

Zastosowanie rzeczywistości wirtualnej w rehabilitacji neurologicznej

Virtual Reality in Neurorehabilitation

Agnieszka Stasienko^A, Iwona Sarzyńska-Długosz^{A, F}

Oddział Rehabilitacji Neurologicznej, II Klinika Neurologiczna, Instytut Psychiatrii i Neurologii, Warszawa, Polska/Neurorehabilitation Ward, 2nd Neurological Clinic, Institute of Psychiatry and Neurology, Warsaw, Poland

A – opracowanie koncepcji i założeń (preparing concepts)
B – opracowanie metod (formulating methods)
C – przeprowadzenie badań (conducting research)
D – opracowanie wyników (processing results)
E – interpretacja i wnioski (interpretation and conclusions)
F – redakcja ostatecznej wersji (editing the final version)

Streszczenie

W niniejszym artykule zebrano aktualne dane dotyczące nowoczesnych technologii informatycznych oraz możliwości zastosowania rzeczywistości wirtualnej w rehabilitacji. Przeanalizowano aktualne doniesienia naukowe dotyczące możliwych wskazań, korzyści i ograniczeń stosowania wirtualnej rzeczywistości w rehabilitacji chorych ze schorzeniami układu nerwowego. Trening z wykorzystaniem wirtualnej rzeczywistości jest coraz szerzej stosowanym narzędziem w rehabilitacji neurologicznej w chorobach ostrych i przewlekłych, zarówno w przypadku deficytów czuciowo-ruchowych jak i zaburzeń funkcji poznawczych. Konieczne są dalsze duże badania, z randomizacją celem oceny skuteczności i bezpieczeństwa zastosowania terapii z wykorzystaniem wirtualnej rehabilitacji w różnych jednostkach chorobowych.

Słowa kluczowe:

rzeczywistość wirtualna, neurorehabilitacja

Abstract

This article includes current information on the use of modern IT solutions and virtual-reality (VR)-based technologies in medical rehabilitation. A review of current literature on VR-based interventions and their indications, benefits and limitations in patients with nervous system diseases was conducted. The popularity of VR-based training as a tool used for rehabilitation of patients with acute and chronic deficits in both sensory-motor and cognitive disorders is increasing. Still, there is a need for large randomized trials to evaluate the efficacy and safety of VR-based rehabilitation techniques in different disease entities.

Key words:

virtual reality, neurorehabilitation

email: astasienko@gmail.com

Wstęp

Rozwój technologii komputerowych oraz systemów informatycznych sprawia, że znajdują one coraz szersze zastosowania w medycynie. Jedną z dziedzin, w które dynamicznie wkraczają nowoczesne technologie jest rehabilitacja. Coraz więcej nowych urządzeń i oprogramowania tworzone jest celem wdrożenia i wykorzystywania w procesie rehabilitacji. Wielu producentów przytacza argument, że tradycyjna terapia często jest mało stymulująca dla pacjenta, poprzez ciągłe powtarzanie tych samych ruchów pacjent zaczyna się nudzić, przez co spada jego zaangażowanie w wykonywane ćwiczenia, a to z kolei przekłada się na efektywność terapii. Celem tego artykułu jest przedstawienie aktualnych informacji dotyczących możliwości zastosowania rzeczywistości wirtualnej w rehabilitacji neurologicznej – zwłaszcza korzyści wynikające z jej stosowania, jak i ograniczenia.

Rzeczywistość wirtualna (ang. virtual reality – VR) to stworzony przy pomocy technologii informatycznych obraz sztucznej rzeczywistości – przedmiotów, postaci, przestrzeni i zdarzeń istniejących jedynie w pamięci komputerowej. Jest ona interaktywna w czasie rzeczywistym i pozwala na ruch w trzech wymiarach. Jej odmianą jest rzeczywistość poszerzona (ang. augmented reality – AR), która łączy ze sobą świat wirtualny i prawdziwy. Bazuje ona na kopiowaniu obrazu realnie istniejących osób, scenarii oraz zdarzeń i wprowadzaniu ich do świata rzeczywistości wirtualnej [1]. Systemy rzeczywistości wirtualnej pozwalają użytkownikowi na zanurzenie się w niej (ang. immersion), tj. sprawiają poczucie rzeczywistości świata wirtualnego, które może być bardzo zróżnicowane w zależności od używanego systemu.

Intensywny rozwój badań nad zastosowaniem VR w neurorehabilitacji obserwuje się od około 15 lat. W styczniu 2009 powołano Międzynarodowe Towarzystwo Rehabilitacji Wirtualnej – International Society for Virtual Rehabilitation (ISVR), którego zadaniem jest stworzenie platformy porozumienia i współpracy pomiędzy inżynierami, naukowcami i klinicystami zainteresowanymi wprowadzaniem nowych technologii celem rehabilitacji ruchowej, psychologicznej, poznawczej oraz społecznej [2]. Rehabilitacja z wykorzystaniem VR w swoich podstawowych założeniach ma pozwalać na dobieranie specyficznych zadaniowo, a przy tym atrakcyjnych w formie ćwiczeń, aby następnie nabyte w warunkach sztucznych umiejętności i funkcje mogły być wykorzystywane w realnym świecie [3]. W okresie od sierpnia 2005 roku do listopada 2016 roku zarejestrowano 331 badań klinicznych mających na celu udowodnienie skuteczności zastosowania VR w terapii wielu schorzeń. Szczególnie często oceniana jest jej skuteczność w rehabilitacji neurologicznej u osób: po udarze mózgu, po urazach czaszkowo-mózgowych, z chorobą Parkinsona, stwardnieniem rozsianym, ataksją mózdkową, dystrofią mięśniową Duchenne’a, z zaburzeniami funkcji poznawczych.

Introduction

The constant progress of computer, information and game technologies feeds into their growing use in medicine. One of the areas where that trend can be seen is rehabilitation. There is more and more new hardware and software created specifically for rehabilitation purposes. In addition, numerous developers argue that traditional therapy is not stimulating enough. Due to constant repetition of the same movements, the patient quickly gets bored, which affects his involvement in the exercises. This, in turn, translates into lower effectiveness of the therapy. Therefore, this article sought to provide current information on the use of virtual reality in neurological rehabilitation - its indications, benefits and limitations in particular.

Virtual reality (VR) is a computer rendered, 3-dimensional, real-time, interactive experience of artificial reality containing items, characters, and events existing only in the memory of a computer. Augmented reality (AR) is a modification of VR that combines VR with the real environment. It is based on copying the image of the real environment with VR objects superimposed onto or composited with it [1]. Different VR systems allow the user to be physically present in a virtual world at different immersion levels.

An increase in studies on VR in neurorehabilitation has been observed for about 15 years. In January 2009, the International Society for Virtual Rehabilitation (ISVR) was established. The society provides a multidisciplinary forum for engineers, scientists and clinicians who are interested in employing new technologies for physical, psychological, cognitive, and social rehabilitation purposes [2]. In its basic assumption, VR-based rehabilitation will allow for choosing task-specific and attractive exercises that guarantee acquiring skills and functions which can be used in the real world [3]. From August 2005 to November 2016, a total number of 331 clinical trials aimed at proving the effectiveness of VR-based techniques in the treatment of many disease entities were registered. Its effectiveness in rehabilitation of patients with stroke, post-traumatic brain injury, Parkinson's disease, multiple sclerosis, cerebellar ataxia, Duchenne muscular dystrophy or cognitive impairment was assessed. Other researchers focused on assessing the effectiveness of VR-based treatment in different disease entities, e.g. post-traumatic stress disorder, obsessive compulsive disorders, anxiety disorders or chronic and phantom pains [4].

Inne badania dotyczą oceny skuteczności zastosowania VR w różnych jednostkach chorobowych m.in. w zespole stresu pourazowego, zaburzeniach obsesyjno-kompulsywnych, zaburzeniach lękowych, w terapii bólu przewlekłego oraz bólu fantomowego [4].

Systemy rzeczywistości wirtualnej

Prowadzenie rehabilitacji z wykorzystaniem VR wymaga zastosowania nowoczesnych technologii. Generowana jest ona przez specjalistyczne oprogramowanie zainstalowane na komputerze lub konsoli gier wideo.

Sprzęt wyświetlający VR dzieli się na dwie grupy. Do pierwszej zaliczymy wyświetlacze, które można określić mianem tradycyjnych, takie jak płaskie ekrany, monitory komputerowe [5,6] oraz projektory LCD [7]. Szczególną odmianą tego sposobu wyświetlania VR są systemy CAVE (ang. cave automatic virtual environment), gdzie stereoskopowy obraz wyświetlany jest na ścianach i podłodze sześciennego pokoju. Osoby znajdujące się w pomieszczeniu muszą wówczas nosić okulary stereoskopowe, by prawidłowo odbierać trójwymiarowy obraz. [8]. Drugą grupę stanowią wyświetlacze umieszczane na głowie (ang. head mounted display – HMD) montowane w specjalnych okularach lub hełmach [9], których przykładami są 5DT Head Mounted Display, Google Glass, Oculus Rift.

Do prowadzenia terapii wymagany jest sprzęt wykrywający ruch pacjenta oraz umożliwiający dostarczanie informacji zwrotnej (ang. feedback) z wykorzystaniem obrazu, dotyku i dźwięku. Są to czujniki ruchu pozwalające pacjentowi na interakcję z konsolą/komputerem poprzez interfejs wykorzystujący gesty wykonywane przy pomocy kończyn i całego ciała takie jak OpneNI™ [6] czy Kinect™ [7]. Ruch wykrywany jest w trzech wymiarach w czasie rzeczywistym, poprzez syntezę danych pochodzących z przyspieszoniomierzy, żyroskopów i kamer 3D.

Niektóre systemy składają się dodatkowo ze sprzętu dźwiękowego, dającego możliwość odbierania i analizy dźwięku, co pozwala m.in. na interpretowanie komend głosowych. Możliwe bywa również wytwarzanie dźwięku, co zwiększa stopień wniknięcia (immersji) w rzeczywistość wirtualną przez pacjenta. Bardziej rozbudowane systemy VR mogą generować wrażenia czuciowe, pozwalając na uzyskanie poczucia dotykania przedmiotów o różnej twardości i fakturze czy też wyczuwania oporu mechanicznego [10].

Rozróżnia się dwa rodzaje VR: wirtualną rzeczywistość z zanurzeniem, tj. immersyjną (ang. immersive VR) i wirtualną rzeczywistość bez zanurzenia, tj. nieimmersyjną (ang. non-immersive VR). Zaklasyfikowanie do odpowiedniego typu zdeterminowane jest użytym systemem, a przede wszystkim sposobem wyświetlania oraz zależą od obecności awatara. Gdy pacjent uzyskuje wysokie poczucie obecności w wirtualnym świecie, mówimy o rzeczywistości wirtualnej immersyjnej. Pozwalają na to wy-

Virtual Reality Systems

Using VR-based rehabilitation techniques requires modern technologies. VR is generated by specialized software installed on a computer or a video game console. The VR hardware can be divided into two groups. The first includes traditional displays such as flat screens [5,6] and LCD projectors [7]. In this group, Cave Automatic Virtual Environment (CAVE) is particularly noteworthy, since a stereoscopic image is displayed on the walls and floor of a cubic room. People in the room must wear stereoscopic glasses to properly experience the three-dimensional image [8]. The second group consists of Head Mounted Displays (HMD) – special glasses or helmets worn on the head [9], examples of which are 5DT Head Mounted Display, Google Glass or Oculus Rift.

To conduct the therapy, movement detection hardware with image, touch and sound feedback is required. Movement sensors such as OpneNI™ [6] or Kinect™ [7], allow the patient to interact with the console/PC interface using hands, gestures or body movements. The movement is detected in real time and three dimensions, through the synthesis of accelerometers, gyroscopes and 3D cameras data.

Some systems contain voice recognition software which facilitates voice commands interpretation. In addition, speakers allow for deeper VR immersion by providing adequate sounds. Furthermore, more complex VR systems generate skin sensations - a sense of touching objects with different hardness, texture or mechanical resistance [10].

There are two types of VR: immersive VR and non-immersive VR. The classification depends on the system used and, above all, on the type of display and presence of an avatar. If a patient gets a strong experience of presence in the virtual world, we are talking about immersive VR. It can be achieved by using HMD, in which the patient sees only the image of the VR and is isolated from the external environment - the real world [11]. In the case of non-immersive VR, a flat image of a three-dimensional virtual world is displayed by the screens or projectors. The patient sees the external environment and the virtual one and receives signals from both [5,7].

In both VR types, the realization of the exercises selected by the therapist is documented in the computer memory. Moreover, the patient's all results and achievements are stored in the database, and can be accessed by the therapist both during exercise, and beyond. The examples of such systems are Nintendo Wii Software System [5], Virtual Reality Rehabilitation System or SeeMe.

świetlacze HMD, gdzie pacjent widzi jedynie obraz świata wirtualnego i jest maksymalnie odizolowany od środowiska zewnętrznego – od świata realnego [11]. Jeśli pacjent może obserwować na wyświetlaczu postać awatara odtwarzającego jego ruch również będziemy mieć do czynienia z wysokim stopniem zanurzenia [12]. W przypadku VR bez immersji płaski rzut świata trójwymiarowego wyświetlany jest przez ekrany i projektory. Oprócz obrazu świata wirtualnego pacjent widzi otaczające go realne otoczenie i odbiera zarówno sygnały pochodzące ze środowiska zewnętrznego jak i z wirtualnego [5,7].

W każdym przypadku realizacja zadanych przez terapeutę ćwiczeń jest dokumentowana w pamięci komputera. Wszystkie osiągnięte wyniki pacjentów są gromadzone w bazie danych, a terapeuta ma do nich dostęp zarówno w trakcie ćwiczeń, jak i poza nimi – takim systemem jest np. Nintendo Wii Software System [5], Virtual Reality Rehabilitation System czy SeeMe.

Rehabilitacja funkcji ruchowych

W przypadku działań zmierzających do poprawy funkcji ruchowych w środowisku wirtualnym obecna jest postać awatara, którą pacjent poprzez gesty i ruch całego ciała może sterować. Pacjenci uczą się wykonywać czynności w świecie wirtualnym, niejako przy okazji odtwarzając ruch według optymalnych wzorców ruchowych. Nabyte w wirtualnym świecie umiejętności przekładają się na poprawę w obrębie aktywności dnia codziennego [13]. Warto zaznaczyć, że potencjalnie możliwe są scenariusze i sytuacje, które z różnych względów (np. bezpieczeństwa pacjenta) byłyby niemożliwe do przeprowadzenia w prawdziwym świecie [14]. Zaletą treningu z wykorzystaniem VR jest wysoki poziom powtarzalności ćwiczeń przy jednoczesnej różnorodności treningu, pozwalający na zmniejszenie poczucia wysiłku [15]. Istotny jest dobór właściwych, specyficznych ćwiczeń, które są dostosowane do indywidualnych potrzeb pacjenta [5]. Terapeuta nadzorujący ćwiczenia wybiera odpowiedni typ i natężenie treningu w zależności od aktualnych potrzeb i możliwości pacjenta [15]. W niektórych systemach zmiany ustawienia poziomu trudności dokonywane są automatycznie w trakcie ćwiczeń [7]. Wyniki pacjenta i ustawienia są wyświetlane na drugim monitorze, dzięki czemu trening może przebiegać płynnie i w sposób niezakłócony [6,12]. Cyfrowo gromadzone wyniki pacjenta są ujęte w sposób liczbowy [14], uważa się więc, że stosowanie technologii VR pozwala na obiektywizację oceny postępów rehabilitacji.

Obserwuje się dynamiczny wzrost liczby badań nad zastosowaniem wirtualnej rzeczywistości w neurorehabilitacji [14,16]. Ponad 50 z zarejestrowanych od lutego 2006 roku do listopada 2016 roku badań klinicznych to badania mające na celu ocenę skuteczności wykorzystywania rzeczywistości wirtualnej w grupie chorych po udarze mózgu [4]. Terapia z wykorzystaniem wirtualnej rzeczywistości może być stosowana jako uzupeł-

Motor Rehabilitation

For improving motor function, an avatar which can be controlled by the patient through gestures and body movements is placed in VR environment. Patients learning to do things in the virtual world are at the same time reproducing optimal motor patterns. Skills acquired in the virtual world translate directly into improved activities of daily living performance [13]. It is worth noting that while using VR all training scenarios and situations are available, even those that, for various reasons (e.g. safety), would be impossible to carry out in the real world [14]. A high level of reproducibility of exercises coupled with high training diversity, which allows us to reduce the perceived exertion, is an important advantage of a VR-based training [15]. Clearly, the selection of appropriate, patient-specific exercises is of much importance [5]. Thus, the therapist selects appropriate exercise type and intensity, depending on the patient's current needs and limitations [15]. Moreover, in some systems changes in difficulty are made automatically during exercises [7]. The patient's results and settings are displayed on the second monitor, so that the training can take place smoothly and without disruption [6,12]. The patient's results are stored digitally [14]; therefore, it is believed that the use of VR technology allows for more objective evaluation of the rehabilitation progress.

There has been a dynamic increase in the number of studies on the use of VR in neurorehabilitation [14,16]. More than 50 of the clinical trials registered from February 2006 to November 2016 sought to assess the effectiveness of VR-based rehabilitation in patients after a stroke [4].

VR-based rehabilitation can be used as a complement to conventional rehabilitation consisting of physiotherapy and occupational therapy [6,17], but it is also beneficial when used in a distant time from a stroke [7]. It is believed that the observation of virtual limb movements activates mirror neurons, thus stimulating neuroplasticity and causing the pyramidal tract structures damaged by the stroke to rebuild. Finally, it is possible to improve movements planning and execution [13].

Neural activity in the planning phase of the movement was studied by Bozzacchi et al. in a group of 15 healthy volunteers, using motor-related cortical potentials (MRCPPs) recorded while performing simple activities, both in real and virtual worlds. In the first case, the respondent was supposed to press a button on the keyboard, which did not have any further consequences - at the same time, two hands lying on both sides of a cup were displayed (key-press) on the monitor. In the second case, pressing the button resulted in launching a short video

nienie konwencjonalnej rehabilitacji złożonej z fizjoterapii i terapii zajęciowej [6,17], ale przynosi korzyści również gdy stosowana jest w odległym czasie od udaru [7]. Uważa się, że obserwacja wirtualnej kończyny aktywuje neurony lustrzane, dzięki czemu pobudzone są dodatkowe mechanizmy neuroplastyczności i możliwa jest przebudowa uszkodzonych udarem struktur układu piramidowego. Ostatecznie możliwe jest uzyskanie lepszego planowania i wykonywania ruchu [13].

Bozzacchi i wsp. przebadali grupę 15 zdrowych ochotników, którym monitorowano neuronalną aktywność w fazie planowania ruchu poprzez badanie ruchowych potencjałów czynnościowych kory dla prostych czynności prawdziwych i wirtualnych. W pierwszym przypadku badany miał za zadanie nacisnąć guzik na klawiaturze, co nie miało żadnych dalszych konsekwencji – jednocześnie na monitorze wyświetlano dwie nieruchome dłonie leżące po bokach filiżanki (key-press). Za drugim razem wciśnięcie guzika powodowało uruchomienie krótkiego filmu, na którym jedna z rąk sięgała po filiżankę i unosiła ją do góry (virtual grasp). Kontrolę stanowiło prawdziwe ujęcie w dłoń filiżanki i uniesienie jej do góry przez badanego (real grasp). Wykazano, że nadanie znaczenia prostej czynności, jaką jest wciśnięcie guzika, znamienne zmienia aktywność obszarów kory mózgowej w fazie planowania ruchu. Badacze doszli do wniosku, że w fazie planowania ruchu wirtualna czynność pośrednio wykonana poprzez wciśnięcie guzika jest bardziej podobna do analogicznej czynności wykonanej realnie niż do prostego wciśnięcia guzika [18].

Saposnik i wsp. opublikowali wyniki badania z randomizacją i grupą kontrolną oraz pojedynczą ślepą próbą przeprowadzonego na 141 pacjentach po udarze niedokrwiennym mózgu włączonych do badania w ciągu 3 miesięcy od zachorowania. 71 pacjentów jako uzupełnienie konwencjonalnej rehabilitacji otrzymało terapię z wykorzystaniem nieimmersyjnej VR (Nintendo Wii gaming system, VRii), a 70 terapię rekreacyjną (m.in. gry karciane, domino, Jenga, gra piłką tenisową). Ostatecznie badanie ukończyło 72% pacjentów. Nie wykazano wyższości nieimmersyjnej VR w porównaniu do terapii rekreacyjnej jako uzupełnienia konwencjonalnej rehabilitacji w poprawie funkcji kończyny górnej. Badanie wykazało, że w rehabilitacji ruchowej intensywność i specyficzność zadań są istotniejsze aniżeli sam ich rodzaj [5].

Badania skupiają się nad użyciem VR w terapii funkcji kończyny górnej, kończyny dolnej, równowagi oraz sprawności i szybkości chodu a także całościowej funkcji ruchowej, funkcji wzrokowo-przestrzennych [15,19].

Zidentyfikowano wiele przyczyn niskiego zaangażowania pacjentów w proces rehabilitacji. Należą do nich zmęczenie, gorszy stan zdrowia, choroby układu ruchu i brak motywacji. Wykorzystywanie VR w procesie kompleksowej rehabilitacji stwarza możliwość zwiększenia zaangażowania i motywacji

clip in which one of the hands is reaching for the cup, gets hold of it and lifts it up (virtual grasp). Finally, actually grasping the cup and lifting it up by the respondent served as the third situation. It was shown that giving a different meaning to the simple act of pressing a button significantly altered the movement planning phase activity of the cerebral cortex. The researchers concluded that in the planning stage, virtual movement indirectly executed by pressing a button was more similar to the analogous action from reality than to the simple act of pressing a button [18].

Saposnik et al. published the results of the randomized, controlled and single-blind study performed on 141 patients enrolled within three months after ischemic stroke. As a complement to conventional rehabilitation therapy, a group of 71 patients received non-immersive VR-based treatment (Nintendo Wii gaming system, VRii), while another group of 70 patients received recreational therapy instead (including card games, dominoes, Jenga, playing a tennis ball). The study was completed by 72% of the patients. There was no evidence of superiority of non-immersive VR-based therapy when compared to recreational therapy as an addition to conventional upper limb motor function rehabilitation. The study showed that the rehabilitation intensity and specificity of the tasks are more important than their kind [5].

The studies focused on the use of VR-based treatment of upper and lower limb motor function, balance, gait speed and efficiency, overall motor function and visuospatial perception [15,19].

Many reasons for the low involvement of patients in the rehabilitation process have been identified. These include fatigue, poor general condition, musculoskeletal disorders and lack of motivation. However, the use of VR in the process of comprehensive rehabilitation makes it possible to increase the commitment and motivation of patients, which is essential for all interventions related to pro-health behaviours because it translates into an improvement in functions and participation [14]. The tasks put before patients in VR environment are frequently in the form of a competition or a game, which increases motivation due to experience of a competition. Patients perceive participation in VR-based exercises positively. They highly rate their level of focus, pleasure and motivation felt during therapy [6,7,12,13]. Even if an image is displayed on a flat monitor and patients are potentially aware of what is happening in the real world, they may still forget that they are in a hospital [12].

pacjentów, które są kluczowe w przypadku wszystkich interwencji związanych z zachowaniami prozdrowotnymi, przekładając się na poprawę funkcji i uczestnictwa [14]. Zadania postawione przed pacjentem w wirtualnym świecie mają często charakter gry lub zawodów, co dzięki odczuciu współzawodnictwa zwiększa motywację. Pacjenci pozytywnie odbierają udział w ćwiczeniach z wykorzystaniem VR wysoko oceniając swój poziom skupienia na zadaniu (ćwiczeniu), odczuwanej w czasie terapii przyjemności i motywacji [6,7,12,13]. Nawet jeśli obraz jest wyświetlany na płaskim monitorze i pacjent potencjalnie jest świadom tego co dzieje się w świecie realnym, może zapomnieć, że znajduje się na sali szpitalnej [12].

Rehabilitacja funkcji poznawczych

Klasyczna terapia neuropsychologiczna opiera się w głównej mierze na wykorzystaniu zadań wykonywanych z użyciem papieru i ołówka. Niejednokrotnie zwracana jest uwaga na potencjalne ograniczenia takiej terapii. Wiadomo, że poprawa w standardowych testach neuropsychologicznych nie przenosi się na równoważną poprawę w sytuacjach codziennych [20]. Wykorzystanie VR w celu symulacji prawdziwych sytuacji z codziennego życia wydaje się zatem szczególnie istotne przy treningu funkcji poznawczych. Pacjent otrzymuje informację zwrotną w czasie rzeczywistym, a jednocześnie nie odczuwa żadnych fizycznych konsekwencji ewentualnych błędów, w związku z czym może czuć się bezpiecznie i lepiej skoncentrować na zadaniu [21]. Tworzone są systemy dedykowane do terapii zaburzeń pamięci operacyjnej i świeżej, deficytów uwagi oraz orientacji wzrokowo-przestrzennej. Dla pacjentów z zaburzeniami funkcji poznawczych szczególnie ważna jest intuicyjność i prostota obsługi systemów VR, ze względu na ograniczone funkcje nabywania nowych umiejętności [20].

Technologia VR wydaje się być także obiecującym narzędziem w diagnostyce zaburzeń funkcji poznawczych. Lamargue-Hamel i wsp. porównywali czułość klasycznych testów klinicznych oraz technologii wirtualnej rzeczywistości w wykrywaniu zaburzeń funkcjonowania poznawczego u pacjentów z rozpoznaniem stwardnienia rozsianego, takich jak pogorszenie szybkości przetwarzania informacji, pamięci epizodycznej, pamięci operacyjnej, funkcji wykonawczych i uwagi. Do badania włączano pacjentów, którzy zgłaszali pogorszenie wykonywania czynności codziennych z powodu zaburzeń funkcji poznawczych. Opracowany przez badaczy test wykonywany w warunkach VR wykazał większą czułość w wykrywaniu zaburzeń tempa przetwarzania informacji i pamięci epizodycznej niż porównywane pojedyncze testy neuropsychologiczne, aczkolwiek różnice te nie były oceniane pod względem znamienności statystycznej ze względu na małą próbę. Konieczne są dalsze badania mające ocenić specyficzność i wiarygodność opracowanych testów [22].

Cognitive Rehabilitation

A typical neuropsychological therapy consists mainly of pen and paper exercises. Many researchers draw our attention to potential limitations of such a therapy. Moreover, it is known that the improvement in standard neuropsychological tests does not transfer to an equivalent improvement in everyday performance [20]. Therefore, the use of VR to simulate real daily life seems particularly important in cognitive training. Patients receive feedback in real time and at the same time do not suffer any physical consequences of errors. As a result, they feel safe and they can focus on the exercise better [21]. There are VR systems dedicated to treatment of deficits of visual-spatial orientation, memory of recent events, working memory and attention. The intuitiveness of VR systems is particularly important for patients with cognitive impairment due to the limited capacity to acquire new skills. [20].

In addition, VR technology appears to be a promising tool in the diagnosis of cognitive disorders. Lamargue-Hamel et al. compared the sensitivity of conventional clinical tests with VR-based tests in the detection of the cognitive disorders such as deterioration of the speed of information processing, episodic memory, working memory, executive function and attention in patients diagnosed with multiple sclerosis. The study included patients who reported daily activities performance deterioration due to cognitive deficits. The VR-based test developed by the researchers showed greater sensitivity in the detection of information processing rate and episodic memory disorders than a comparable single classic neuropsychological test, although these differences were not evaluated for statistical significance due to a small sample size. Undoubtedly, further studies are needed to assess the specificity and reliability of the developed tests [22].

Potential benefits, difficulties and chal-

lenges

VR allows us to intensify training in the acute phase of stroke, when neuroplasticity is at its highest level [21]. In the first days after the stroke, patients stay in the neurological intensive care units, and, therefore, VR systems must be designed to be used in those conditions [12].

It seems that the introduction of the VR-based treatment in the elderly can be particularly challenging, as recipients should know how to use modern technologies [15].

Due to the nature of VR technology, it can be used in tele-rehabilitation, being remotely controlled by the therapist. The improvement in the loco-

Potencjalne korzyści i trudności, wyzwania

Wykorzystanie wirtualnej rzeczywistości pozwala zintensyfikować trening w ostrej fazie udaru, gdy neuroplastyczność jest największa [21]. W pierwszych dniach po zachorowaniu pacjenci przebywają na salach intensywnego nadzoru neurologicznego, dlatego projektowane systemy rzeczywistości wirtualnej muszą pozwalać na stosowanie ich w warunkach oddziałów udarowych [12].

Odbiorca interwencji z wykorzystaniem VR winien posiadać umiejętność posługiwania się nowoczesnymi technologiami. Wydaje się, że wprowadzenie treningu z wykorzystaniem VR do terapii u osób w starszym wieku może stanowić szczególne wyzwanie [15].

Ze względu na charakter użytkowania technologia wirtualnej rzeczywistości może być stosowana w tele-rehabilitacji, przy prowadzeniu zdalnej kontroli przez terapeutę. U pacjentów w przewlekłej fazie udaru rehabilitowanych w warunkach szpitalnych i domowych uzyskano podobną poprawę w zakresie funkcji lokomotorycznych i równowagi ciała. Jednocześnie koszt takiej interwencji w telerehabilitacji jest istotnie mniejszy [23].

Ekspozycja na wirtualną rzeczywistość może także wywoływać działania niepożądane. Opisano chorobę wirtualnej rzeczywistości (ang. cybersickness), która jest pewną odmianą choroby lokomocyjnej. Typowymi objawami są zawroty i ból głowy oraz nudności i wymioty [24]. Wykazano, że może także wzrastać czas reakcji [11]. Uważa się, że choroba wirtualnej rzeczywistości wynika ze sprzecznych informacji dotyczących percepcji ruchu, jakie odbiera mózg z ośrodków wzrokowych, przedsionkowych i czucia położenia ciała. Wystąpienie objawów choroby wiąże się głównie z wyświetlaczami HMD i dużymi ekranami. W przypadku systemów obecnie najczęściej używanych w rehabilitacji objawy powyższe mają zdecydowanie mniejsze znaczenie [25]. W większości badań badacze nie raportowali poważnych działań niepożądanych, w tym wystąpienia objawów choroby wirtualnej rzeczywistości [5,6,7,12,13]. Wyjątek stanowiło badanie, w którym pacjenci brali udział w symulacji jazdy samochodem, gdzie 5 spośród 30 pacjentów nie ukończyło badania ze względu na objawy choroby lokomocyjnej [22].

Warto podkreślić, że rozwojem technologii wirtualnej rzeczywistości zajmuje się przemysł gier video, który zainteresowany jest dotarciem do jak najszerszego kręgu konsumentów. Naturalną konsekwencją takiego stanu rzeczy jest obniżanie kosztów sprzętu i oprogramowania oraz zwiększenie dostępności tej technologii. Część gier stworzonych dla celów rozrywkowych jest także wykorzystywana przez lekarzy w rehabilitacji [26]. Większość badań nad stosowaniem technologii wirtualnej rzeczywistości w neurorehabilitacji jest w fazie dopracowywania interwencji lub fazy oceniania efektywności na małych grupach badanych. Istnieje potrzeba przeprowadzenia dużych badań

motor function and body balance in chronic-phase stroke patients rehabilitated in hospital and at home was similar. At the same time, the cost of such intervention using tele-rehabilitation is significantly lower [23].

Still, exposure to VR can also cause side effects, e.g. cybersickness, which is a variation of motion sickness with typical symptoms such as dizziness, headache, nausea and vomiting [24]. Furthermore, it has been shown that VR exposure may also increase the response time [11]. It is believed that cybersickness results from the conflicting motion perception information that the brain receives from visual, vestibular and proprioceptive centres. The disease is chiefly associated with the use of HMD displays and large screens. These days, in the case of systems mainly used in rehabilitation, cybersickness is far less common [25]. In most studies, researchers have reported no serious side effects including cybersickness [5,6,7,12,13]. The exception is a study in which patients took part in the car ride simulation, where 5 of the 30 patients dropped out due to motion sickness [22].

It is worth noting that the development of VR technology is mainly in the hands of video game industry, which is interested in reaching the widest possible range of consumers. Thus, hardware and software costs reduction and an increase in the availability of this technology are natural consequences of this situation. As a matter of fact, some games created for entertainment purposes are also used by doctors in rehabilitation [26].

Most studies on VR-based neurorehabilitation interventions are in the fine-tuning phase or the phase of evaluating the effectiveness in small groups of patients. There is a need for large randomized trials that will determine the effectiveness of VR-based techniques and their exact mechanisms of action [14].

Conclusions

At present, VR-based treatment raises expectations but there is still not enough research to clearly define its place among the methods of comprehensive rehabilitation. Therefore, there is a need for further large trials designed to evaluate the efficacy and safety of VR-based rehabilitation in different disease entities, to identify possible health risks for patients using VR rehabilitation systems without close supervision of professional staff, to present indications and contraindications for the use of VR and to evaluate which patients can benefit most from such treatment.

z randomizacją, które pozwolą określić skuteczności ich zastosowania oraz poznać dokładne mechanizmy działania interwencji z użyciem wirtualnej rzeczywistości [14].

Wnioski

W chwili obecnej VR budzi wielkie nadzieje, lecz nadal nie ma wystarczających badań naukowych pozwalających jasno określić jej miejsce wśród metod kompleksowej rehabilitacji. Dlatego też konieczne są dalsze duże badania z randomizacją mające na celu: ocenę skuteczności i bezpieczeństwa zastosowania VR w poszczególnych jednostkach chorobowych, określenie ewentualnych zagrożeń dla zdrowia chorych wykonujących trening aktywności ruchowej bez bliskiego nadzoru fachowego personelu, przedstawienie wskazań i przeciwwskazań do stosowania VR oraz charakterystyki pacjentów odnoszących największe korzyści z takiej terapii.

Piśmiennictwo/References

1. Azuma RT. A Survey of Augmented Reality. *Presence (Camb)* 1997;6(4):355-85.
2. www.isvr.org [Internet] International Society for Virtual Rehabilitation, © 2015 [cited 2016 Oct 5] Available from: <http://isvr.org/>
3. Fluet GG, Deutsch JE. Virtual Reality for Sensorimotor Rehabilitation Post-Stroke: The Promise and Current State of the Field. *Curr Phys Med Rehabil Rep* 2013;1(1):9-20.
4. www.ClinicalTrials.gov [Internet] U.S. National Institutes of Health [cited 2016 Oct 5] Available from: <https://clinicaltrials.gov/>
5. Saposnik G, Cohen LG, Mamdani M, Pooyania S, Ploughman M, Cheung D et al. Efficacy and safety of non-immersive virtual reality exercising in stroke rehabilitation (EVREST): a randomised, multicentre, single-blind, controlled trial. *Lancet Neurol* 2016;15(10):1019-27.
6. Shin J, Ryu H, Jang SH. A task-specific interactive game-based virtual reality rehabilitation system for patients with stroke: a usability test and two clinical experiments. *J Neuroeng Rehabil* 2014;11:32.
7. Colomer C, Llorens R, Noé E, Alcañiz M. Effect of a mixed reality-based intervention on arm, hand and finger function on chronic stroke. *J Neuroeng Rehabil* 2016;13:45.
8. Sveistrup H. Motor rehabilitation using virtual reality. *J Neuroeng Rehabil* 2004;1:10.
9. Trojan J, Diers M, Fuchs X, Bach F, Bekrater-Bodmann R, Foell J et al. An augmented reality home-training system based on the mirror training and imagery approach. *Behav Res Methods* 2014;46(3):634-40.
10. Ferche OM, Moldoveanu A, Moldoveanu F, Voinea A, Asavei V, Negoii I. Challenges and issues for successfully applying virtual reality in medical rehabilitation. *Proceedings of the 11th International Scientific Conference eLearning and Software for Education*; 2015 April 23-24; Bucharest, Romania: Publisher Carol I NDU Publishing House; 2015.
11. Nalivaiko E, Davis SL, Blackmore KL, Vakulin A, Nesbitt KV. Cybersickness provoked by head-mounted display affects cutaneous vascular tone, heart rate and reaction time. *Physiol Behav* 2015;151:583-90.
12. Garipelli G, Liakoni V, Perez-Marcos D, Duc C, de Keranfec'h CG, Kinzner, H et al. Virtual Reality based Neurorehabilitation in Acute Stroke. A Feasibility Study. *Int J Phys Med Rehabil* 2016;4:338.
13. Cameirão MS, i Badia SB, Duarte E, Frisoli A, Verschure PF. The Combined Impact of Virtual Reality Neurorehabilitation and Its Interfaces on Upper Extremity Functional Recovery in Patients With Chronic Stroke. *Stroke* 2012;43(10):2720-8.
14. Proffitt R, Lange B. Considerations in the efficacy and effectiveness of virtual reality interventions for stroke rehabilitation: moving the field forward. *Physical Therapy* 2015; 95(3):441-8.
15. de Rooij IJ, van de Port IG, Meijer JG. Effect of Virtual Reality Training on Balance and Gait Ability in Patients With Stroke: Systematic Review and Meta-Analysis. *Physical Therapy*. 2016;96:1905-1918.
16. Salisbury D, Dahdah M, Driver S, Parsons TD, Richter KM. Virtual reality and brain computer interface in neurorehabilitation. *Proc Bayl Univ Med Cent* 2016;29(2):124-7
17. Saposnik G, Levin M for the Stroke Outcome Research Canada (SORCan*) Working Group. Virtual Reality in Stroke Rehabilitation - A Meta-Analysis and Implications for Clinicians. *Stroke* 2011;42(5):1380-6
18. Bozzacchi C, Giusti MA, Pitzalis S, Spinelli D, Di Russo F. Similar Cerebral Motor Plans for Real and Virtual Actions. *PLoS ONE* 2012;7(10):e47783.
19. Laver K, George S, Thomas S, Deutsch JE, Crotty M. Virtual Reality for Stroke Rehabilitation. *Stroke*. 2012;43:e20-e21.
20. Zell E, Dyck E, Kohsik A, Grewe P, Flentge D, Winter Y et al. OCTAVIS: A virtual reality system for clinical studies and rehabilitation. *Eurographics*; 2013 May 6-10; Girone, Spain: Eurographics Medical Prize Papers 2013;9-12.

21. Gamito P, Oliveira J, Coelho C, Morais D, Lopes P, Pacheco J et al. Cognitive training on stroke patients via virtual reality-based serious games. *Disability and rehabilitation* 2015; Gamito P, Oliveira J, Coelho C, Morais D, Lopes P, Pacheco J et al. Cognitive training on stroke patients via virtual reality-based serious games. *Disability and rehabilitation* 2015; <http://dx.doi.org/10.3109/09638288.2014.934925>.
22. Lamargue-Hamel D, Deloire M, Saubusse A, Ruet A, Taillard J, Philip P et al. Cognitive evaluation by tasks in a virtual reality environment in multiple sclerosis. *J Neurol Sci* 2015;359(1):94-9.
23. Lloréns R, Noé E, Colomer C, Alcañiz M. Effectiveness, usability, and cost-benefit of a virtual reality-based telerehabilitation program for balance recovery after stroke: A randomized controlled trial. *Arch Phys Med Rehabil* 2015;96(3):418-25.
24. LaViola JJ. A discussion of cybersickness in virtual environments. *SIGCHI Bulletin* 2000;32(1):47-56.
25. Klinger E, Weiss PL, Joseph PA. Virtual reality for learning and rehabilitation. In: Didier J.P., Bigand E, editors. *Rethinking physical and rehabilitation medicine. New technologies induce new learning strategies*. Paris: Springer-Verlag France; 2010:203-21.
26. Gamito P, Oliveira J, Morais D, Rosa P, Saraiva T. Serious Games for Serious problems: from Ludicus to Therapeuticus. In: Kim JJ, editor. *Virtual reality*. Rijeka: InTech; 2011:515–536.