

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ В ПРОГРАММАХ НЕЙРОРЕАБИЛИТАЦИИ

УДК 616.831

Колышенков В.А., Еремушкин М.А., Стяжкина Е.М.

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, Россия

PERSPECTIVES OF THE DEVELOPMENT OF VIRTUAL REALITY SYSTEMS ON NEUROREHABILITATION PROGRAMS

Kolyshenkov V.A., Eremushkin M.A., Styazhkina E.M.

«National Medical Research Center of Rehabilitation and Balneology», Moscow, Russia

За последние 5 лет понятия виртуальная, дополненная и смешанная реальность прочно вошли в повседневный лексикон не только научных работников, но и широких слоев населения.

Отцом термина виртуальной реальности можно считать J.Z. Lanier, основателя VRL Research Inc. (USA). Сам Lanier дает следующее определение данному явлению: «Виртуальная реальность – это иммерсивная и интерактивная имитация реалистичных и вымышленных сред, т.е. некий иллюзорный мир, в который погружается и с которым взаимодействует человек, причем создается этот мир имитационной системой, способной формировать соответственные стимулы в сенсорном поле человека и воспринимать его ответные реакции в моторном поле в реальном времени».

Согласно прогнозам агентства Statista, в 2022 году объем рынка виртуальной, дополненной и смешанной реальности вырастет до 209.2 млрд долларов.

Системы виртуальной реальности (VR-системы) представляя собой интерфейс нового типа, погружают человека в трехмерный мир для непосредственного сенсорного восприятия этого мира с прямым манипулированием объектами.

Современные VR-системы базируются на различных программно-аппаратных комплексах. Базовыми технологическими решениями, находящимися в открытом доступе, являются: HTC VIVE (High Tech Computer Corporation, Тайвань), OCULUS RIFT (Oculus VR, США), GearVR (SAMSUNG, Южная Корея), Googlecardboard (GOOGLE, США).

Также одним из интересных решений является комната виртуальной реальности, так называемая CAVE (Computer-Aided Virtual Environment), представляющая собой многогранную (от трех до шести экранов) проекционную систему 3D-визуализации, которая позволяет одновременно нескольким пользователям совместно манипулировать сложными 3D-моделями в масштабе 1:1 и обеспечивать наибольший эффект погружения, доступный на данный момент времени.

Все VR-системы условно можно подразделить на стационарные и мобильные решения. Стационарные решения представлены высококачественными дисплеями с оптической системой линз и технологиями отслеживания перемещения пользователя в пространстве. Особенностью данных систем является использование современного персонального компьютера с мощным графическим процессором, который используется в качестве вычислительного элемента.

Мобильные решения основываются на простых линзовых системах, с использованием в качестве вычислительного элемента современного смартфона или аналоговых им технических решений.

Стационарные системы позволяют передавать изображение более высокого качества и более высокополигональные модели, тем самым увеличивая эффект погружения в виртуальную среду. Мобильные решения напротив, имея более слабые вычислительные мощности, могут обеспечить погружение только до определенного уровня, однако последние разработки в области мобильных технологий позволяют данным системам вплотную подойти к своим старшим братьям.

Сегодня VR-системы нашли самое широкое применение в военном деле, торговле, промышленности, образовании, медицине и многих других сферах деятельности человека.

Разработка и внедрение VR-систем в повседневную медицинскую практику и современную систему здравоохранения характеризуется следующими преимуществами:

- возможностью заменить трудоемкую рутинную работу медицинских специалистов;
- сокращением количества медицинского персонала, участвующего в процессе лечения и реабилитации пациентов;
- сокращением сроков восстановительного лечения за счет полимодального воздействия виртуальной реальности;
- проведением удаленных процедур и консультаций по телемедицинским протоколам;

- актуализированием образовательного процесса обучения специалистов;
- активным вовлечением пациентов в процессы лечения и реабилитации, благодаря геймификации лечебного процесса.

Как стационарные, так и мобильные VR-системы представляют особый интерес для медицинской реабилитации, в особенности нейрореабилитации пациентов.

В действующей Номенклатуре медицинских услуг (приказ Минздравсоцразвития РФ от 27.12.2011 № 1664н) к позициям, касающимся возможного использования виртуальных сред, можно отнести, например, коды А19.03.001.014 «Тренировка с биологической обратной связью по опорной реакции при травме позвоночника» или А19.03.001.017 «Тренировка с биологической обратной связью по кинезиологическому образу движения при травме позвоночника» и др. Использование виртуальных сред и объектов в релаксационных, не кодируемых в качестве медицинских услуг целях также сегодня достаточно распространено в лечебно-профилактических учреждениях санаторного типа.[1] Достаточно широко использование VR-систем представлено в Приказе Министерства здравоохранения РФ от 29 декабря 2012 г. N 1705н «О Порядке организации медицинской реабилитации» в форме рекомендуемого оснащения медицинских центров и специализированных отделений медицинской реабилитации «Персональными компьютерами с игровыми программами» и «Программным обеспечением для работы с оборудованием с биологической обратной связью».

Несмотря на то, что виртуальная реальность сравнительно недавно стала внедряться в практику нейрореабилитации различные исследования в данной области показали положительный эффект для пациентов с различными патологическими состояниями. VR-системы активно применяются для снижения острых и хронических болей [3–12], терапии фобий и тревожных расстройств [11–18], при других патологических состояниях в программах медицинской реабилитации [25–30].

В 1995 году Rothbaum B.O., Hodges L.F., Kooper R., Opdyke D., Williford J.S., North M. провели исследование в области терапии акрофобии в компьютерно-моделированной среде. В исследовании приняли участие 20 студентов, которые страдали от акрофобии. Исследуемых разделили на две группы. Оценка проводилась по каскаду шкал и тестов тревожности, связанных с воздействием высот. По истечении 8 недель испытуемые основной группы показали значительное улучшение по всем измеряемым параметрам, в то время как контрольная группа осталась неизменной.

Использование VR-технологий для лечения боли также показало достаточно высокую эффективность. Многие исследователи предполагают, что снижение болевых ощущений в виртуальной среде порождается отвлекающим фактором, хотя достоверно этот факт подтвержден не был [7]. Терапия фантомных болей – «виртуальная зеркальная терапия» позволяла пациентам через двигательную активность не ампутированной конечности существенно снизить уровень болевых ощущений [6, 21, 23].

В восстановлении функции органов движения и опоры особый интерес представляет соединение технологической виртуальной реальности и различных терапевтических комплексов, таких как роботизированные механотерапевтические установки (CONTREX, GEO-EVOLUTION), сенсорные дорожки (C-Mill, Walker-View). [24, 27, 29]. Примером сочетаний технологий виртуальной реальности и

индивидуальных средств реабилитации может служить симуляторы инвалидных колясок, которые помогают пациентам отработать навыки управления коляской в безопасной среде [29].

Поддержание позы и равновесия в пространстве исследователи также не оставили без внимания. Keshner E.A. и Kenyon R.V. предлагали пациенту с вестибулярными нарушениями выполнить ряд действий, находясь на двигающейся стабиллоплатформе. Смещение платформы задавалось средствами математической обработки и выполнялось вперед-назад, тогда как генерируемое пространство смещалось вправо-влево. После нескольких повторений данного задания способность пациента удерживать положение в пространстве достоверно улучшилась [30].

Meetika Khurana, Shefali Walia и Majumni M. Nohu в своем исследовании предлагали пациентам пройти терапию, основанную на игровых аспектах. Исследуемые были разделены на две группы. Первой группе предлагалось выполнять задания, основанные на играх в виртуальной реальности, вторая группа пациентов выполняла классические упражнения в реальном времени без VR-элементов. В результате пациенты первой группы, после прохождения тренировочных заданий показывали лучшие результаты нежели пациенты второй группы [31].

Одним из интересных аспектов в использовании виртуальной реальности является восстановление функции верхней конечности.

В Научном центре неврологии (Россия) была выполнена работа по изучению эффективности двигательного обучения с применением технологии виртуальной реальности. В качестве аппаратной базы была использована игровая приставка PlayStation 2, камера Eye Toy. В виртуальной среде имитировалась игра в боулинг. Игровой аспект был направлен на тренировку скорости и точности движений руки в проксимальном отделе. После проведенной терапии отмечалось уменьшение степени пареза не только в проксимальных, но и дистальных отделах руки, повышение точности движения, убавление кривизны траектории и времени планирования движения, а также снижение степени выраженности сгибательной синергии в локте при выполнении движения «достижения цели» [2].

На сегодняшний день большинство исследований в области технологий виртуальной реальности являются положительным опытом, как для исследователя, так и для пациента. Однако стоит отметить, что все научные изыскания находятся на ранней стадии и многие исследователи достаточно часто сталкиваются с техническими и теоретическими препятствиями.

Развитие новой дисциплины как научно-практической составляющей программ нейрореабилитации должно быть строго регламентировано, как в технической, так и в методологической части. В данный момент в мировом научном пространстве сложилась некая двусмысленность, отчасти из-за своеобразной «незрелости» виртуальной реальности, как самостоятельной отрасли и подмене понятий, которая связана с недостаточной технической осведомленностью специалистов в данной области. Во многих выше представленных исследованиях не была проведена четкая грань различий между виртуальной реальностью, дополненной реальностью, биологически обратной связью. Отдельной проблемной областью виртуальной реальности является юзабилити – удобство использования VR-систем и определенный уровень знаний для их быстрого запуска со стороны спе-

циалиста и возможность быстрого обучения действиям в виртуальном пространстве со стороны пациента. Пациенты с определенным уровнем когнитивных нарушений, физические недостатки, такими как ампутации или зрительными расстройствами не смогут в полной мере использовать виртуальную реальность. Несомненно, в ближайшем будущем данная проблема будет решена, но в данный момент представляет собой серьезную трудность для повседневного использования VR-систем, как средств терапевтического воздействия. Кроме того, длительное нахождение монитора с высоким разрешением негативно сказывается на зрительном анализаторе пациента [32, 33].

Отдельно бы хотелось отметить использование систем виртуальной реальности вне клинических условий. Площади учреждений здравоохранения могут быть оборудованы под системы виртуальной реальности, когда как конечный пользователь в домашних условиях может столкнуться с нехваткой пространства (для развертки системы HTC VIVE требуется пространство 5×2 м). Техника, находящаяся в квартире, например, телевизионные пульты, радиоизлучение, излучение ИК-диапазона может существенно помешать отслеживанию VR-устройств в пространстве. В связи с чем, установка VR-системы в домашних условиях при сохранении удобства использования домашнего пространства может стать существенным ограничением.

Помимо этого, длительное влияние технологий виртуальной реальности на пациента в целом пока еще не до конца понятно. Требуется провести целый каскад научно-практических исследований как в медицинских, так и социально-прикладных науках, чтобы оценить безопасность внедренческих решений. Все это будет способствовать получению сертификатов безопасности и регистрации VR-систем в качестве устройства медицинского назначения.

Особо следует обратить внимание на существующий разрыв между разработчиками виртуальных технологий, рассматривающие VR-системы исключительно в качестве игровых устройств и специалистами в области нейрореабилитации, не обладающими необходимыми техническими навыками несмотря на то, что активная связь «программист – медицинский специалист» позволила бы существенно ускорить процесс интеграции виртуальных технологий в клиническую практику.

Таким образом, можно заключить, что VR-системы, применяемые в нейрореабилитации, сегодня должны соот-

ветствовать определенным требованиям, которые в свою очередь ставят задачи разработчикам виртуальных сред, программного обеспечения и аппаратных технологий:

Безопасность. Современные «домашние» VR-системы предполагают использование пространства размером от 5 до 25 м². Пространство должно быть полностью свободным от бытовых предметов, чтобы не допустить травматизации. В клинической практике целесообразно устанавливать системы в просторных помещениях с дополнительными системами безопасности, такие как подвесные системы, системы предотвращения падения, специальные напольные покрытия, снижающие риск вреда здоровью.

Простота. Опыт использования систем виртуальной реальности четко дает понять, что не всегда даже здоровому человеку под силу разобраться с методикой использования. Медицинские VR-системы должны быть максимально удобны и понятны конечному пользователю, пациенту. Различные нарушения со стороны опорно-двигательной, нервной и зрительной систем могут внести существенные корректировки в управлении виртуальной средой. Пациент должен максимально комфортно чувствовать себя в виртуальном пространстве и достаточно с высокой скоростью обучаться управлению, чтобы максимально сконцентрироваться на выполнении конечной задачи.

Результативность. При разработке виртуальных сред достаточно сложно учесть все предпочтения пациента со стороны визуальной составляющей, что является достаточно важным фактором в достижении результата. Конечные терапевтические задачи должны быть поставлены четко, с возможностью их постоянного усложнения и модификации в зависимости от функционального статуса пациента. Также пациенту должна быть предоставлена возможность выбирать ту виртуальную среду, в которой ему комфортно находиться.

Методический контроль. В настоящее время разработчики медицинских систем виртуальной реальности сконцентрированы на максимально быстром продвижении своего решения на рынок, однако в этой гонке часто выпадает, часть, которая отвечает за эффективность реабилитационного процесса – методика. Разработчикам VR систем стоит обратиться за помощью к специалистам в области физической и реабилитационной медицины для разработки более качественного программного решения, базирующегося на методических рекомендациях, утвержденных на должном уровне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Кубряк О. В., Панова Е. Н. Определение понятий виртуальной реальности в медицинской реабилитации // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. – 2017. – Т. 16, № 2. – С. 70–72.
2. Черникова Л. А., Иоффе М. Е., Курганская М. Е., Мокиенко О. А., Кацуба, Н. А., Устинова К. И., Прокопенко Р. А., Фролов А. А. Применение технологии виртуальной реальности при восстановлении движений в паретичной руке у больных, перенесших инсульт // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация, 3 (2011), 3–7.
3. Wright JL, Hoffman HG, Sweet RM. Virtual reality as an adjunctive pain control during transurethral microwave thermotherapy. *Urology* 2005 Dec;66(6):1320.
4. Hoffman HG, Patterson DR, Seibel E, Soltani M, Jewett-Leahy L, Sharar SR. Virtual reality pain control during burn wound debridement in the hydrotank. *Clin J Pain* 2008 May;24(4):299–304.
5. Thomas DA. Virtual reality research continues to progress at the National Institutes of Health. *Cyberpsychol Behav Soc Netw* 2014 Jun;17(6):334
6. Maani, C. V., Hoffman, H. G., Morrow, M., Maiers, A., Gaylord, K., McGhee, L. L., & DeSocio, P. A. Virtual reality pain control during burn wound debridement of combat-related burn injuries using robot-like arm mounted VR goggles. *J Trauma* 2011 Jul;71(1 Suppl): 125-S130
7. Garrett B, Taverner T, Masinde W, Gromala D, Shaw C, Negraeff M. A rapid evidence assessment of immersive virtual reality as an adjunct therapy in acute pain management in clinical practice. *Clin J Pain* 2014 Dec;30(12):1089–1098.
8. Dahlquist, L. M., Weiss, K. E., Law, E. F., Sil, S., Herbert, L. J., Horn, S. B., Wohlheiter, K., ... Ackerman, C. S. Effects of videogame distraction and a virtual reality type head-mounted display helmet on cold pressor pain in young elementary school-aged children. *J Pediatr Psychol*. 2009;35(6):617–25.
9. Garrett B, Taverner T, McDade P. Virtual Reality as an Adjunct Home Therapy in Chronic Pain Management: An Exploratory Study. *JMIR Med Inform* 2017 May 11;5(2):e11

10. Tashjian, V. C., Mosadeghi, S., Howard, A. R., Lopez, M., Dupuy, T., Reid, M., Martinez, B., Ahmed, S., Dailey, F., Robbins, K., Rosen, B., Fuller, G., Danovitch, I., IsHak, W., ... Spiegel, B. Virtual Reality for Management of Pain in Hospitalized Patients: Results of a Controlled Trial. *JMIR Ment Health* 2017 Mar 29;4(1):e9
11. Diemer J, Mühlberger A, Pauli P, Zwanzger P. Virtual reality exposure in anxiety disorders: impact on psychophysiological reactivity. *World J Biol Psychiatry* 2014 Aug;15(6):427–442.
12. Lindner P, Miloff A, Hamilton W, Reuterskiöld L, Andersson G, Powers MB & Carlbring P. Creating state of the art, next-generation Virtual Reality exposure therapies for anxiety disorders using consumer hardware platforms: design considerations and future directions. *Cogn Behav Ther* 2017 Sep;46(5):404–420.
13. Parsons TD, Rizzo AA. Affective outcomes of virtual reality exposure therapy for anxiety and specific phobias: a meta-analysis. *J Behav Ther Exp Psychiatry* 2008 Sep;39(3):250–261.
14. Hirsch JA. Virtual reality exposure therapy and hypnosis for flying phobia in a treatment-resistant patient: a case report. *Am J Clin Hypn* 2012 Oct;55(2):168–173.
15. Garcia-Palacios A, Hoffman H, Carlin A, Furness TA, Botella C. Virtual reality in the treatment of spider phobia: a controlled study. *Behav Res Ther* 2002 Sep;40(9):983–993.
16. Herrero R, Garcia-Palacios A, Castilla D, Molinari G, Botella C. Virtual reality for the induction of positive emotions in the treatment of fibromyalgia: a pilot study over acceptability, satisfaction, and the effect of virtual reality on mood. *Cyberpsychol Behav Soc Netw* 2014 Jun;17(6):379–384.
17. Merians A, Jack D, Boian R, Tremaine M, Burdea GC, Adamovich SV, Recce M, Poizner H. Virtual reality-augmented rehabilitation for patients following stroke. *Phys Ther* 2002 Sep;82(9):898–915.
18. Chirico A, Lucidi F, De LM, Milanese C, Napoli A, Giordano A. Virtual Reality in Health System: Beyond Entertainment. A Mini-Review on the Efficacy of VR During Cancer Treatment. *J Cell Physiol* 2016 Feb;231(2):275–287.
19. Broeren J. *Stud Health Technol Inform*. Göteborg University. Sahlgrenska Academy; 2007. Virtual Rehabilitation-Implications for Persons with Stroke
20. Glegg SMN, Holsti L, Velikonja D, Ansley B, Brum C, Sartor D. Factors influencing therapists' adoption of virtual reality for brain injury rehabilitation. *Cyberpsychol Behav Soc Netw* 2013 May;16(5):385–401.
21. Casale R. Virtual reality in the rehabilitation of phantom limb pain: What are we doing and how do we measure it in research and in daily practice? 2013 Presented at: 12th Congress of European Forum for Research in Rehabilitation; 2013; Montescano, Italy
22. Levin MF, Weiss PL, Keshner EA. Emergence of virtual reality as a tool for upper limb rehabilitation: incorporation of motor control and motor learning principles. *Phys Ther* 2015 Mar;95(3):415–425
23. Triberti S, Repetto C, Riva G. Psychological factors influencing the effectiveness of virtual reality-based analgesia: a systematic review. *Cyberpsychol Behav Soc Netw* 2014 Jun;17(6):335–345.
24. Dascal, J., Reid, M., IsHak, W. W., Spiegel, B., Recacho, J., Rosen, B., & Danovitch, I. Virtual Reality and Medical Inpatients: A Systematic Review of Randomized, Controlled Trials. *Innov Clin Neurosci* 2017;14(1–2):14–21
25. Glegg SMN, Holsti L, Velikonja D, Ansley B, Brum C, Sartor D. Factors influencing therapists' adoption of virtual reality for brain injury rehabilitation. *Cyberpsychol Behav Soc Netw* 2013 May;16(5):385–401.
26. Turolla, A., Dam, M., Ventura, L., Tonin, P., Agostini, M., Zucconi, C., Kiper, P., Cagnin, A., ... Piron, L. Virtual reality for the rehabilitation of the upper limb motor function after stroke: a prospective controlled trial. *J Neuroeng Rehabil* 2013 Aug 01;10:85
27. Adamovich SV, Fluet GG, Tunik E, Merians AS. Sensorimotor training in virtual reality: a review. *NeuroRehabilitation* 2009;25(1):29–44
28. Mahajan HP, Dicianno BE, Cooper RA, Ding D. Assessment of wheelchair driving performance in a virtual reality-based simulator. *J Spinal Cord Med* 2013 Jul;36(4):322–332
29. Harrison A, Derwent G, Enticknap A, Rose FD, Attree EA. The role of virtual reality technology in the assessment and training of inexperienced powered wheelchair users. *Disabil Rehabil* 2002;24(11–12):599–606.
30. Keshner, E. A., & Kenyon, R. V. (2004). Using immersive technology for postural research and rehabilitation. *Assistive Technology*, 16(1), 54–62.
31. Khurana, Meetika et al. «Study on the Effectiveness of Virtual Reality Game-Based Training on Balance and Functional Performance in Individuals with Paraplegia.» *Topics in spinal cord injury rehabilitation* 23 3 (2017): 263–270
32. Rosenfield M. Computer vision syndrome (a.k.a. digital eye strain). *Optometry in Practice* 2016;17(1):1–10.
33. Leroy L, Fuchs P, Moreau G. Real-time adaptive blur for reducing eye strain in stereoscopic displays. *ACM Trans Appl Percept* 2012 Jun 01;9(2):1–18.

REFERENCES

1. Kubryak O.V., Panova E.N., The definition of the term of "virtual reality" in the context of medical rehabilitation, *Fizioterapiya, bal'neologiya i reabilitaciya*, 16 (2017), no. 2, 70–72 (russian).
2. Chernikova L. A., Ioffe M. E., Kurganskaya M. E., Mokienko O. A., Kacuba, N. A., Ustinova K. I., Prokopenko R. A., Frolov A. A. The use of the virtual reality technology for the restoration of movements of the paretic hand after stroke, 3 (2011), 3–7 (russian).
3. Wright JL, Hoffman HG, Sweet RM. Virtual reality as an adjunctive pain control during transurethral microwave thermotherapy. *Urology* 2005 Dec;66(6):1320.
4. Hoffman HG, Patterson DR, Seibel E, Soltani M, Jewett-Leahy L, Sharar SR. Virtual reality pain control during burn wound debridement in the hydro-tank. *Clin J Pain* 2008 May;24(4):299–304.
5. Thomas DA. Virtual reality research continues to progress at the National Institutes of Health. *Cyberpsychol Behav Soc Netw* 2014 Jun;17(6):334
6. Maani, C. V., Hoffman, H. G., Morrow, M., Maiers, A., Gaylord, K., McGhee, L. L., & DeSocio, P. A. Virtual reality pain control during burn wound debridement of combat-related burn injuries using robot-like arm mounted VR goggles. *J Trauma* 2011 Jul;71(1 Suppl):S125–S130
7. Garrett B, Taverner T, Masinde W, Gromala D, Shaw C, Negraeff M. A rapid evidence assessment of immersive virtual reality as an adjunct therapy in acute pain management in clinical practice. *Clin J Pain* 2014 Dec;30(12):1089–1098.
8. Dahlquist, L. M., Weiss, K. E., Law, E. F., Sil, S., Herbert, L. J., Horn, S. B., Wohlheiter, K., ... Ackerman, C. S. Effects of videogame distraction and a virtual reality type head-mounted display helmet on cold pressor pain in young elementary school-aged children. *J Pediatr Psychol*. 2009;35(6):617–25.
9. Garrett B, Taverner T, McDade P. Virtual Reality as an Adjunct Home Therapy in Chronic Pain Management: An Exploratory Study. *JMIR Med Inform* 2017 May 11;5(2):e11
10. Tashjian, V. C., Mosadeghi, S., Howard, A. R., Lopez, M., Dupuy, T., Reid, M., Martinez, B., Ahmed, S., Dailey, F., Robbins, K., Rosen, B., Fuller, G., Danovitch, I., IsHak, W., ... Spiegel, B. Virtual Reality for Management of Pain in Hospitalized Patients: Results of a Controlled Trial. *JMIR Ment Health* 2017 Mar 29;4(1):e9
11. Diemer J, Mühlberger A, Pauli P, Zwanzger P. Virtual reality exposure in anxiety disorders: impact on psychophysiological reactivity. *World J Biol Psychiatry* 2014 Aug;15(6):427–442.
12. Lindner P, Miloff A, Hamilton W, Reuterskiöld L, Andersson G, Powers MB & Carlbring P. Creating state of the art, next-generation Virtual Reality exposure therapies for anxiety disorders using consumer hardware platforms: design considerations and future directions. *Cogn Behav Ther* 2017 Sep;46(5):404–420.
13. Parsons TD, Rizzo AA. Affective outcomes of virtual reality exposure therapy for anxiety and specific phobias: a meta-analysis. *J Behav Ther Exp Psychiatry* 2008 Sep;39(3):250–261.
14. Hirsch JA. Virtual reality exposure therapy and hypnosis for flying phobia in a treatment-resistant patient: a case report. *Am J Clin Hypn* 2012 Oct;55(2):168–173.

15. Garcia-Palacios A, Hoffman H, Carlin A, Furness TA, Botella C. Virtual reality in the treatment of spider phobia: a controlled study. *Behav Res Ther* 2002 Sep;40(9):983–993.
16. Herrero R, García-Palacios A, Castilla D, Molinari G, Botella C. Virtual reality for the induction of positive emotions in the treatment of fibromyalgia: a pilot study over acceptability, satisfaction, and the effect of virtual reality on mood. *Cyberpsychol Behav Soc Netw* 2014 Jun;17(6):379–384.
17. Merians A, Jack D, Boian R, Tremaine M, Burdea GC, Adamovich SV, Recce M, Poizner H. Virtual reality-augmented rehabilitation for patients following stroke. *Phys Ther* 2002 Sep;82(9):898–915.
18. Chirico A, Lucidi F, De LM, Milanese C, Napoli A, Giordano A. Virtual Reality in Health System: Beyond Entertainment. A Mini-Review on the Efficacy of VR During Cancer Treatment. *J Cell Physiol* 2016 Feb;231(2):275–287.
19. Broeren J. *Stud Health Technol Inform.: Göteborg University. Sahlgrenska Academy; 2007. Virtual Rehabilitation-Implications for Persons with Stroke*
20. Glegg SMN, Holsti L, Velikonja D, Ansley B, Brum C, Sartor D. Factors influencing therapists' adoption of virtual reality for brain injury rehabilitation. *Cyberpsychol Behav Soc Netw* 2013 May;16(5):385–401.
21. Casale R. Virtual reality in the rehabilitation of phantom limb pain: What are we doing and how do we measure it in research and in daily practice? 2013 Presented at: 12th Congress of European Forum for Research in Rehabilitation; 2013; Montescano, Italy
22. Levin MF, Weiss PL, Keshner EA. Emergence of virtual reality as a tool for upper limb rehabilitation: incorporation of motor control and motor learning principles. *Phys Ther* 2015 Mar;95(3):415–425
23. Triberti S, Repetto C, Riva G. Psychological factors influencing the effectiveness of virtual reality-based analgesia: a systematic review. *Cyberpsychol Behav Soc Netw* 2014 Jun;17(6):335–345.
24. Dascal, J., Reid, M., IsHak, W. W., Spiegel, B., Recacho, J., Rosen, B., & Danovitch, I. Virtual Reality and Medical Inpatients: A Systematic Review of Randomized, Controlled Trials. *Innov Clin Neurosci* 2017;14(1–2):14–21
25. Glegg SMN, Holsti L, Velikonja D, Ansley B, Brum C, Sartor D. Factors influencing therapists' adoption of virtual reality for brain injury rehabilitation. *Cyberpsychol Behav Soc Netw* 2013 May;16(5):385–401.
26. Turolla, A., Dam, M., Ventura, L., Tonin, P., Agostini, M., Zucconi, C., Kiper, P., Cagnin, A., ... Piron, L. Virtual reality for the rehabilitation of the upper limb motor function after stroke: a prospective controlled trial. *J Neuroeng Rehabil* 2013 Aug 01;10:85
27. Adamovich SV, Fluet GG, Tunik E, Merians AS. Sensorimotor training in virtual reality: a review. *NeuroRehabilitation* 2009;25(1):29–44
28. Mahajan HP, Dicianno BE, Cooper RA, Ding D. Assessment of wheelchair driving performance in a virtual reality-based simulator. *J Spinal Cord Med* 2013 Jul;36(4):322–332
29. Harrison A, Derwent G, Enticknap A, Rose FD, Attree EA. The role of virtual reality technology in the assessment and training of inexperienced powered wheelchair users. *Disabil Rehabil* 2002;24(11–12):599–606.
30. Keshner, E. A., & Kenyon, R. V. (2004). Using immersive technology for postural research and rehabilitation. *Assistive Technology*, 16(1), 54–62.
31. Khurana, Meetika et al. "Study on the Effectiveness of Virtual Reality Game-Based Training on Balance and Functional Performance in Individuals with Paraplegia." *Topics in spinal cord injury rehabilitation* 23 3 (2017): 263–270 .
32. Rosenfield M. Computer vision syndrome (a.k.a. digital eye strain). *Optometry in Practice* 2016;17(1):1–10.
33. Leroy L, Fuchs P, Moreau G. Real-time adaptive blur for reducing eye strain in stereoscopic displays. *ACM Trans Appl Percept* 2012 Jun 01;9(2):1–18.

РЕЗЮМЕ

Несмотря на то, что исследования в области виртуальной реальности выглядят многообещающими, на первый план выходит ряд теоретических и практических проблем этой области. Улучшение отслеживания движений и графической составляющей виртуальных пространств, разработка методик нейрореабилитации в виртуальной реальности при конкретных нозологических формах заболеваний, продолжение изучения действия виртуальной реальности на головной мозг и зрительный анализатор, получение сертификатов безопасности и регистрация VR-систем в качестве устройства медицинского назначения – только малая часть предстоящей организационно-методической работы и научно-практических исследований.

Ключевые слова: виртуальная реальность, телемедицина, цифровые технологии, нейрореабилитация, медицинская реабилитация.

ABSTRACT

Regardless of the fact that research into virtual reality seems promising, numbers of theoretical and practical problems comes to the fore. Improvement of tracking of a graphical element of virtual space, development of neurorehabilitation techniques in virtual reality in particular nosological forms of diseases, continues research of virtual reality effects on the brain and the visual system, safety certificate obtainment and VR-system registration for medical purposes. This all is just a small part of the upcoming organizational and methodical work and practical scientific research.

Keywords: virtual reality, telemedicine, digital technology, medical rehabilitation.

Контакты:

Кольшенков Василий Андреевич. E-mail: vasily4kol@gmail.com

Еремушкин Михаил Анатольевич. E-mail: medmassage@mail.ru