że Silverman i Slaughter (19) nie kontrolowali chronotypu osób badanych. Co ciekawe, w badaniu tym zależności między liczbą godzin nalotu a nasileniem choroby symulatorowej były odwrotne niż w innych badaniach. Co więcej, u członków załóg posiadających nalot wynoszący ponad 700 godz. objawy choroby symulatorowej były najmniejsze, mniejsze u osób z nalotem 301–400 godz. i 401–700 godz., a najsilniejsze u osób z najmniejszym nalotem – 0–300 godz.

MODELE TEORETYCZNE CHOROBY SYMULATOROWEJ

W literaturze przedmiotu wymieniane są dwie główne teorie mające na celu wyjaśnianie zjawiska choroby symulatorowej: Teoria Konflikty Sensorycznego (Sensory Conflict Theory) oraz Teoria Niestabilności Posturalnej (Postural Instability Theory).

Teoria Konflikty Sensorycznego zakłada, że do choroby symulatorowej, a mówiąc szerzej choroby lokomocyjnej, dochodzi w momencie, gdy informacje ze wszystkich zmysłów pomocnych w orientacji w przestrzeni i percepcji ruchu pozostają. Kiedy więc operator wykonuje zadanie w nowym otoczeniu (w tym przypadku na symulatorze), wzór informacji o ruchu, jaki miał do tej pory, pozostaje w konflikcie z tym, co jest prezentowane na symulatorze. Ta niezgodność między obecną informacją sensoryczną a tym, na co system percepcyjny był nastawiony, powoduje chorobę lokomocyjną, a w tym konkretnym przypadku chorobę symulatorową. Wsparciem dla tej teorii zdaniem jej zwolenników są badania, w których stwierdzono, że u pilotów z większą liczbą nalogu występuje większe nasilenie objawów choroby symulatorowej niż u pilotów z małym doświadczeniem lotniczym (22). Według badaczy wraz z nabywaniem doświadczenia lotniczego system percepcyjny pilota bardziej „przyzwyczajają się” do warunków realnego lotu, przez co podatność na różnice między warunkami symulowanymi a rzeczywistymi (wyrażona wielkością konfliktu sensorycznego) u doświadczonych pilotów jest większa.

Z Teorii Konflikty Sensorycznego badacze wyprowadzają jeszcze jeden wniosek. System percepcyjny człowieka jest plastyczny i w zależności od czasu ekspozycji na warunki symulowane oraz od właściwości indywidualnych pilota dostosowuje się do nowych warunków. Adaptacja ta pozwala na optymalizację funkcjonowania w nowych warunkach otoczenia, co jest istotne z punktu widzenia funkcjonowania w warunkach symulowanych, ale może prowadzić do zaburzonej reakcji już po powrocie do warunków rzeczywistych. Takiego rodzaju sytuacje, choć niezajdujące potwierdzenia w danych empirycznych, mogą wpływać na poziom bezpieczeństwa zadań wykonywanych już po ekspozycji na warunki symulowane. Z innej strony, zdaniem zwolenników Teorii Konflikty Sensorycznego adaptacja do warunków, które początkowo wywoływały objawy choroby symulatorowej, jest kolejnym argumentem przemawiającym za tą teorią. Mimo że teoria ta dotyczy rozbież-

ności zarówno w przypadku bodźców wzrokowych, przedsionkowych, jak i proprioceptywnych, to receptory przedsionkowe pełnią w tej teorii kluczową rolę. Teoria bowiem zakłada, że wystąpienie zaburzeń na poziomie receptorów przedsionkowych jest warunkiem zaistnienia objawów choroby symulatorowej.

Krytykę Teorii Konfliktu Sensorycznego, a jednocześnie alternatywny model mający na celu wyjaśnienie zjawiska choroby symulatorowej, przedstawiono w Teorii Niestabilności Posturalnej, której głównym przedstawicielem jest Stoffregen i wsp. (23–25). Zauważyli oni, że brak podobieństwa między doświadczaną a oczekiwaną informacją sensoryczną jest niemożliwy do zmierzenia, ponieważ w żaden sposób nie da się określić poziomu wyjściowego. Tym samym o wielkości tej różnicy między dwoma punktami odniesienia można wnioskować wyłącznie na podstawie objawów, zakładając, że im większe objawy choroby symulatorowej, tym większa różnica.

Mówiąc jeszcze inaczej, co podkreślają Stoffregen i Riccio (23) – nie znając punktu wyjściowego, nie możemy określić wielkości różnicy. Ponadto ww. autorzy stwierdzili, że konflikt sensoryczny jest zjawiskiem powszechnym, a jego rola sprowadza się do zmian adaptacyjnych, które polegają na wprowadzaniu modyfikacji w procesach kontroli działania. W związku z tym zaproponowano alternatywną teorię, u której podłoża leży twierdzenie, że choroba symulatorowa jest efektem długotrwałej niestabilności posturalnej. Według tej teorii występowanie objawów choroby symulatorowej wynika z tego, że osoba wystawiona na działanie warunków symulatorowych nie wprowadza właściwych strategii, które mają na celu ograniczenie ruchów ciała wywołanych przez „symulator”.

Stoffregen i Smart (24) przeprowadzili badanie, w którym prosili osoby biorące w nim udział, aby stały nieruchomo w poruszającym się pomieszczeniu. Okazało się, że poziom chwiejności postawy tuż przed prezentacją bodźców korelował dodatnio z poziomem choroby lokomocyjnej. Analogiczne wyniki uzyskali Owen i wsp. (26), którzy twierdzą, że na podstawie poziomu stabilności/niestabilności posturalnej możemy przewidywać, czy objawy choroby symulatorowej wystąpią czy też nie. Stabilność posturalna nie jest więc w tym podejściu traktowana tylko jako zmienna, której poziom zmienia się pod wpływem ekspozycji na warunki symulatorowe, ale także jako czynnik sprzyjający występowaniu zaburzeń związanych z chorobą symulatorową (24).

STRUKTURA CZYNNIKOWA CHOROBY SYMULATOROWEJ

W rozpatrywaniu charakteru choroby symulatorowej istotne jest określenie jej struktury czynnikowej. Najczęściej używanym subiektywnym wskaźnikiem choroby symulatorowej jest Kwestionariusz Choroby Symulatorowej (Simulator Sickness Questionnaire – SSQ), opracowany przez Kennedy'ego (12). Istotnym problemem w stosowaniu zarówno tego narzędzia, jak i innych metod samoopisowych, jest jednak to, że poszczególne skale wchodzące w ich skład są ze sobą silnie skorelowane. W znacznym stopniu utrudnia to budowanie modeli wyjaśniających dane zjawisko, a przez to interpretację wyników. Ponadto określenie, poprzez głębsze zrozumienie, czynników składających się na chorobę symulatorową zwiększa możliwości badawcze.

Problem ten podjęli w swojej pracy Bruck i Watters (27). Głównym postulatem sformułowanym u jej podstaw było stworzenie prostego, nieinwazyjnego i ekonomicznego wskaźnika do oceny podatności osoby badanej na chorobę symulatorową. W celu identyfikacji czynników mających związek z chorobą symulatorową badacze postanowili zastosować analizę czynnikową zmiennych, szacowanych za pomocą następujących metod: kwestionariusz choroby symulatorowej, kwestionariusz lęku, czynność oddechowa (wyrażona liczbą oddechów na minutę) oraz aktywność sercowo-naczyniowa (wyrażona liczbą skurczów serca na minutę).

Wyniki analiz przeprowadzonych przez Brucka i Wattersa wskazują na istnienie czterech głównych czynników składających się na zjawisko choroby symulatorowej:

- ogólny czynnik choroby symulatorowej,
- czynnik wizualny,
- pobudzenie,
- zmęczenie.

Co więcej, łącznie czynniki te wyjaśniają 78,27% wariacji obserwowanego zjawiska (26).

Ogólny czynnik choroby symulatorowej

Pierwszy z 4 czynników określonych w wyniku analizy czynnikowej badani opisali jako ogólny czynnik choroby symulatorowej. Czynnik ten zawiera większość zmiennych związanych z chorobą symulatorową. W szczególności są to: aktywność sercowo-naczyniowa, ogólny dyskomfort, zmęczenie, ślinotok, trudności w koncentracji, podwyższona potliwość, podwyższone mdłości, uczucie ciężkości głowy, uczucie falowania, zawroty głowy, problemy żołądkowe oraz lęk. Wymie-

nione składowe wyjaśniają 38,75% zmienności wynikających z 18 składowych.

Wyniki te sugerują, że symptomy wchodzące w skład ogólnego czynnika choroby symulatorowej są raczej związane z ogólnie ujętym złym samopoczuciem i są efektem procesów fizjologicznych, które leżą u podstaw 14 symptomów związanych ze złym samopoczuciem osób badanych. Szczególnie istotny jest tu lęk rozumiany jako zmiana pobudzenia w reakcji psychologicznej (interpretacji zdarzenia) i fizjologicznej. Uważa się, że czynnik ten nasila się wraz ze wzrostem liczby ruchomych bodźców prezentowanych w trakcie zadań symulatorowych i wyraża się wzrostem poszczególnych symptomów choroby symulatorowej, szacowanej za pomocą kwestionariusza choroby symulatorowej.

Czynnik wizualny

Drugi czynnik wyodrębniony z analiz to czynnik wizualny. W porównaniu z głównymi składowymi czynnika ogólnego choroby symulatorowej zawiera 3 dodatkowe komponenty: czynność oddechową, ból głowy oraz przemęczenie narządu wzroku. Bruck i Watters twierdzą, że struktura tego czynnika odzwierciedla relację między bezpośrednim wejściem sensorycznym (zmęczeniem wzroku) a bólem głowy, które były opisywane przez uczestników badania (27). Związek między fizycznymi objawami zmęczenia wzroku a narastającym bólem głowy w odpowiedzi na komputerowo generowaną prezentację bodźców wzrokowych jest dobrze udokumentowany. Autorzy badania twierdzą ponadto, że tendencja do bólów głowy może być związana ze wzrostem pobudzenia obszarów wzrokowych mózgu (27,28). Badacze nie podają, jaką rolę w czynniku wizualnym odgrywa czynność oddechowa.

Czynnik pobudzenie

Trzecim czynnikiem określonym w wyniku analizy czynnikowej jest pobudzenie. Jego składowe to: czynność oddechowa (najważniejszy komponent) oraz trudności w skupieniu się (tzw. zamazane widzenie, zawroty głowy czy dolegliwości żołądkowe). Czynność oddechowa jest kluczowa dla funkcjonowania autonomicznego układu nerwowego, czego dowodem są zmiany poziomu nasycenia krwi tlenkiem węgla w odpowiedzi na wysiłek czy stres psychologiczny (29).

Badania nad tymi zmianami w przepływach mózgowych są coraz bardziej popularne, co jest niewątpliwie zasługą rozwoju zaawansowanych metod obrazowania, np. fMRI (functional Magnetic Resonance Imaging – rezonans magnetyczny czynnościowy). Okazuje się,

że istnieje zależność między poziomem występowania zaburzeń lękowych a zmianami w poziomie tlenu węgla (29). Co więcej, okazuje się również, że zaburzenia w funkcjach oddechowych są charakterystyczne dla całego spektrum zaburzeń o charakterze lękowym. Pacjenci z zaburzeniami lękowymi przejawiają tendencję do hiperwentylacji czy zaburzeń rytmu oddechowego nawet w okresach, w których nie występuje faza paniki (30,31). Taka długotrwała hiperwentylacja skutkuje zmniejszeniem przepływu krwi przez mózg.

Co więcej, ryzyko zwiększonej częstości oddechu i związanej z tym hipokapnii dotyczy nie tylko osób z zaburzeniami lękowymi, ale również osób z podwyższonym stanem lęku. Te ostatnie mogą być bardziej podatne na stres psychologiczny, co przekłada się na nadmierny wzrost czynności oddechowej. Tak więc zależność między zmianami w częstości oddechu, hiperwentylacją a napadem paniki jest tutaj szczególnie istotnym argumentem (29,32).

Hiperwentylacja prowadzi do zmian w przepływie krwi przez mózg, co z kolei może skutkować zawrotami głowy czy problemami z koncentracją. Wszystko to jest następstwem spadku tlenu węgla. Kolejnym przykładem jest kliniczny obraz zaburzeń lękowych, w którym również stwierdza się występowanie symptomów analogicznych do wyżej wymienionych.

Czynnik zmęczenie

Ostatnim głównym czynnikiem wyodrębnionym w procesie analizy danych jest czynnik określony jako zmęczenie. Jego komponenty to: zmęczenie wzroku, uczucie ciężkości głowy oraz subiektywnie odbierane przemęczenie. Wyróżnienie tego czynnika pokrywa się z innymi doniesieniami wskazującymi na związek między wzrostem senności a ekspozycją na warunki symulatorowe (33–35).

Ponadto zależność między ruchami gałek ocznych, w szczególności oczopląsem, jako skutkiem przemęczenia mięśni sterujących narządem wzroku a nasilaniem bólów głowy jest również dobrze udokumentowana (36,37). Istnieje zresztą teoria, w myśl której choroba symulatorowa jest efektem przestymulowania mięśni sterujących narządem wzroku, co prowadzi do nieefektywnego działania procesów okoruchowych w trakcie ekspozycji na bodźce wzrokowe na symulatorze, a w konsekwencji – bólów głowy i przemęczenia narządu wzroku (38).

Mimo że czynnik zmęczenie, spośród wszystkich wyróżnionych jako główne składowe, opisywał najmniejszą część wariacji zmiennej „choroba symu-

latorowa”, zdaniem autorów w przypadku ekspozycji na bodźce trwające dłużej niż 6 min jego rola liniowo wzrastałaby. Bruck i Watters przypuszczają, że zmiany w czynności oddechowej – jako efekt nasilenia lęku związanego z ekspozycją na określonego rodzaju bodźce – prowadzą do zmian w stężeniu tlenu węgla we krwi, co ponownie nasila poziom lęku i zaburza wykonanie zadania. Reasumując, powyżej opisane wyniki prowadzą do wniosku, że istotnym elementem czynników odpowiedzialnych za występowanie choroby symulatorowej jest lęk.

CZAS TRWANIA EKSPOZYCJI NA BODŹCE A NASILENIE SYMPTOMÓW CHOROBY SYMULATOROWEJ

Jednym z kluczowych czynników, który musi być brany pod uwagę w badaniach nad zjawiskiem choroby symulatorowej, jest czas ekspozycji na bodźce mające znaczenie dla jej wystąpienia. Dane z literatury wskazują, że wydłużająca się ekspozycja na bodźce symulatorowe skutkuje nasileniem się objawów (39,40). Badanie odnoszące się do tego zagadnienia przeprowadzili Min i wsp. (41).

W pierwszej części badania osoby biorące w nim udział zostały poproszone o wykonanie 10-minutowego zadania, które miało na celu zapoznanie ich z symulatorem. Następnie, 5 minut przed startem badania właściwego, u badanych określono wartości referencyjne zarówno dla zmiennych fizjologicznych (w tym wypadku chodziło o zapis EEG), jak i wskaźników subiektywnych (w badaniu zastosowano kwestionariusz choroby symulatorowej – SSQ). W trakcie badania, w czasie 60-minutowej sesji zadaniem uczestników było prowadzenie samochodu ze stałą prędkością 60 ± 10 km/godz. na drodze czteropasmowej. W trakcie całego zadania były rejestrowane zmienne z zapisu EEG, a dodatkowo w odstępach 5-minutowych badani byli proszeni o subiektywne określenie objawów choroby symulatorowej (w sumie ocena ta przeprowadzana była 12-krotnie).

Ponieważ w trakcie badań nad chorobą symulatorową istotne jest zachowanie ciągłości ekspozycji na bodźce wizualne, osoby badane nie przerywały badania za każdym razem, gdy były proszone o subiektywną ocenę nasilenia symptomów choroby symulatorowej. Pytała je o to „on-line” osoba przeprowadzająca eksperyment. Czas potrzebny na udzielenie jednorazowej odpowiedzi na wszystkie pytania wchodzące w skład kwestionariusza choroby symulatorowej wynosił około 30–40 s, co daje średnio 2 s na pytanie. Kwestionariusz choroby sy-

mulatorowej był wypełniany jeszcze raz, po zakończeniu prezentacji bodźców na symulatorze.

Wraz z czasem trwania badania objawy choroby symulatorowej nasilały się w sposób prostoliniowy. Uczucie mdłości i dezorientacji było obserwowane już po 10 min zadania, natomiast dyskomfort i okulomotoryka nasilały się po 15 min. Wynik ogólny choroby symulatorowej, na który składają się wyżej wymienione składowe, także nasilał się wraz z czasem ekspozycji, przy czym istotne różnice obserwowane były już po 10 min.

Z kolei wskaźniki fizjologiczne choroby symulatorowej – zarówno na poziomie centralnego, jak i autonomicznego układu nerwowego (szacowane za pomocą EEG i reakcji skórno-galwanicznej – galvanic skin response, GSR) – okazały się istotnie zmieniać, w porównaniu z warunkami kontrolnymi, już po 5 min. Porównanie obydwu grup wskaźników sugeruje, że zmiany na poziomie wskaźników psychologicznych w odniesieniu do zmian na poziomie wskaźników fizjologicznych są odroczone w czasie. Oznacza to, że zastosowanie wskaźników fizjologicznych pozwala na rozpoznawanie symptomów choroby symulatorowej już na wcześniejszym, niedostępnym introspekcyjnie poziomie. Przy tym badacze zaznaczają, że ograniczenie się tylko do jednej z miar – subiektywnej czy obiektywnej oceny – w znacznym stopniu ogranicza możliwości interpretacyjne.

W tym miejscu warto wskazać pewną słabość analiz przeprowadzonych przez Min i wsp. (41). Niestety autorzy porównują każdy kolejny pomiar z wartością referencyjną, czyli pomiarem wyjściowym, nie przeprowadzając jednocześnie porównań post-hoc między każdym kolejnym pomiarem a poprzednim. Wykonując takie dodatkowe analizy, można by uzyskać informacje, w którym momencie następuje zachowanie przyrostu objawów choroby symulatorowej, co jest szczególnie istotne z punktu widzenia przeprowadzania kolejnych badań. Choroba symulatorowa, podobnie jak lęk czy pobudzenie, nie może narastać w nieskończoność. Niewątpliwie problem ten powinien być przedmiotem rozbudowanych badań.

Wyniki innego badania, autorstwa Stanneya i wsp., wskazują na podobne efekty (42). Wzięło w nim udział 1000 osób, a czas badania trwał 15, 30, 45 lub 60 minut, w schemacie niezależnych pomiarów (poprzednio opisywane badanie było w schemacie powtarzanych pomiarów). Ponad 80% badanych stwierdziło występowanie takich objawów, jak mdłości, zaburzenia okoruchowe i dezorientacja. Ponadto osoby badane relacjonowały, że

uczucie dezorientacji utrzymywało się do 24 godz. Spośród wszystkich badanych 12,9% przedwcześnie zakończyło je z powodu złego samopoczucia – u 9,2% z nich nastąpił odruch wymiotny, a u 1,2% wystąpiły wymioty.

Reasumując, przyjmuje się, że ekspozycja na warunki symulatorowe nie powinna przekraczać 2 godz. Im dłuższy czas ekspozycji, tym większe nasilenie objawów choroby symulatorowej. Zalecane są także przerwy między zadaniami, a pojedyncze zadanie nie powinno trwać dłużej niż 1 godz. Najczęściej w badaniach na symulatorach pojedyncze zadanie trwa 5–25 min plus 10-minutowa przerwa.

WSKAŹNIKI CHOROBY SYMULATOROWEJ

Ponieważ choroba symulatorowa jest zjawiskiem wielowymiarowym i wielobjawowym, stawia przed osobami badającymi ją szczególne wymagania. Dotyczą one zarówno definicji wskaźników choroby symulatorowej, jak i roli, jaką pełnią różnice indywidualne w nasileniu występowania tego zjawiska (np. lęk, który może przekładać się na nasilenie objawów choroby symulatorowej). Ponadto pojawia się pytanie, na ile te objawy muszą być silne, aby mogły zostać uchwycone. Zwraca się bowiem uwagę, że symptomy choroby symulatorowej często są niewielkie i występują tylko w trakcie trwania ekspozycji na warunki symulatorowe. Tym samym oznacza to, że ustępują z reguły zaraz po zaprzestaniu badania. Kolejnym problemem jest przyzwyczajanie się osób badanych do warunków symulowanych, co sprawia, że badanie w warunkach powtarzanego pomiaru obciążone jest dużym błędem, a badania poprzeczne wymagają dużej liczby uczestników.

Określenie poziomu choroby symulatorowej opiera się na wskaźnikach obserwacyjnych (dotyczy to głównie wskaźników fizjologicznych dostępnych obserwatorowi, np. pocenia się, blednięcia twarzy, wzmożonej aktywności oddechowej) bądź na wskaźnikach fizjologicznych, rejestrowanych z wykorzystaniem metod obiektywnych.

Swoistą odmianą wskaźników obserwacyjnych jest kwestionariusz SSQ, w którym osoba badana sama, na podstawie własnych odczuć, ocenia nasilenie występowania określonych objawów. Na kwestionariusz SSQ składa się 16 symptomów charakterystycznych dla choroby symulatorowej. Zadaniem osoby badanej jest przypisanie określonemu symptomowi wagi, która oznacza nasilenie konkretnych objawów. Skala, na której oceniane jest nasilenie objawów choroby symulatorowej, jest 4-stopniowa: brak symptomów choroby symulatorowej,

niewielkie symptomy choroby symulatorowej, umiarkowane symptomy choroby symulatorowej oraz poważne symptomy choroby symulatorowej.

Wynik z SSQ wyrażony jest zarówno w postaci ogólnego poziomu choroby symulatorowej, jak i składających się na jego poziom wskaźników dla poszczególnych skal. Skale te to: mdłości, okulomotoryka i dezorientacja. Na skalę „mdłości” składają się takie symptomy, jak ślinotok, pocenie się, mdłości, dolegliwości żołądkowe i bekanie. Skala określana jako okulomotoryka składa się z takich symptomów, jak zmęczenie, ból głowy, zmęczenie oczu oraz trudności z koncentracją. Wreszcie na dezorientację składają się zawroty głowy, uczucie odurzenia, zarówno przy otwartych, jak i zamkniętych oczach, oraz zamazane (nieostre) widzenie. Przy tym skale te nie są ortogonalne względem siebie.

Niewątpliwą zaletą SSQ jest to, że jest on narzędziem wielobjawowym, podobnie jak wielobjawowa jest choroba symulatorowa, oraz że pozwala na dokonywanie porównań między różnymi symulatorami czy grupami osób badanych. W znacznym stopniu ułatwia to formułowanie szeroko zakrojonych wniosków z przeprowadzonych badań.

W niniejszym artykule w kilku miejscach podkreślana jest rola wskaźników fizjologicznych jako ważnych w dostarczaniu informacji o chorobie symulatorowej. Jednym z kluczowych badań potwierdzających związek między zmiennymi fizjologicznymi a nasileniem objawów choroby symulatorowej są cytowane wcześniej badania Min i wsp. (41). Wyniki tych badań pokazują, że zastosowanie wskaźników fizjologicznych pozwala na rozpoznawanie symptomów choroby symulatorowej już na wcześniejszym, niedostępnym introspekcyjnie poziomie. Niestety to jedno z niewielu badań dotyczących wskaźników fizjologicznych, które zostały opublikowane w recenzowanych czasopismach naukowych. W innych badaniach nie ustalono występowania podobnych zależności, mimo że zakres zmiennych dotyczył także poziomu katecholamin, ciśnienia krwi oraz krytycznej częstotliwości migotania (43).

Jednym z innych wskaźników fizjologicznych, niż opisywane w badaniu Mina i wsp., który może być rozpatrywany w badaniach nad zjawiskiem choroby symulatorowej, jest częstość skurczów serca. Spośród badanych zmiennych fizjologicznych istotne związki między wskaźnikami sercowo-naczyniowymi a symptomami choroby symulatorowej są relacjonowane stosunkowo rzadko. Niektóre badania wskazują, że częstość skurczów serca zmienia się w porównaniu z wartościami wyjściowymi wraz z ekspozycją na warunki symulowane.

W jednym z badań oceniano wpływ 1-godzinnej ekspozycji na warunki symulatorowe na częstość skurczów serca (44). Osoby badane zostały podzielone na 2 grupy ze względu na skłonności do choroby lokomocyjnej lub jej braku. Wyniki badania wskazują, że po 30 min trwania badania następuje wzrost w aktywności układu sympatycznego oraz parasympatycznego, z przewagą parasympatycznego (44). Badania wskazujące na podobne zależności są jednak w zdecydowanej mniejszości. Najczęściej wyniki przeprowadzanych eksperymentów donoszą o słabym lub zupełnym braku takiego związku.

Jedno z niewielu badań wskazujących na takie zależności zostało przeprowadzone przez Bertina i wsp. (45). Po pierwsze założono, że choroba lokomocyjna jest efektem konfliktu wzrokowo-przedsionkowego – powstało więc pytanie, czy to samo dotyczy choroby symulatorowej. Jeżeli tak, to podatność u pacjentów z zaburzeniami układu przedsionkowego powinna być mniejsza niż w grupie porównawczej (tak samo jak to ma miejsce w przypadku choroby lokomocyjnej). Ponadto postanowiono sprawdzić, czy występowanie choroby symulatorowej może być przewidywane na podstawie związku między reakcją psychofizyczną badanego a równoległe rejestrowaną aktywnością układu neurowegetatywnego. Gdyby okazało się to możliwe, zbliżające się zaburzenia związane z chorobą symulatorową mogłyby być przewidywane zanim jeszcze objawy odczuwane subiektywnie byłyby doświadczane przez osobę badaną.

W badaniu zastosowano symulator, w którym pole widzenia wynosiło 150 stopni. W trakcie wszystkich przebiegów rejestrowano zarówno reakcję skórno-galwaniczną, jak i częstość skurczów serca. Reakcja psychofizyczna szacowana była jako subiektywna ocena własnego samopoczucia osób badanych i była rejestrowana w sposób ciągły. Osoby badane udzielały odpowiedzi na skali 10-stopniowej, której krańcami były stwierdzenia: „wszystko jest w porządku” oraz „zamierzam wymiotować”. Cursor, za którego pomocą badani wprowadzali odpowiedzi, umieszczony był w kolumnie sterującej pojazdem.

W badaniu Bertina i wsp., inaczej niż w większości badań, podatność na chorobę symulatorową była oceniana za pomocą Kwestionariusza Choroby Lokomocyjnej (Motion Sickness Questionnaire – MSQ) (45). Był on wypełniany przed każdą sesją badawczą. Ponadto w badaniu oceniano poziom lęku jako stan i jako cechę za pomocą kwestionariusza STAI Spielberga.

Procedura badawcza rozpoczynała się od wypełnienia kwestionariuszy MSQ i STAI oraz krótkiej oceny

układu wzrokowego i przedsionkowego. Sesje badawcze zostały podzielone na trzy części. Początkowa część trasy miała na celu umożliwienie osobom badanym zapoznanie się z symulatorem, a osobie przeprowadzającej badanie – określenie poziomu wyjściowego wskaźników fizjologicznych. W celu zminimalizowania możliwości wystąpienia jakichkolwiek symptomów choroby symulatorowej w tej części badania zadanie było prezentowane tylko na jednym z 3 ekranów (centralnym). Po tej sesji badani wypełniali kwestionariusz STAI (tylko skalę opisującą lęk jako stan) oraz otrzymywali instrukcję dotyczącą dalszych zadań na symulatorze.

Zadanie na symulatorze było pomyślane tak, żeby wywołać objawy choroby symulatorowej – na zadanie składało się środowisko miejskie z dużą liczbą ostrych zakrętów oraz sygnalizacji świetlnych. Taki wybór zadania wynikał z wcześniejszych badań, w których ustalono, że powtarzająca się ekspozycja na ostre zakręty i zatrzymywanie się w wyznaczonych punktach zwiększa prawdopodobieństwo wystąpienia choroby symulatorowej. (Poza złożonością sceny także prędkość wyświetlanych elementów i dynamika jazdy z częstą zmianą prędkości są traktowane jako czynniki mogące przyczynić się do zwiększania się prawdopodobieństwa wystąpienia choroby symulatorowej).

Ta część badania składała się z dwóch 15-minutowych sesji. Sesje były przedzielone krótką przerwą, w trakcie której osoby badane wypełniały kwestionariusz STAI – skalę x1. Kwestionariusz STAI oraz kwestionariusz „sensick” były wypełniane ponownie po zakończeniu drugiej sesji. W badaniu wzięły udział osoby w wieku 24–60 lat – 33 zdrowe oraz 6 osób z zaburzeniami układu przedsionkowego.

Wyniki Bertina i wsp. potwierdziły, że choroba symulatorowa jest czynnikiem ograniczającym możliwości korzystania z symulatorów (45). Okazuje się, że u ponad 50% badanych wystąpiły objawy dyskomfortu, a u niektórych efekt ten wydłużał się nawet do kilku dni. Wyniki badania sugerują także, że choroba symulatorowa współwystępuje ze wzrostem lęku, który oceniano za pomocą kwestionariusza STAI. Autorzy uzyskany wynik wyjaśniają, powołując się na doniesienia z innych prac, w których wskazywane są związki między lękiem a zmiennymi fizjologicznymi (zależności te opisywane były na początku niniejszego artykułu).

Na poziomie zmiennych fizjologicznych również znaleziono istotne związki. Zdaniem autorów wykazanie takich zależności wspiera przypuszczenie, że na podstawie zmiennych fizjologicznych, jako wskaźników autonomicznego układu nerwowego, możliwe jest przewi-

dywanie objawów choroby symulatorowej. Najsilniejsze efekty ustalono dla wskaźnika oporność skóry. Okazuje się, że zaczynała ona spadać przy wartości 0,3 subiektywnie ocenianej choroby symulatorowej. Z kolei kiedy subiektywne wskaźniki choroby symulatorowej stabilizowały się, to samo się działo z poziomem oporności skóry. Podobny kierunek zależności ustalono dla temperatury skóry oraz częstości skurczów serca, które również obniżały się wraz ze wzrostem choroby symulatorowej. Zależności te występowały jednak w drugiej fazie badania i dotyczyły danych przetransformowanych.

Innym ważnym wskaźnikiem wykorzystywanym w badaniach nad chorobą symulatorową jest wskaźnik równowagi ciała. Utrata równowagi jest często relacjonowanym problemem u osób opuszczających stanowisko pracy na symulatorze. Dzieje się tak, ponieważ symulator generując zmiany wizualne, wymusza na operatorze adaptację do nowego środowiska – zarówno na poziomie wzrokowym, jak i przedsionkowym. W momencie zakończenia badania i opuszczenia środowiska pracy na symulatorze operator ponownie musi się zaadaptować do naturalnych warunków. Tak więc konflikt między bodźcami wzrokowymi a przedsionkowymi może wywoływać niestabilność posturalną oraz chorobę symulatorową.

Przy ocenie choroby symulatorowej należy rozpatrywać współdziałanie 3 komponentów układu równowagi: wzrokowego, przedsionkowego i proprioceptywnego. Te same komponenty pełnią kluczową rolę w procesie utrzymywania równowagi w pozycji stojącej. Reakcje odruchowe, których efektorami są mięśnie posturalne kończyn i tułowia, wykazują niższy próg pobudliwości niż reakcje okoruchowe, większą czułość i dłuższy czas trwania. Tym samym metody posturograficzne są dobrym wskaźnikiem ataksji, która jest wymieniana jako jeden z symptomów choroby symulatorowej.

Niestety zdaje się, że wariancja międzypłciowa w obszarze tej zmiennej wydaje się być duża. Średnia liczba osób biorących udział w badaniach, w których nie było istotnych różnic, wynosiła 61, natomiast wyniki istotne uzyskiwane są dla grup o średniej liczebności 120 osób. Badanie, w którym można znaleźć wytłumaczenie tego rodzaju efektu, zostało przeprowadzone przez Hamiltona (46). Składało się ono z 2 części. W pierwszej części osoby badane uczestniczyły w 10 sesjach, które miały na celu ocenę procesu uczenia się oraz ustabilizowanie poziomu wykonania zadania na symulatorze. W drugiej części porównano efekt ekspozycji warunków symulowanych na poziom wskaźników z wybranych 4 testów. Dane obiektywne były także uzupełnione o subiektywną ocenę poczucia równowagi.

Wyniki, na poziomie wszystkich 4 testów ataksji, wskazują na występowanie procesu uczenia się.

Z kolei badania Kennedy'ego wskazują ponadto, że poziom zmiennych mierzonych za pomocą metod posturograficznych istotnie koreluje ze skalą dezorientacji z kwestionariusza SSQ (12). Im wyższy poziom dezorientacji, tym gorsze wykonanie testów posturograficznych. W przeprowadzonych przez Kennedy'ego badaniach posturograficznych wykorzystywano zarówno warunki statyczne, w których zadanie osoby badanej polega na utrzymywaniu nieruchomej postawy w określonym przedziale czasowym, jak i warunki dynamiczne, w których osoby badane muszą np. pokonać trasę wzdłuż linii.

W innych badaniach Stoffregen i wsp. postanowili sprawdzić, czy na podstawie wskaźników posturograficznych można przewidywać poziom choroby symulatorowej (23–25). Badacze stwierdzili, że zarówno zróżnicowanie we wskaźnikach posturograficznych, jak i przyspieszenie wychylenia postawy są dobrymi wskaźnikami choroby symulatorowej. Co więcej, różne nasilenie ruchów głowy może również zwiększać prawdopodobieństwo wystąpienia choroby symulatorowej.

Istnieją jednak dane, które stawiają pod znakiem zapytania to podejście. Wyniki niektórych badań wskazują bowiem, że wskaźniki posturograficzne nie są wrażliwe na zakres pola widzenia, który jest związany z nasileniem objawów choroby symulatorowej (47). Co więcej, niektóre badania wskazują na brak zależności między wskaźnikami posturograficznymi a subiektywną oceną choroby symulatorowej (8,48,49). Potencjalną przyczyną takiego stanu rzeczy może być zdaniem niektórych badaczy to, że zmiany we wskaźnikach posturograficznych zaczynają dopiero mieć miejsce po długiej prezentacji na warunki symulatorowe (50). Inne badania wskazują na inną przyczynę takiego stanu – na różnice międzypłciowe. Okazuje się bowiem, że w wyniku ekspozycji na warunki szybkiego tempa działania (60 mph) w porównaniu z wolnym tempem (25 mph) kobiety w porównaniu z mężczyznami wykazywały się większą niestabilnością posturalną oraz relacjonowały występowanie nasilonego dyskomfortu związanego z działaniem mechanizmów okulomotorycznych (48).

PODSUMOWANIE

Zjawisko choroby symulatorowej jest ważne nie tylko z perspektywy naukowej, ale i praktycznej. Tym samym celem badań nad tym zjawiskiem jest nie tylko rozstrzygnięcie sporów teoretycznych o jego charakter, ale

także, co najważniejsze, budowanie takich warunków pracy na symulatorach, które będą optymalne zarówno dla procesu szkoleniowego, jak i samych uczestników badań. Wskaźnikiem osiągnięcia tego celu będą jak najmniejsze objawy choroby symulatorowej. Choroba symulatorowa może być oceniana za pomocą miar subiektywnych i obiektywnych, rozumianych jako wskaźniki pobudzenia emocjonalnego w efekcie ekspozycji na bodźce środowiskowe.

Wśród metod subiektywnych niewątpliwie kluczowy jest kwestionariusz SSQ, opracowany przez Kennedy'ego, natomiast wśród metod fizjologicznych ważną jest rejestracja parametrów oddechowych oraz reakcji skórno-galwanicznej. W następnej kolejności warto rozważyć możliwość zastosowania metod posturograficznych i okulograficznych oraz wskaźników sercowo-naczyniowych. Przy tym parametry sercowo-naczyniowe zdają się być jednym ze wskaźników mniej czułych na chorobę symulatorową. Z kolei przy stosowaniu wskaźników posturograficznych należy rozważyć czas trwania badania.

Nie bez znaczenia są także warunki pracy na symulatorze – dotyczy to zarówno samych wyświetlaczy, jak i czasu badania. Przyjmuje się także, że minimalny czas między badaniami powinien wynosić jeden dzień oraz nie powinien przekraczać jednego tygodnia. Sesje symulatorowe nie powinny przekraczać 2 godzin. Ważne jest także minimalizowanie zmian w otoczeniu, włączając w to kontrolę przełączania wzrokowego.

Wreszcie ostatnim, ale nie najmniej ważnym elementem jest kontrola poziomu lęku oraz nastroju osób badanych. W przeważającej części badań z zakresu choroby symulatorowej lęk, mierzony za pomocą zarówno metod samoopisowych, jak i reakcji fizjologicznych, pełnił istotną rolę w nasileniu objawów związanych z chorobą symulatorową. Tym samym osoby przeprowadzające badania, treningi oraz terapię na symulatorach powinny z jednej strony monitorować poziom objawów związanych z chorobą symulatorową, a z drugiej – dążyć do zapewnienia optymalnego komfortu osobom badanym.

PIŚMIENNICTWO

1. Andysz A., Waszkowska M., Merecz D., Drabek M.: Zastosowanie symulatorów jazdy w badaniach psychologicznych. *Med. Pr.* 2010;61(5):573–582
2. Fisher D., Rizzo M., Caird J.K., Lee J.: *Handbook of driving simulation for engineering, medicine and psychology*. CRC Press, Boca Raton 2011
3. Krijn M., Emmelkamp P.M.G., Olafsson R.P., Biemond R.: Virtual reality exposure therapy of anxiety disorders: A review. *Clin. Psychol. Rev.* 2004;24(3):259–281
4. Krijn M., Emmelkamp P.M.G., Biemond R., de Wilde de Ligny C., Schuemie M.J., van der Mast C.A.P.G.: Treatment of acrophobia in Virtual Reality: the role of immersion and presence. *Behav. Res. Ther.* 2004;42(2):229–239
5. Beck J.G., Palyo S.A., Winer E.H., Schwagler B.E., Ang E.J.: Virtual Reality Exposure Therapy for PTSD symptoms after a road accident: an uncontrolled case series. *Behav. Ther.* 2007;38(1):39–48
6. Cobb S., Nichols S., Ramsey A., Wilson J.: Virtual reality-induced symptoms and effects (VRISE). *Presence* 1999;8(2):169–186
7. Hettlinger J.L., Berbaum K.S., Kennedy R.S., Dunlap W.P., Nolan M.D.: Vection and simulator sickness. *Mil. Psychol.* 1990;2(3):171–181
8. Kolasinki E.M.: Prediction of simulator SICKNESS in a virtual environment [rozprawa doktorska]. University of Central Florida, Orlando 1996
9. Cobb S., Nichols S., Ramsey A., Wilson J.: Virtual reality-induced symptoms and effects (VRISE). *Presence* 1999;8(2):169–186
10. Biernacki M., Tarnowski A.: The effect of age and personality on the main cognitive processes in drivers. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health* 2011;23(4):367–379. DOI: 10.2478/s13382-011-0035-x
11. McCauley M.E.: Research issues in simulator sickness: Proceedings of a workshop. National Academy Press, Washington D.C. 1984
12. Kennedy R.S., Fowlkes J.E.: Simulator sickness is polygenic and polysymptomatic: Implications for research. *Int. J. Aviat. Psychol.* 1992;2(1):23–38
13. Kennedy R.S., Frank L.H.: A review of motion sickness with special reference to simulator sickness (Tech. Rep. NAVTRAEQUIPCEN 81-C-0105-16). Naval Training Equipment Center, Orlando 1985
14. 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
15. Wright R.H.: Helicopter simulator sickness: A state-of-the-art review of its incidence, causes, and treatment (ARI Res. Rep. 1680). U.S. Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences, Alexandria, 1995
16. Crowley J.S.: Simulator sickness: A problem for Army aviation. *Aviat. Space Environ. Med.* 1987;58(4):355–357
17. 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
18. Baltzley D.R., Kennedy R.S., Berbaum K.S., Lilienthal M.G., Gower D.W.: The time course of postflight simulator sickness symptoms. *Aviat. Space Environ. Med.* 1989;60(11):1043–1048
 19. Silverman D.R., Slaughter R.A.: An exploration of simulator sickness in the MH-60G operational flight trainer, an advanced wide field-of-view helicopter trainer (Rep. No. AL/HR-TR-1994-0173). Aircrew Training Research Division, Human Resources Directorate, Mesa 1995
 20. Reason J.T., Brand J.J.: *Motion Sickness*. Academic Press, London 1975
 21. Reason J.T.: Motion sickness adaptation: A neural mismatch model. *J. R. Soc. Med.* 1978;71(11):819–829
 22. Kennedy R.S., Lilienthal M.G., Berbaum K.S., Baltzley D.R., McCauley M.E.: Simulatorsickness in U.S. Navy flight simulators. *Aviat. Space Environ. Med.* 1989;60(1):10–16
 23. Stoffregen T.A., Riccio G.E.: An ecological critique of the sensory conflict theory of motion sickness. *Ecol. Psychol.* 1991;3(3):159–194
 24. Stoffregen T.A., Smart L.J. Jr: Postural instability precedes motion sickness. *Brain Res. Bull.* 1998;47(5):437–448
 25. Stoffregen T.A., Hettinger L.J., Haas M.W., Roe M.M., Smart L.J.: Postural instability and motion sickness in a fixed-base flight simulator. *Hum. Factors* 2000;42(3):458–469
 26. Owen N., Leadbetter A.G., Yardley L.: Relationship between postural control and motion sickness in healthy subjects. *Brain Res. Bull.* 1998;47(5):471–474
 27. Bruck S., Watters P.A.: The factor structure of cybersickness. *Displays* 2011;32(4):153–158
 28. Gerwig M., Niehaus L., Kastrup O., Stude P., Diener H.C.: Visual cortex excitability in migraine evaluated by single and paired magnetic stimuli. *Headache* 2005;45(10):1394–1399
 29. Giardino N.D., Friedman S.D., Dager S.R.: Anxiety, respiration, and cerebral blood flow: implications for functional brain imaging. *Compr. Psychiatry* 2007;48(2):103–112
 30. Alpers G.W., Wilhelm F.H., Roth W.T.: Psychophysiological assessment during exposure in driving phobic patients. *J. Abnorm. Psychol.* 2005;114(1):126–139
 31. Papp L.A., Martinez J.M., Klein D.F., Coplan J.D., Norman R.G., Cole R. i wsp.: Respiratory psychophysiology of panic disorder: three respiratory challenges in 98 subjects. *Am. J. Psychiatry* 1997;154(11):1557–1565
 32. Ley R.: Blood, breath, and fears; a hyperventilation theory of panic attacks and agoraphobia. *Clin. Psychol. Rev.* 1985;5(4):271–285
 33. Graybiel A., Knepton J.: Sopite syndrome: a sometimes sole manifestation of motion sickness. *Aviat. Space Environ. Med.* 1976;47(8):873–882
 34. Kiniorski E.T., Weider S.K., Finley J.R., Fitzgerald E.M., Howard J.C., di Nardo P.A. i wsp.: Sopite symptoms in the optokinetic drum. *Aviat. Space Environ. Med.* 2004;71(10):872–875
 35. Lawson B.D., Mead A.M.: The sopite syndrome revisited: drowsiness and mood changes during real or apparent motion. *Acta Astronaut.* 1998;43(3–6):181–192
 36. Gupta V.K.: Motion sickness is linked to nystagmus-related trigeminal brain stem input: a new hypothesis. *Med. Hypotheses* 2005;64(6):1177–1181
 37. Young L.R., Sienko K.H., Lyne L.E., Hecht H., Natapoff A.: Adaptation of the vestibulo-ocular reflex, subjective tilt, and motion sickness to head movements during short-radius centrifugation. *J. Vestib. Res.* 2003;13(2):65–77
 38. Ebenholtz S.: Motion sickness and oculomotor systems in virtual environments. *Presence* 1992;1(3):302–305
 39. Kennedy R., Stanney K.M., Dunlap W.: Duration and exposure to virtual environments: sickness curves during and across sessions. *Presence* 2000;9(5):463–472
 40. Lackner J.R., Larry R.S.: Motion sickness. W: Squire R. [red.]. *Encyclopedia of Neuroscience*. Academic Press, Oxford 2009, ss. 989–993
 41. Min B.C., Chung S.C., Min Y.K., Sakamoto K.: Psychophysiological evaluation of simulator sickness evoked by a graphic simulator. *Appl. Ergon.* 2004;35(6):549–556
 42. Stanney K.M., Kingdon K.S., Nahmens I., Kennedy R.S.: What to expect from immersive virtual environment exposure: influences of age, gender, body mass index, and past experience. *Hum. Factors* 2003;45(3):504–520
 43. Igarashi H., Noritake J., Furuta N., Shindo K., Yamazaki K., Okamoto K.: Is the virtual reality a gentle technology for humans? An experimental study of the safety features of a virtual reality system. *IEICE Trans. Inf. Syst.* 1994;E77-D(12):1379–1384
 44. Zużewicz K., Saulewicz A., Konarska M., Kaczorowski Z.: Heart rate variability and motion sickness during forklift simulator driving. *Int. J. Occup. Saf. Ergon.* 2011;17(4):403–410
 45. Bertin R.J.V., Guillot A., Collet C., Vienne F., Espié S., Graf W.: Objective measurement of simulator sickness and the role of visual-vestibular conflict situations: a study with vestibular-loss (a-reflexive) subjects. *Proceedings of the Society for Neurosciences 34th Annual Meeting*, 23–27 października 2004, San Diego, USA. Society for Neurosciences, San Diego 2009 [cytowany 1 stycznia 2012]. Adres: <http://cogprints.org/3928/1/sfn2004.pdf>

-
46. Hamilton K.M., Kantor L., Megee L.E.: Limitations of postural equilibrium test for examining simulator sickness. *Aviat. Space Environ. Med.* 1989;60(3):246–251
 47. Ijsselsteijn W., Ridder H., Freeman J., Avons S., Bouwhuis D.: Effects of stereoscopic presentation, image motion, and screen size on subjective and objective corroborative measures of presence. *Presence* 2001;10(3):298–311
 48. Ehrlich J.A., Singer M.J.: Simulator sickness in stereoscopic vs. monoscopic helmet mounted DISPLAYS. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 40th Annual Meeting*, 2–6 września 1996, Philadelphia, USA. Human Factors and Ergonomics Society, Santa Monica 1996, ss. 1299–1299
 49. Mourant R.R., Thattacherry T.R.: Simulator sickness in a virtual environment driving simulator. *Proceedings of the 44th Annual Meeting of the Human Factors and Ergonomics Society*. 29 lipca – 4 sierpnia, 2000, San Diego, USA. Human Factors and Ergonomics Society, Santa Monica 2000, ss. 534–537
 50. Murata A.: Effects of Duration of Immersion in a Virtual Reality Environment on Postural Stability. *Int. J. Hum. Comput. Interact.* 2004;17(4):463–477