

DOROTA KAMIŃSKA¹, GRZEGORZ ZWOLIŃSKI²

Wykorzystanie wirtualnej rzeczywistości w medycynie i służbie zdrowia

Streszczenie

Przez ostatnich kilka lat szybki rozwój rzeczywistości wirtualnej spowodował, że oprócz rynku gier, technologia ta znalazła swoje zastosowanie również w branży profesjonalnej. Szczególnie ważną rolę odgrywa w zastosowaniach medycznych poprzez zapewnienie wirtualnego środowiska umożliwiającego terapię, rehabilitację, a także służąc jako platforma edukacyjna. Niniejszy artykuł stanowi przegląd możliwości wirtualnej rzeczywistości w medycynie w odniesieniu do kilku najważniejszych obszarów zastosowań. Przedstawiono zarówno metody tworzenia scenariuszy, jak i walidację aplikacji, a także jej wpływ na użytkownika. Na koniec podsumowano i krótko omówiono potencjał technologiczny oraz przyszłe kierunki rozwoju aplikacji VR w zastosowaniach do poprawy świadczenia usług medycznych.

Słowa kluczowe: rzeczywistość wirtualna, immersja, medycyna, służba zdrowia

1. Wprowadzenie

Powszechnie wiadomo, że wykorzystanie nowoczesnych technologii w branży medycznej sprzyja poprawie jakości świadczonych usług. Współpraca tych dwóch dziedzin stale się rozwija, a badacze poszukują coraz to nowych rozwiązań mających na celu poprawę pracy medyków, ale przede wszystkim zwiększenie jakości leczenia poszczególnych chorób i zaburzeń. W ciągu ostatnich lat rzeczywistość wirtualna (*virtual reality* – VR), poprzez zapewnienie interaktywnego środowiska generowanego komputerowo, znalazła swoje zastosowanie w różnych dziedzinach medycyny. VR symuluje fizyczną obecność użytkownika w sztucznie wygenerowanym świecie i umożliwia mu interakcję z tym środowiskiem. Wykorzystanie

¹ Politechnika Łódzka, Instytut Mechatroniki i Systemów Informatycznych, dorota.kaminska@p.lodz.pl.

² Politechnika Łódzka, Instytut Mechatroniki i Systemów Informatycznych, grzegorz.zwolinski@p.lodz.pl.

VR w medycynie to obszar o wielkich możliwościach, co potwierdzają badania kliniczne i doświadczeni lekarze³. Przykładowo, VR może służyć jako środowisko szkoleniowe, które pomaga pracownikom służby zdrowia podnosić swoje kwalifikacje dzięki możliwości uczenia się przez praktykę. Przy czym siłą tego typu rozwiązań jest możliwość uwzględniania w scenariuszach nawet bardzo rzadkich przypadków klinicznych oraz całkowity brak konsekwencji dla błędnych decyzji i podejmowanych działań. Chociaż dziedzina jest zupełnie nowa, istnieje już wiele tego typu aplikacji, dla których wykazano istotny wpływ na poprawę zarówno edukacji medycznej, jak i terapii oraz leczenia pacjentów.

Termin *wirtualna rzeczywistość* odnosi się do symulacji komputerowej przedstawiającej środowisko, w którym można się poruszać i wzajemnie oddziaływać z wirtualną przestrzenią, zdarzeniami, obiektami i osobami (awatarami). Wirtualne środowisko jest zwykle trójwymiarowe i często stanowi replikę realnego świata pod względem wyglądu i zachodzących w nim zjawisk fizycznych. Zazwyczaj aplikacje VR można podzielić na trzy grupy ze względu na stopień immersji na aplikacje wykorzystujące: ekrany VR (np. stereoskopowe⁴, wielkopowierzchniowe, wirtualne jaskinie – *cave*), rzeczywistość rozszerzoną (*augmented reality* – AR)⁵ oraz hełmy wirtualnej rzeczywistości⁶ (rysunek 1).

Pierwszy typ to środowisko VR częściowo immersyjne lub półimmersyjne⁷. Zwykle jest to projekcja na ścianie lub monitorze, do której wykorzystuje się specjalne gogle używane do oglądania obiektów 3D. Interakcja ze światem wirtualnym opiera się na prostych urządzeniach wejściowych, takich jak klawiatura, mysz, dżojstik lub ekran dotykowy. Rzeczywistość rozszerzona polega na łączeniu świata rzeczywistego z wirtualnym, a zatem na nakładaniu grafiki 3D w czasie

³ G. Riva, *Applications of Virtual Environments in Medicine*, „Methods of Information in Medicine” 2003, vol. 42(5), s. 524–534; F. Górski, P. Buń, R. Wichniarek, P. Zawadzki, A. Hamrol, *Effective Design of Educational Virtual Reality Applications for Medicine using Knowledge-Engineering Techniques*, „EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education” 2017, vol. 13(2), s. 395–416.

⁴ S. Alfalah, J. Falah, T. Alfalah, M. Elfalah, N. Muhaidat, O. Falah, *A Comparative Study Between a Virtual Reality Heart Anatomy System and Traditional Medical Teaching Modalities*, „Virtual Reality” 2018.

⁵ M.C. Hsieh, J.J. Lee, *Preliminary Study of VR and AR Applications in Medical and Healthcare Education*, „Journal of Nursing and Health Studies” 2017, vol. 3, No.1:1.

⁶ C.J. Falconer, A. Rovira, J.A. King, P. Gilbert, A. Antley, P. Fearon, N. Ralph, M. Slater, C.R. Brewin, *Embodying Self-compassion within Virtual Reality and its Effects on Patients with Depression*, „BJPsych Open” 2016, vol. 2, s. 74–80.

⁷ L. Lee, K.W. Wong, *A Review of Using Virtual Reality for Learning*, „Transactions on Edutainment”, Lecture Notes in Computer Science, vol. 5080, Springer, Berlin, Heidelberg 2008, vol. 4, s. 231–241

rzeczywistym, np. wykorzystując półprzezroczyste okulary. Tego typu aplikacje bardzo często są stosowane w obrazowaniu medycznym – specjaliści mają dostęp do wizualizacji struktury lub czynności narządów wewnętrznych pacjenta.



Rysunek 1. Rodzaje wirtualnej rzeczywistości używane w aplikacjach medycznych

Od lewej: ekran stereoskopowy, AR do nauki anatomii, hełm VR przy leczeniu depresji.

Powstanie pierwszego prototypu Oculus Rift (2010) zapoczątkowało silny rozwój hełmów wirtualnej rzeczywistości (*head-mounted display* — HMD). Na obecnym poziomie rozwoju technologii, większość aplikacji VR bazuje na HMD, w produkcji których rywalizują tacy gracze, jak Sony, HTC, Facebook i Google. Głównym ich celem jest stworzenie tańszego, a zarazem wydajniejszego sprzętu, co jest niezbędne do popularyzacji VR⁸. Najprostsza platforma VR została opracowana przez Google. W jej skład wchodzi proste, tanie, składane oprawy z tektury, w których umieszcza się smartfon (możliwe użycie wielu popularnych modeli). Bardziej skomplikowane, a przez to droższe rozwiązania, takie jak Oculus Rift lub HTC Vive, wymagają złożonej infrastruktury sprzętowej, dlatego są raczej używane w laboratoriach i specjalnie przystosowanych pomieszczeniach. Tego typu platformy VR nie wymagają dodatkowego sprzętu do interakcji, gdyż są standardowo wyposażone w zestawy słuchawkowe oraz kontrolery z wbudowanym zestawem czujników.

Jednym z ważniejszych wyzwań stawianych technologii VR jest zapewnienie głębszej immersji. W rozwiązaniu tego problemu mogą posłużyć specjalne czujniki zewnętrzne, takie jak Kinect⁹ lub opaska kontrolna MYO Gesture¹⁰, ręką-

⁸ J.M. Gutierrez, C. Anorbe-Díaz, A. Gonzalez-Marrero, *Virtual Technologies Trends in Education*, „EURASIA Journal of Mathematics Science and Technology Education” 2017, vol. 13, no. 2, s. 469–486.

⁹ G. Kurillo, J. Han, A. Nicorici, R. Bajcsy, *Tele-MFAsT: Kinect-Based Tele-Medicine Tool for Remote Motion and Function Assessment*, MMVR, 2014, s. 215–221.

¹⁰ M. Sathiyarayanan, S. Rajan, *MYO Armband for Physiotherapy Healthcare: A Case Study Using Gesture Recognition Application*, 8th International Conference on Communication Systems and Networks (COMSNETS), 2016.

wice sensoryczne¹¹ lub dedykowane kombinezony¹². Przykładowo, aplikacje do rehabilitacji ruchowej bardzo często wykorzystują sygnały elektromiograficzne EMG. Zazwyczaj stosowane w rehabilitacji pacjentów po udarze, wykazują zarówno wysoką skuteczność, jak i wygodę w użytkowaniu¹³. Innym przykładem jest aplikacja, w której autorzy oceniają efektywność połączenia wciągającej gry VR ze stacjonarną jazdą rowerową, jako zdrowotną aktywność fizyczną¹⁴. Bardziej zaawansowane i precyzyjne systemy często wykorzystują rozwiązania tzw. szyte na miarę, a zatem dostosowywane do konkretnego zastosowania. Na przykład Simodont to przedkliniczny trening stomatologiczny, oparty na aplikacji VR, która została połączona z technologią haptyczną, symulującą realistyczne tekstury chropowatości¹⁵. Inny przykład to aplikacja do treningu osób z zaburzeniami ze spektrum autyzmu. Scenariusz aplikacji obejmuje wybór i manipulację namacalnymi obiektami oraz lokomocję, wykorzystując przy tym HMD i ekrany wielkoformatowe¹⁶. Wybrane przykłady przedstawiono na rysunku 2.



Rysunek 2. Wybrane przykłady technologii wpływającej na zwiększenie poziomu immersji

Od lewej: opaska kontrolna MYO Gesture, wirtualna platforma do jazdy na stacjonarnym rowerze, Simodont.

¹¹ B.-S. Lin, I.-J. Lee, S.-Y. Yang, Y.-C. Lo, J. Lee, J.-L. Chen, *Design of an Inertial-Sensor-Based Data Glove for Hand Function Evaluation*, „Sensors” 2018, vol. 18, no. 5, s. 15–45.

¹² K. Kunze, K. Minamizawa, S. Lukosch, M. Inami, J. Rekimoto, *Superhuman Sports: Applying Human Augmentation to Physical Exercise*, „IEEE Pervasive Computing” 2017, no. 2, s. 14–17.

¹³ X. Yang, S.-C. Yeh, J. Niu, Y. Gong, G. Yang, *Hand Rehabilitation Using Virtual Reality and Electromyography Signals*, 5th International Conference on Enterprise Systems, Beijing 2017.

¹⁴ G. Kim, F. Biocca, *Immersion in Virtual Reality Can Increase Exercise Motivation and Physical Performance*, International Conference on Virtual, Augmented and Mixed Reality, 2018, s. 94–102.

¹⁵ F. Wang, Y. Liu, M. Tian, Y. Zhang, S. Zhang, J. Chen, *Application of a 3d Haptic Virtual Reality Simulation System for Dental Crown Preparation Training*, 8th International Conference on Information Technology in Medicine and Education (ITME), IEEE, 2016, s. 424–427.

¹⁶ E. Bozgeyikli, R. Alqasemi, A. Rajj, S. Katkooori, R. Dubeyet, *Virtual Reality Interaction Techniques for Individuals with Autism Spectrum Disorder*, International Conference on Universal Access in Human-Computer Interaction, Springer, 2018, s. 58–77.

2. Aplikacje edukacyjne

Jednym z ważniejszych zastosowań wirtualnej rzeczywistości są aplikacje szkoleniowo-edukacyjne. Tego typu rozwiązania sprawdzają się również w przypadku szkoleń medycznych. Dzięki symulatorom odzwierciedlającym ludzki organizm, młodzi lekarze mogą zdobywać doświadczenie, eksperymentować, a także uczyć się na błędach, nie narażając zdrowia i życia pacjentów. Jednym z ciekawszych przykładów jest Physical Heart Model, czyli aplikacja prezentująca trójwymiarową strukturę ludzkiego serca¹⁷. Wirtualne serce jest ustawione w przestrzeni, a użytkownik może swobodnie nim manipulować, obracając pod różnymi kątami, analizując przekroje i relacje pomiędzy poszczególnymi jego częściami. Aplikacja została przetestowana na Wydziale Lekarskim Uniwersytetu w Jordanii, a jej efektywność porównano z nauką na tradycyjnym fizycznym modelu. Wyniki testów wskazały na wyższość wirtualnego modelu. Zbliżone podejście zaprezentowali autorzy aplikacji, której celem jest nauka budowy anatomicznej układu kostnego psów. Środowisko wirtualne umożliwia interakcję z poszczególnymi kośćmi, ich identyfikację oraz budowę szkieletu zwierzęcego w 3D¹⁸.

Wirtualne środowisko może symulować sytuacje, z którymi na co dzień musi sobie radzić personel medyczny. Przykładowo, Life Support to aplikacja, której celem jest szkolenie przeprowadzenia zaawansowanego zabiegu resuscytacji¹⁹. Scenariusz składa się z wielu czasowych, zespołowych zadań, dostarczających wskazówek na temat interwencji klinicznych podczas zatrzymania akcji serca i niewydolności oddechowej. Innym przykładem jest aplikacja przygotowująca do zawodu pielęgniarek i pielęgniarzy. Środowisko wirtualne replikuje oddział szpitalny pełen pacjentów z demencją, członków ich rodzin i personelu medycznego. Użytkownik doświadcza realnych scenariuszy, dzięki czemu poznaje zakres obowiązków oraz czynności wymagane od pracowników pielęgnujących

¹⁷ S.F. Alfalah, J.F. Falah, T. Alfalah, M. Elfalah, N. Muhaidat, O. Falah, *A Comparative Study Between a Virtual Reality Heart Anatomy System and Traditional Medical Teaching Modalities*, „Virtual Reality” 2019, vol. 23, no 3, s. 229–234.

¹⁸ J.H. Seo, B.M. Smith, M. Cook, E. Malone, M. Pine, S. Leal, Z. Bai, J. Suh, *Anatomy Builder VR: Applying a Constructive Learning Method in the Virtual Reality Canine Skeletal System*, International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics, 2017, s. 245–252.

¹⁹ A. Vankipuram, P. Khanal, A. Ashby, M. Vankipuram, A. Gupta, D. Drumm Gurnee, K. Josey, M. Smith, *Design and Development of a Virtual Reality Simulator for Advanced Cardiac Life Support Training*, „IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics” 2014, vol. 18, no. 4, s. 1478–1484.

pacjentów²⁰. Podobny cel ma aplikacja wspomagająca naukę przygotowania rąk do zabiegu chirurgicznego, co jest kluczowe w zapobieganiu zakażeniom²¹.

Bardziej zaawansowanym urządzeniem jest Simodont²², czyli wirtualna symulacja, która przygotowuje studentów stomatologii do tworzenia korony dentystycznej. Co ciekawe, symulator jest w stanie rozróżnić studentów od rezydentów, zarówno na podstawie czasu potrzebnego do wykonania korony, jak i ich umiejętności. Ponieważ odwzorowuje realistyczne sytuacje kliniczne, jest znacznie lepszym środowiskiem do nauki niż fantom czy plastikowy manekin. VRmagic²³ to również zaawansowany symulator chirurgiczny, który zapewnia realistyczne środowisko do nabywania sprawności psychomotorycznych i rozwoju mikrochirurgicznej świadomości przestrzennej. Zdobyte w ten sposób umiejętności początkujący chirurdzy okuliści stosują w trakcie rzeczywistych operacji zaćmy i operacji witreoretinalnych. Tego typu treningi pozwalają młodym lekarzom oswajać się z technikami poruszania się w przestrzeni oka pacjenta, minimalizując tym samym stres towarzyszący podczas przeprowadzania zabiegu w realiach sali operacyjnej. Wybrane przykłady aplikacji VR wykorzystanych w celach edukacyjnych przedstawiono na rysunku 3.



Rysunek 3. Zrzuty ekranu aplikacji VR wykorzystywanych w celach edukacyjnych

Od lewej: Life Support, nauka budowy anatomicznej układu kostnego psa, Physical Heart Model, Simodont.

²⁰ J. Elliman, M. Loizou, F. Loizides, *Virtual Reality Simulation Training for Student Nurse Education*, 8th International Conference on Games and Virtual Worlds for Serious Applications, 2016.

²¹ B. Harrison, R. Oehmen, A. Robertson, B. Robertson, P. De Cruz, R. Khan, D. Fick, *Through the Eye of the Master: The Use of Virtual Reality in the Teaching of Surgical Hand Preparation*, 5th International Conference on Serious Games and Applications for Health, 2017, 2017.

²² F. Wang, Y. Liu, M. Tian, Y. Zhang, S. Zhang, J. Chen, *Application of a 3d Haptic Virtual Reality Simulation System for Dental Crown Preparation Training*, 8th International Conference on Information Technology in Medicine and Education (ITME), IEEE, 2016, s. 424–427.

²³ M. Radia, M. Arunakirinathan, D. Sibley, *A Guide to Eyes: Ophthalmic Simulators*, „The Bulletin of the Royal College of Surgeons of England” 2018, vol. 100, no. 4, s. 169–171.

3. Rehabilitacja ruchowa

Wykorzystanie VR do rehabilitacji ruchowej już od dawna stanowi przedmiot badań, a rosnąca popularność sprzętu i oprogramowania przyczyniła się do wzrostu zainteresowania stosowaniem tego typu rozwiązań zarówno w warunkach klinicznych, jak i domowych²⁴. Jedną z ważniejszych grup odbiorców takich aplikacji są pacjenci po udarze krwi do mózgu, mający problemy ze sprawnością ruchową. Przykładem może być system do rehabilitacji kończyn górnych, który oferuje wiele interaktywnych ćwiczeń wykorzystujących sprzężenie zwrotne. Do badań pilotażowych zakwalifikowano dziesięć osób z niedowładem kończyn górnych spowodowanym udarem. Pacjenci uczestniczyli w dziesięciu sesjach (dwie sesje tygodniowo). Badania kliniczne pokazały, że wirtualny trening jest korzystny dla odzyskiwania funkcji motorycznych (zaobserwowano średnią poprawę o 5,3%), nawet w przewlekłym stadium. Obecnie są prowadzone badania na większej liczbie próbek, w celu potwierdzenia skuteczności terapii²⁵. Podobne podejście zastosowano w aplikacji do rehabilitacji motorycznej dłoni. Aplikacja wykorzystuje elastyczną ortezę, która pomaga wykonywać ćwiczenia dłoni za pomocą wirtualnego interfejsu²⁶.

Innym przykładem jest zastosowanie VR jako narzędzia do treningu umiejętności motorycznych w rehabilitacji zaburzeń równowagi i chodu. Najczęściej badania są prowadzone na chorych z zaburzeniami neurologicznymi, takich jak pacjenci z rozpoznaną chorobą Parkinsona, stwardnieniem rozsianym, po ostrym i przewlekłym udarze mózgu, urazowym uszkodzeniu mózgu czy z porażeniem mózgowym. Ponad dziewięćdziesiąt różnych badań potwierdza, że wykorzystanie VR poprawia równowagę i chód we wszystkich wymienionych kohortach, szczególnie w połączeniu z konwencjonalną rehabilitacją²⁷.

²⁴ W. Powell, A. Rizzo, P. Sharkey, J. Merrick, *Innovations and Challenges in the Use of Virtual Reality Technologies for Rehabilitation*, „Journal of Alternative Medicine Research” 2017, vol. 10.

²⁵ D. Perez-Marcos, O. Chevalley, T. Schmidlin, G. Garipelli, A. Serino, P. Vuadens, T. Tadi, O. Blanke, J. d. R. Millán, *Increasing Upper Limb Training Intensity in Chronic Stroke Using Embodied Virtual Reality: A Pilot Study*, „Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation” 2017, vol. 14, no. 119.

²⁶ P.D. Cartagena, J.E. Naranjo, C.A. Garcia, C. Beltran, M. Castro, M.V. Garcia, *Virtual Reality-Based System for Hand Rehabilitation Using an Orthosis*, w: *Augmented Reality, Virtual Reality, and Computer Graphics*, AVR 2018, s. 105–117.

²⁷ D.C. Porrás, P. Siemonsma, R. Inzelberg, G. Zeilig, M. Plotnik, *Advantages of Virtual Reality in the Rehabilitation of Balance and Gait: Systematic Review*, „Neurology” 2018, vol. 29, no. 90, s. 1017–1025.

Typowym zastosowaniem VR jest także przygotowanie pacjenta do życia po amputacji. Po operacji, pacjent musi nie tylko przejść kosztowne leczenie rehabilitacyjne, ale także odczekać kilka miesięcy przed otrzymaniem odpowiednio dopasowanej protezy. Przykładem tego typu aplikacji jest wirtualne środowisko szkoleniowe, w którym pacjenci po amputacji ręki mogą trenować samodzielnie, współdziałać z obiektami holograficznymi przy użyciu gogli Microsoft HoloLens, a jednocześnie odbierać wrażenia dotykowe i proprioceptywne²⁸. Tego typu środowisko można wykorzystać także w terapii motorycznej po amputacji nogi²⁹.

Przykłady aplikacji VR wykorzystanych do rehabilitacji ruchowej są przedstawione na rysunku 4.



Rysunek 4. Aplikacje VR wykorzystywane do rehabilitacji ruchowej

Od lewej: rehabilitacja kończyny górnej, narzędzie do treningu umiejętności motorycznych, przygotowanie pacjenta do życia po amputacji, Face to Face.

Bardzo ciekawe badania są prowadzone w zakresie wykorzystania VR do treningu mięśni twarzy. Przykładem jest system Face to Face³⁰, który ma na celu leczenie spastyczności mięśni twarzy spowodowanej udarem. Zadaniem pacjenta jest wykonywanie ćwiczeń prezentowanych przez wirtualnego terapeutę na ekranie. System rejestruje i jednocześnie przekazuje informację zwrotną, korzystając z algorytmu rozpoznawania twarzy przechwytywaną za pomocą czujnika Kinect. Badania kliniczne wskazują, że system jest skuteczniejszy niż ćwiczenia wykonywane przed lustrem. Face to Face zachęca pacjenta do ćwiczeń, ale

²⁸ A. Sharma, C.L. Hunt, A. Maheshwari, L. Osborn, G. Levay, R.R. Kaliki, A.B. Soares, N. Thakork, *A Mixed-Reality Training Environment for Upper Limb Prosthesis Control*, Conf. IEEE Biomed. Circuits Syst. (BioCAS), 2018.

²⁹ S.L. Winkler, J.A. Kairalla, R. Cooper, I. Gaunard, M. Schlesinger, A. Krueger, A. Ludwig, *Comparison of Functional Benefits of Self-management Training for Amputees Under Virtual World and E-learning Conditions*, 11th International Conference on Disability, Virtual Reality & Associated Technologies, 2016.

³⁰ P. Breedon, P. Logan, D. Pearce, J. Edmans, B. Childs, R. O'Brien, *Face to Face: An Interactive Facial Exercise System for Stroke Patients with Facial Weakness*, 11th International Conference on Disability, Virtual Reality & Associated Technologies, 2016.

przede wszystkim rejestruje jego progres. Innym przykładem jest system wspomagający odzyskiwanie mimiki za pomocą funkcjonalnej elektrycznej stymulacji po transplantacji twarzy³¹.

4. Terapia psychologiczna

Wirtualna rzeczywistość pomaga również w profesjonalnej psychoterapii, a dokładnie w terapii kognitywno-behawioralnej, przykładowo do leczenia pacjentów z zaburzeniami lękowymi i fobiami, zespołu stresu pourazowego, uzależnień oraz innych zaburzeń wpływających negatywnie na codzienne życie pacjenta. Jednym z najczęstszych rodzajów fobii jest fobia społeczna, dotyka ona około 7–9% społeczeństwa. Liczne badania wskazują, że aplikacje wirtualnej rzeczywistości bazujące na terapii kognitywno-behawioralnej wraz z zastosowaniem biologicznego sprzężenia zwrotnego są skutecznym sposobem na poprawę tego typu zaburzeń. Najczęściej scenariusze takich aplikacji polegają na wytworzeniu środowiska wzbudzającego niepokój użytkownika, np. publiczne wystąpienie czy rozmowa o pracę dla przypadków fobii nieuogólnionej oraz kontakty towarzyskie lub codzienna interakcja społeczna w szpitalach, biurach itp. dla fobii uogólnionej³². Podobne aplikacje można wykorzystać w leczeniu akrofobii³³, arachnofobii³⁴, klaustrofobii³⁵, aerodromofobii³⁶ i wielu innych³⁷.

³¹ Ç. Topçu, H. Uysal, Ö. Özkan, Ö. Özkan, Ö. Polat, M. Bedeloğlu, A. Akgül, E. Naz Döğer, R. Sever, Ö.H. Çolak, *Recovery of Facial Expressions Using Functional Electrical Stimulation After Full-face Transplantation*, „Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation” 2018, vol. 15, no. 15.

³² D. Reyna, R. Caraza, M. Gonzalez-Knoell, A. Ayala, P. Martinez, A. Loreda, R. Rosas, P. Reyes, *Virtual Reality for Social Phobia Treatment*, „Smart Technology” 2018, vol. 213, s. 165–177.

³³ M. Krijn, P.M. Emmelkamp, R. Biemond, C. de Wilde de Ligny, M.J. Schuemie, C. van der Mast, *Treatment of Acrophobia in Virtual Reality: The Role of Immersion and Presence*, „Behaviour Research Therapy”, 2004, vol. 42, s. 229–239.

³⁴ Y. Shiban, P. Pauli, A. Mühlberger, *Effect of Multiple Context Exposure on Renewal in Spider Phobia*, „Behaviour Research Therapy”, 2013, vol. 51, s. 68–74.

³⁵ C. Botella, R.M. Baños, H. Villa, C. Perpiñá, A. García-Palacios, *Virtual Reality in the Treatment of Claustrophobic Fear: A Controlled, Multiple-baseline Design*, „Behaviour Research Therapy” 2000, vol. 31, s. 583–595.

³⁶ R. Braga, L. Camello, V. Costa, A. Raposo, H. Rodrigues, P. Ventura, *Virtual Reality as a Support Tool for the Treatment of Flying Phobia: A Pilot Study*, 19th Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR), 2017.

³⁷ J.L. Maples-Keller, B.E. Bunnell, S.-J. Kim, B.O. Rothbaum, *The Use of Virtual Reality Technology in the Treatment of Anxiety and Other Psychiatric Disorders*, „Harvard Review of Psychiatry” 2017, vol. 25, no. 3, s. 103–113.

Technologia VR bardzo często jest wykorzystywana do leczenia zespołu stresu pourazowego (*post traumatic stress disorder* – PTSD). Jej skuteczność w tym zakresie jest potwierdzona licznymi badaniami, bowiem jest już wykorzystywana od ponad dwudziestu lat, a pierwsze badania kliniczne prowadzono na żołnierzach amerykańskich walczących w Wietnamie. Scenariusz takich aplikacji przenosi leczonych żołnierzy do wirtualnego świata zmagających wojennych (np. do wnętrza helikoptera Huey). Terapeuta stymuluje pacjenta doznaniem audiowizualnymi dostosowanymi do jego indywidualnej traumy. Tego typu terapie wciąż są z powodzeniem stosowane, zmieniła się tylko technologia i wykorzystywane scenariusze³⁸. Jedną z ważniejszych aplikacji jest DeepVR³⁹, czyli podwodny świat, w którym sterowanie odbywa się za pomocą oddechu, a przez to przyczynia się do redukcji stresu: przy każdym wdechu użytkownik płynie w górę, a z wydechem w dół. Aplikacja może służyć także do relaksacji, jest wykorzystywana przez małych pacjentów na oddziałach onkologicznych i w hospicjach.

W literaturze coraz częściej można dostrzec potencjalne korzyści z wykorzystania VR jako narzędzia wspierającego terapię behawioralną dzieci i dorosłych z zaburzeniami ze spektrum autyzmu (*autism spectrum disorder* – ASD). Przykładem może być aplikacja VR, która zwiększa społeczne zdolności adaptacyjne dzieci z ASD. Aplikacja składa się z sześciu unikalnych scenariuszy nauki, takich jak: kontrola emocji i relaksacja, symulacja różnych sytuacji społecznych, ułatwianie konsolidacji i generalizacji⁴⁰. Innym przykładem jest symulator rozmowy kwalifikacyjnej, który ma za zadanie ułatwić osobom autystycznym znalezienie pracy⁴¹.

Przykłady aplikacji VR wykorzystywanych do rehabilitacji psychologicznej są przedstawione na rysunku 5.

³⁸ A. Rizzo, T. Talbot, *Virtual Reality Standardized Patients for Clinical Training*, w: *The Digital Patient*, John Wiley & Sons, Inc, 2016.

³⁹ www.exploreddeep.com.

⁴⁰ H.H. Ip, S.W. Wong, D.F. Chan, J. Byrne, C. Li, V.S. Yuan, K.S. Lau, J.Y. Wong, *Enhance Emotional and Social Adaptation Skills for Children with Autism Spectrum Disorder: A Virtual Reality Enabled Approach*, „Computers & Education”, Association for the Advancement of Computing in Education (AACE), Chesapeake, VA, 2018, vol. 117, s. 1–15.

⁴¹ P. Arter, T. Brown, M. Law, J. Barna, A. Fruehan, R. Fidiem, *Virtual Reality: Improving Interviewing Skills in Individuals with Autism Spectrum Disorder*, „Society for Information Technology & Teacher Education” 2018, s. 1086–1088.



Rysunek 5. Aplikacje VR wykorzystywane do rehabilitacji psychologicznej

Od lewej terapia przy: aerodromofobii, PTSD, ASD.

5. Podsumowanie i kierunki dalszego rozwoju

Przedstawione w artykule przykłady udowadniają, że VR ma ogromny potencjał we wsparciu działań służby zdrowia. Poprzez zapewnienie wciągającego środowiska, które stymuluje różne zmysły, opieka medyczna staje się przyjemniejsza zarówno dla pacjenta, jak i dla pracownika. Mimo iż jest to metoda nowa, na rynku istnieje już ich wiele implementacji z wykorzystaniem dla celów medycznych. Rynek nie jest jednak jeszcze nimi nasycony. Obserwujemy stały ich rozwój zarówno w obszarach technologicznych (wykorzystanie większej liczby czujników, elementów umożliwiających oddziaływanie na większą liczbę zmysłów), jak i celów wykorzystania w obszarach medycyny dotychczas niewspieranych technologią VR. Niektóre dziedziny medycyny, takiej jak neurologia, okulistyka czy telemedycyna wymagają głębszej analizy⁴².

Jednym z kluczowych problemów, którym należy się zająć w najbliższej przyszłości, jest brak realizmu wizualnego, a także realności dynamiki i interakcji. Można wywnioskować, że techniki wykorzystywane do generowania i wyświetlania grafiki są dość ograniczone. Warto wspomnieć, że konstrukcja psychowizualna ludzkiego mózgu pozwala wykryć nawet małe nierealistyczne szczegóły, które mogą z łatwością przełamać immersję i rozproszyć uwagę pacjenta i wiązać się z koniecznością powtarzania ćwiczenia.

Wysokie koszty sprzętu do VR ograniczają użytek masowy, przez co technologia ta pozostaje na razie dostępna jedynie dla wąskiego grona odbiorców. Narzędzia zapewniające zaawansowane wrażenia VR to wydatek rzędu 400–600 dol., ponadto sprzęt ten ma wysokie wymagania technologiczne. Na rynku są też

⁴² D. Kamińska, T. Sapiński, M. Kucharczyk-Pośpiech, M. Wilczyński, *Ishihara Color Test Using a Mobile Virtual Reality Headset for Immobilised Patients*, „Roczniki Kolegium Analiz Ekonomicznych” 2017, zeszyt 46, Szkoła Główna Handlowa w Warszawie, s. 297–304.

dostępne produkty, które wykorzystują telefony komórkowe, np. Samsung Gear VR czy Google Cardboard. Niestety możliwości tych rozwiązań są znacznie ograniczone. A szkoda, gdyż możliwość trenowania poza placówką specjalistyczną mogłaby przyczynić się do zwiększenia efektywności terapii, szybszych jej rezultatów, a co za tym idzie zmniejszenia nakładów na służbę zdrowia.

Należy również pamiętać o skutkach ubocznych jakie niesie ze sobą VR. Badania wskazują, że nadmierne korzystanie z HMD może powodować lęk, stres, izolację, uzależnienie, a także wpływać na zmiany nastroju⁴³. Co więcej, symulowane ruchy mogą wywoływać uczucie dezorientacji i nudności⁴⁴. Dlatego też przed rozpoczęciem terapii czy leczenia, zaleca się sukcesywne przygotowywanie pacjenta do wirtualnego środowiska, a także stosowanie leków na chorobę lokomocyjną, jeśli jest konieczne.

Bibliografia

- Alfalah S., Falah J., Alfalah T., Elfalah M., Muhaidat N., Falah O., *A Comparative Study Between a Virtual Reality Heart Anatomy System and Traditional Medical Teaching Modalities*, „Virtual Reality” 2018.
- Arter P., Brown T., Law M., Barna J., Fruehan A., Fidiham R., *Virtual Reality: Improving Interviewing Skills in Individuals with Autism Spectrum Disorder*, „Society for Information Technology & Teacher Education” 2018, s. 1086–1088.
- Botella C., Baños R.M., Villa H., Perpiñá C., García-Palacios A., *Virtual Reality in the Treatment of Claustrophobic Fear: A Controlled, Multiple-baseline Design*, „Behaviour Research Therapy” 2000, vol. 31, s. 583–595.
- Bozgeyikli E., Alqasemi R., Raij A., Katkooori S., Dubeyet R., *Virtual Reality Interaction Techniques for Individuals with Autism Spectrum Disorder*, International Conference on Universal Access in Human-Computer Interaction, Springer, 2018, s. 58–77.
- Braga R., Camello L., Costa V., Raposo A., Rodrigues H., Ventura P., *Virtual Reality as a Support Tool for the Treatment of Flying Phobia: A Pilot Study*, 19th Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR), 2017.
- Breedon P., Logan P., Pearce D., Edmans J., Childs B., O'Brien R., *Face to Face: An Interactive Facial Exercise System for Stroke Patients with Facial Weakness*, 11th International Conference on Disability, Virtual Reality & Associated Technologies, 2016

⁴³ P.J. Costello, *Health and Safety Issues Associated with Virtual Reality: A Review of Current Literature*, Citeseer, 1997.

⁴⁴ S. Davis, K. Nesbitt, E. Nalivaiko, *Comparing the Onset of Cybersickness Using the Oculus Rift and Two Virtual Roller Coasters*, Proceedings of the 11th Australasian Conference on Interactive Entertainment, 2015, vol. 27, s. 30.

- Cartagena P.D., Naranjo J.E., Garcia C.A., Beltran C., Castro M., Garcia M.V., *Virtual Reality-Based System for Hand Rehabilitation Using an Orthosis*, w: *Augmented Reality, Virtual Reality, and Computer Graphics*, AVR 2018, s. 105–117.
- Elliman J., Loizou M., Loizides F., *Virtual Reality Simulation Training for Student Nurse Education*, 8th International Conference on Games and Virtual Worlds for Serious Applications, 2016.
- Falconer C.J., Rovira A., King J.A., Gilbert P., Antley A., Fearon P., Ralph N., Slater M., Brewin C.R., *Embodying Self-compassion within Virtual Reality and its Effects on Patients with Depression*, „BJPsych Open” 2016, vol. 2, s. 74–80.
- Górski F., Buń P., Wichniarek R., Zawadzki P., Hamrol A., *Effective Design of Educational Virtual Reality Applications for Medicine using Knowledge-Engineering Techniques*, „EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education” 2017, vol. 13(2), s. 395–416.
- Gutierrez J.M., Anorbe-Díaz C., Gonzalez-Marrero A., *Virtual Technologies Trends in Education*, „EURASIA Journal of Mathematics Science and Technology Education” 2017, vol. 13, no. 2.
- Harrison B., Oehmen R., Robertson A., Robertson B., De Cruz P., Khan R., Fick D., *Through the Eye of the Master: The Use of Virtual Reality in the Teaching of Surgical Hand Preparation*, 5th International Conference on Serious Games and Applications for Health, 2017.
- Hsieh M.C., Lee J.J., *Preliminary Study of VR and AR Applications in Medical and Healthcare Education*, „Journal of Nursing and Health Studies” 2017, vol. 3, No.1:1.
- Kim G., Biocca F., *Immersion in Virtual Reality Can Increase Exercise Motivation and Physical Performance*, International Conference on Virtual, Augmented and Mixed Reality, 2018, s. 94–102.
- Krijn M., Emmelkamp P.M., Biemond R., de Wilde de Ligny C., Schuemie M.J., van der Mast C., *Treatment of Acrophobia in Virtual Reality: The Role of Immersion and Presence*, „Behaviour Research Therapy”, 2004, vol. 42, s. 229–239.
- Kunze K., Minamizawa K., Lukosch S., Inami M., Rekimoto J., *Superhuman Sports: Applying Human Augmentation to Physical Exercise*, „IEEE Pervasive Computing” 2017, no. 2, s. 14–17.
- Kurillo G., Han J., Nicorici A., Bajcsy R., *Tele-MFAsT: Kinect-Based Tele-Medicine Tool for Remote Motion and Function Assessment*, MMVR, 2014, s. 215–221.
- Lee L., Wong K.W., *A Review of Using Virtual Reality for Learning*, „Transactions on Edutainment” 2008, vol. 4, s. 231–241.
- Lin B.-S., Lee I.-J., Yang S.-Y., Lo Y.-C., Lee J., Chen J.-L., *Design of an Inertial-Sensor-Based Data Glove for Hand Function Evaluation*, „Sensors” 2018, vol. 18, no. 5, s. 15–45.
- Maples-Keller J.L., Bunnell B.E., Kim S.-J., Rothbaum B.O., *The Use of Virtual Reality Technology in the Treatment of Anxiety and Other Psychiatric Disorders*, „Harvard Review of Psychiatry” 2017, vol. 25, no. 3, s. 103–113.

- Perez-Marcos D., Chevalley O., Schmidlin T., Garipelli G., Serino A., Vuadens P., Tadi T., Blanke O., Millán J. d. R., *Increasing Upper Limb Training Intensity in Chronic Stroke Using Embodied Virtual Reality: A Pilot Study*, „Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation” 2017, vol. 14, no. 119.
- Porras D.C., Siemonsma P., Inzelberg R., Zeilig G., Plotnik M., *Advantages of Virtual Reality in the Rehabilitation of Balance and Gait: Systematic Review*, „Neurology” 2018, vol. 29, no. 90, s. 1017–1025.
- Powell W., Rizzo A., Sharkey P., Merrick J., *Innovations and Challenges in the Use of Virtual Reality Technologies for Rehabilitation*, „Journal of Alternative Medicine Research” 2017, vol. 10.
- Radia M., Arunakirinathan M., Sibley D., *A Guide to Eyes: Ophthalmic Simulators*, „The Bulletin of the Royal College of Surgeons of England” 2018, vol. 100, no. 4, s. 169–171.
- Reyna D., Caraza R., Gonzalez-Knoell M., Ayala A., Martinez P., Loreda A., Rosas R., Reyes P., *Virtual Reality for Social Phobia Treatment*, „Smart Technology” 2018, vol. 213, s. 165–177.
- Riva G., *Applications of Virtual Environments in Medicine*, „Methods of Information in Medicine” 2003, vol. 42(5), s. 524–534.
- Rizzo A., Talbot T., *Virtual Reality Standardized Patients for Clinical Training*, w: *The Digital Patient*, John Wiley & Sons, Inc, 2016.
- Sathiyarayanan M., Rajan S., *MYO Armband for Physiotherapy Healthcare: A Case Study Using Gesture Recognition Application*, 8th International Conference on Communication Systems and Networks (COMSNETS), 2016.
- Seo J.H., Smith B.M., Cook M., Malone E., Pine M., Leal S., Bai Z., Suh J., *Anatomy Builder VR: Applying a Constructive Learning Method in the Virtual Reality Canine Skeletal System*, International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics, 2017, s. 245–252.
- Sharma A., Hunt C.L., Maheshwari A., Osborn L., Levay G., Kaliki R.R., Soares A.B., Thakork N., *A Mixed-Reality Training Environment for Upper Limb Prosthesis Control*, Conf. IEEE Biomed. Circuits Syst. (BioCAS), 2018.
- Shiban Y., Pauli P., Mühlberger A., *Effect of Multiple Context Exposure on Renewal in Spider Phobia*, „Behaviour Research Therapy” 2013, vol. 51, s. 68–74.
- Topçu Ç., Uysal H., Özkan Ö., Özkan Ö., Polat Ö., Bedeloğlu M., Akgül A., Naz Döğer E., Sever R., Çolak Ö.H., *Recovery of Facial Expressions Using Functional Electrical Stimulation After Full-face Transplantation*, „Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation” 2018, vol. 15, no. 15.
- Vankipuram A., Khanal P., Ashby A., Vankipuram M., Gupta A., Drumm Gurnee D., Josey K., Smith M., *Design and Development of a Virtual Reality Simulator for Advanced Cardiac Life Support Training*, „IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics” 2014, vol. 18, no. 4, s. 1478–1484.

- Wang F., Liu Y., Tian M., Zhang Y., Zhang S., Chen J., *Application of a 3d Haptic Virtual Reality Simulation System for Dental Crown Preparation Training*, 8th International Conference on Information Technology in Medicine and Education (ITME), IEEE, 2016, s. 424–427.
- Winkler S.L., Kairalla J.A., Cooper R., Gaunaurd I., Schlesinger M., Krueger A., Ludwig A., *Comparison of Functional Benefits of Self-management Training for Amputees Under Virtual World and E-learning Conditions*, 11th International Conference on Disability, Virtual Reality & Associated Technologies, 2016.
- Yang X., Yeh S.-C., Niu J., Gong Y., Yang G., *Hand Rehabilitation Using Virtual Reality and Electromyography Signals*, 5th International Conference on Enterprise Systems, Beijing 2017.

* * *

Virtual Reality and its application to healthcare

Abstract

Over the last several years, Virtual Reality has moved from being the purview of gaming to professional development. It plays an important role in the medical area, providing an interesting and engaging way for psychotherapy, motor rehabilitation and education. In this paper we put together the most interesting VR applications used in healthcare in relation to several medical areas. We present methods for creating scenarios and different approaches to testing and validation. Lastly, we conclude and discuss future directions of virtual reality and its potential to improve the provision of medical services.

Keywords: virtual reality, healthcare, immersion, medicine