

ОБЗОРЫ

© КРИКЛЕНКО Е.А., КУБРЯК О.В., 2018
УДК 615.8-7*Крикленко Е.А., Кубряк О.В.***К выбору 2D- или 3D-дисплеев в двигательной реабилитации: обзор**

ФГБНУ «НИИ нормальной физиологии им. П.К. Анохина», 125315, Москва, Россия

Различные свойства дисплеев, особенности зрительного восприятия трехмерных образов и другие условия, вероятно, влияют на эффективность двигательной реабилитации при использовании визуального канала обратной связи и технологий виртуальной реальности. В кратком обзоре представлены свежие публикации к выбору 2D- или 3D-дисплеев. Сделан вывод, что наличие многих особенностей не только создаёт сложности при сопоставлении эффектов применения различного оборудования, но и предоставляет потенциальную возможность нацеленного подбора дисплея для конкретной реабилитационной задачи.

Ключевые слова: *нейрореабилитация; дисплей; 2D; 3D; бинокулярное зрение; стереопсис; векция; поле зрения; виртуальная реальность; двигательная реабилитация.*

Для цитирования: Крикленко Е.А., Кубряк О.В. К выбору 2D- или 3D-дисплеев в двигательной реабилитации: обзор. Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. 2018; 17(3): 116-119.
DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/1681-3456-2018-17-3-116-119>

Для корреспонденции: Крикленко Елена Александровна, лаб. физиологии функциональных состояний человека ФГБНУ «НИИ нормальной физиологии им. П.К. Анохина», Москва. E-mail: e.kriklenko@nphys.ru.

*Kriklenko E.A., Kubryak O.V.***TO CHOOSE THE USE OF 2D OR 3D IMAGES IN REHABILITATION: REVIEW**

P.K. Anokhin Research Institute of Normal Physiology, 125315, Moscow, Russia

Different properties of displays, features of visual perception of three-dimensional images and other conditions, probably affect the effectiveness of motor rehabilitation when using a visual feedback channel and virtual reality technology. A brief review presents the latest publications on a choice of 2D or 3D displays. It is concluded that the presence of many features not only creates difficulties in comparing the effects of using various equipment, but also provides the potential for targeted display selection for a particular rehabilitation task.

Key words: *neurorhabilitation; display; 2D; 3D; binocular vision; stereopsis; vection; line of sight; virtual reality; motor rehabilitation.*

For citation: Kriklenko E.A., Kubryak O.V. To choose the use of 2D or 3D images in rehabilitation: review. *Fizioterapiya, Bal'neologiya i Reabilitatsiya (Russian Journal of the Physical Therapy, Balneotherapy and Rehabilitation)*. 2018; 17(3): 116-119. (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/1681-3456-2018-17-3-116-119>

For correspondence: Kriklenko Elena Aleksandrovna, Laboratory of physiology of human functional states, P.K. Anokhin Institute of Normal Physiology, Moscow. E-mail: e.kriklenko@nphys.ru.

Information about authors:Kriklenko E.A., <https://orcid.org/0000-0002-9856-5426>Kubryak O.V., <https://orcid.org/0000-0001-7296-5280>**Acknowledgement.** The study had no sponsorship.**Conflict of interests.** The authors declare no conflict of interest.Received 4 August 2018
Accepted 15 September 2018**Введение**

Использование виртуальной реальности (ВР) в двигательной реабилитации имеет определенные преимущества перед традиционными упражнениями — за счёт увеличения числа целенаправленных движений в процессе тренинга, ощущения «присутствия» и связанного с этим чувства «контроля», взаимодействий в виртуальной среде и обусловленного всем этим обще-

го повышения эффективности моторного обучения [1]. Само понятие «виртуальной реальности» [2] и связанный с этим выбор двумерного (2D) или трехмерного (3D) дисплеев разных типов в упражнениях с биоправлением имеют различное толкование. Например, использование режима 2D считают более подходящим и удобным при реабилитации верхних конечностей пациентов после инсульта, с точки зрения точности в

реализации оптимальных кинематических траекторий [3]. Отдельной важной проблемой является различное восприятие 3D-изображений лицами с различными особенностями или нарушениями зрения [4]. При этом физиологические аспекты восприятия различными способами сформированных изображений для визуального канала обратной связи часто остаются вне внимания при оценке пользы и эффективности процедур с биоуправлением. Мы полагаем, что выбор интерфейса, типа передачи изображения в процедурах с биологической обратной связью для конкретных задач должен базироваться на ясных основаниях. Поэтому целью краткого обзора была попытка выделения наиболее заметных на сегодня по данным литературы условий и факторов. Их рассмотрение основывалось на условной оценке установленного или возможного влияния разных интерфейсов на состояние человека, «физиологической цены» — исходя из достигнутого нами понимания той или иной публикации.

Методика

Выбор источников в US National Library of Medicine of the National Institutes of Health включал предварительный поиск с помощью ключевых слов «2-D/3-D», «visual function», «binocular vision», «three-dimensional image» и иных; отбор материалов, соответствующих глубине поиска в 5 лет и связанных с реабилитацией. Первоначально было отобрано 324 публикации. Дальнейшая фильтрация источников и их типа основывалась на соответствии заданной структуре обзора, которая, в свою очередь, базировалась на известных нам («имплицитных») сведениях.

Разные 3D дисплеи

Важным является расположение устройства для передачи стереоизображения относительно человека: носимое на голове (в английском варианте: «head-mounted display» — HMD), т.е. специальный шлем, или же отдельно расположенный экран, просматриваемый с помощью специальных очков (например, «three-dimensional television» — 3DTV). Изучение связанных с погружением в игровую среду движений здоровых добровольцев продемонстрировало различия: для HMD были характерны большие по сравнению с 3DTV углы отклонений в коленном, тазобедренном, локтевом и плечевом суставах, а также спины. Это также было связано с существенными различиями в смещении позиции центра масс всего тела вперед и вниз [5].

При сравнении реалистичности восприятия с помощью устройств разных типов у здоровых добровольцев оценивались:

- 3DTV и HMD;
- два HMD разного качества («хуже» и «лучше» по разрешению);
- два устройства HMD при сопоставлении (приведении к единому) полей зрения относительно друг друга.

В итоге восприятие добровольцев оценивалось как «толерантное» к изменениям в типе отображения при

условии, что поля зрения были примерно равны. При условии равенства по этому параметру, вероятно, для выбора типа устройства могут быть востребованы иные параметры [6]. Учитывая имеющиеся сведения, что поле зрения влияет на стабильность вертикальной позы у пациентов (например, [7]), этот параметр, полагаем, может быть одним из ключевых при подборе типа устройства в реабилитации. При лучшем (более глубоком) «погружении» в искусственную среду с помощью HMD существуют сведения о развитии эффектов головокружения у здоровых добровольцев, что можно отнести к недостаткам этого типа устройств в сравнении с отдельно стоящими стереоэкранами [8]. Не исключено, что головокружение может быть связано с различной скоростью развития иллюзии самодвижения (векции) — в разных устройствах параметр достигает, например, до 10 с и дольше. Хотя предлагаются подходы, уменьшающие это время до примерно 2 с в случае HMD и около 5 с для внешних дисплеев [9], остаётся малоисследованным, как вариации этого параметра могут отразиться на самочувствии пациентов и эффективности реабилитации. Также установлено, что наибольшая скорость наступления иллюзорного движения возникает с увеличением поля зрения [10]. Появляются 3D-дисплеи нового типа, например, обеспечивающие трехмерные голографические изображения для каждого глаза [11], в отличие от обычных HMD, где изображения, представляемые каждому глазу, являются двумерными. Таким образом, при выборе 3D-устройства следует учитывать, по меньшей мере, тип дисплея, его удобство и свойства, связанные с глубиной и скоростью «погружения» в виртуальную среду, т.е. различия, которые влияют на удобство и восприятие изображения и могут повлиять на достижение поставленных задач при двигательной реабилитации.

Комфорт и дискомфорт для глаз

Здоровые добровольцы, просматривающие 2D- и 3D-фильмы на одном телевизоре с расстояния 3 м в двух разных очках (более и менее качественных), испытывали меньшую усталость при просмотре обычного двумерного фильма — такой вывод был сделан на основании анализа рефракции глаз добровольцев до и после просмотра [12]. Таким образом, длительный просмотр 3D-фильмов имел потенциально более высокий риск повреждения зрения, хотя в данном случае риск можно немного уменьшить применением более качественных очков. Это соответствует данным, полученным на основе субъективных впечатлений зрителей в кинотеатре, которые отмечали после просмотра 3D-фильмов ощущение усталости, жжение глаз, головную боль и др. [13]. Полагают, что визуальный дискомфорт возникает у относительно небольшой части зрителей, и он также может быть связан с эффектом «ноцебо» от самих очков, особенно у женщин [14]. При этом нарушений баланса тела и координации после просмотра 3DTV у добровольцев не отмечалось [15], даже после двухмесячного использования [16]. Таким образом, по нашему мнению, нуждаются

в прояснении вопросы, связывающие роль зрения в управлении позой с функцией зрения, и почему влияние на зрение не всегда (как следует из [15]) влияет на качество управления позой?

Можно полагать, что зрительная нагрузка, связанная с применением 3D-дисплеев, может препятствовать их выбору, например для постинсультной реабилитации. Возможно, что данные отдельных источников (например, [3]) обусловлены именно этим обстоятельством. Также известны данные о худшем восприятии 3D-изображений людьми со сниженным стереопсисом, хотя дискомфорт чаще связан с нормальным зрением [17]. Полагаем, что при выборе дисплея для организации зрительного канала обратной связи следует учитывать нагрузку, связанную с возможным развитием усталости глаз, общим дискомфортом. Необходимо обеспечивать соответствие применения типа дисплея состоянию пациента во избежание неоправданной нагрузки, которая и так может быть значительна (в случае целевой процедуры) для ослабленных больных.

Аргументы за виртуальную реальность

Обсуждение перспектив применения ВР в реабилитации в большей степени сводится к указаниям на большой потенциал направления, например, в восстановлении после черепно-мозговой травмы [18]. Шансы на восстановление появляются даже у тяжелых пациентов. Развитие игровой индустрии способствует бурному развитию технологии, удешевлению инструментов. Вместе с тем сведений, которые бы убедительно представили преимущества применения ВР перед другими подходами после черепно-мозговой травмы, как полагают, пока не достаточно [19]. В свежем кохрановском обзоре [20], обобщающем результаты 72 исследований реабилитации после инсульта с участием 2470 пациентов, не обнаружено доказательств большей эффективности ВР и интерактивных видеоигр по сравнению с традиционными методами лечения при восстановлении функции верхних конечностей. Доказательства же преимуществ в улучшении баланса тела, как полагают авторы, пока недостаточны. При этом наблюдалась тенденция к лучшим результатам при увеличении «дозы» (более 15 ч курса). Полагаем, что это можно интерпретировать и как потенциально лучшую вовлеченность пациентов в реабилитационный процесс при использовании ВР, а также как нерешенный вопрос «дозы» двигательной реабилитации [21]. В специальном обзоре, посвященном визуализации ВР при восстановлении функций нижних конечностей, который был основан на результатах 43 публикаций, показано, что отдельные движения людей во время обучения при использовании ВР могут отображаться по-разному, и что здесь необходимы фундаментальные исследования [22]. Мета-анализ данных 21 исследования указывает на лучшие эффекты от тренинга с ВР для восстановления ходьбы у пациентов после инсульта, чем без ВР [23]. В другом обзоре авторы указывают на умеренные доказательства лучшего эффекта при дополнении стандартной программы восстановления баланса тренингами с ВР

у пациентов на поздних этапах реабилитации [24]. На пользу включения в реабилитационные упражнения ВР для улучшения баланса тела после инсульта указывают и другие сообщения [25], хотя и отмечается различие способов и интенсивности тренингов, препятствующих точным сравнениям и трактовкам. На сложность сравнений эффективности восстановительных занятий с использованием ВР и без неё по похожим причинам указывают и другие авторы [26]. Особенно подчеркивается необходимость дальнейших исследований для применения ВР в стационаре [27]. Описываются новые возможности технологии — например, в сердечно-сосудистой клинике [28]. Таким образом, потенциал применения ВР для двигательной реабилитации нуждается в новых исследованиях и подтверждениях, а возможность более надежной интерпретации результатов — в развитии теоретической базы.

Заключение

Различные свойства дисплеев, применяемых для организации визуального канала обратной связи в реабилитационных тренингах, очевидно, могут влиять на параметры оказываемого воздействия. Это создаёт не только сложности при сопоставлении эффектов применения различного оборудования, но и, полагаем, предоставляет потенциальную возможность нацеленного подбора дисплея для конкретной реабилитационной задачи. Меньшая или большая эффективность тренинга здесь, среди прочего, может быть связана с наличием у пациентов нарушений стереозрения, изменяющих восприятие трехмерных образов. Следует отметить также гипотезу, что визуальное восприятие и визуальные ментальные образы эквивалентны, и дефекты зрения, даже если они корректируются, влияют на яркость визуальных ментальных образов [29], т.е. глубина «погружения» в ВР и восприятие отображаемых движений могут быть различными при разной зрительной функции. При этом могут быть задействованы разные области мозга [30], что, полагаем, прямо касается адресности реабилитационных воздействий.

ЛИТЕРАТУРА (остальные источники см. REFERENCES)

2. Кубряк О.В., Панова Е.Н. Определение понятий виртуальной реальности в медицинской реабилитации. *Физиотерапия, бальнеология и реабилитация*. 2017; 16(2): 70–2. DOI: 10.18821/1681-3456-2017-16-2-70-72.
21. Гроховский С.С., Кубряк О.В. К вопросу о «дозе» двигательной реабилитации после инсульта: обзор. *Физиотерапия, бальнеология и реабилитация*. 2018. 17(2): 66–71. DOI: 10.18821/1681-3456-2018-17-2-66-71.

REFERENCES

1. Corbetta D., Imeri F., Gatti R. Rehabilitation that incorporates virtual reality is more effective than standard rehabilitation for improving walking speed, balance and mobility after stroke: a systematic review. *J Physiother*. 2015; 61(3): 117–24. DOI: 10.1016/j.jphys.2015.05.017.
2. Kubryak O.V., Panova E.N. The definition of the term of «virtual reality» in the context of medical rehabilitation. *Fizioterapiya, Bal'neologiya i Reabilitatsiya (Russian Journal of the Physical Therapy, Balneotherapy and Rehabilitation)*. 2017; 16(2): 70–2. DOI: 10.18821/1681-3456-2017-16-2-70-72.

3. Lledó L.D., Diez J.A., Bertomeu-Motos A. et al. A comparative analysis of 2D and 3D tasks for virtual reality therapies based on robotic-assisted neurorehabilitation for post-stroke patients. *Front. Aging Neurosci.* 2016; 8: 205. DOI: 10.3389/fnagi.2016.00205.
4. Kim S.H., Suh Y.W., Yun C. et al. Influence of stereopsis and abnormal binocular vision on ocular and systemic discomfort while watching 3D television. *Eye (Lond).* 2013; 27(11): 1243–8. DOI: 10.1038/eye.2013.173.
5. Thomas J.S., France C.R., Applegate M.E. et al. Effects of visual display on joint excursions used to play virtual dodgeball. *JMIR Serious Games.* 2016; 4(2): e16. DOI: 10.2196/games.6476.
6. Riecke B.E., Jordan J.D. Comparing the effectiveness of different displays in enhancing illusions of self-movement (vection). *Front. Psychol.* 2015; 6: 713. DOI: 10.3389/fpsyg.2015.00713.
7. Barr C.J., McLoughlin J.V., van den Berg M.E. et al. Visual field dependence is associated with reduced postural sway, dizziness and falls in older people attending a falls clinic. *J. Nutr. Health Aging.* 2016; 20(6): 671–6. DOI: 10.1007/s12603-015-0681-y
8. Roettl J., Terlutter R. The same video game in 2D, 3D or virtual reality – How does technology impact game evaluation and brand placements? *PLoS One.* 2018; 13(7): e0200724. DOI: 10.1371/journal.pone.0200724.
9. Palmisano S., Riecke B.E. The search for instantaneous vection: An oscillating visual prime reduces vection onset latency. *PLoS One.* 2018; 13(5): e0195886. DOI: 10.1371/journal.pone.0195886.
10. Keshavarz B., Speck M., Haycock B., Berti S. Effect of different display types on vection and its interaction with motion direction and field dependence. *i-Perception.* 2017; 8(3): 2041669517707768. DOI: 10.1177/2041669517707768.
11. Yeom H.J., Kim H.J., Kim S.B. et al. 3D holographic head mounted display using holographic optical elements with astigmatism aberration compensation. *Opt. Express.* 2015; 23(25): 32025–34. DOI: 10.1364/OE.23.032025.
12. Yang F., Gu H., Li M. et al. The impact on human visual performance when viewing 2-D and 3-D movies. *Technol. Health Care.* 2018; 26(S1): 79–86. DOI: 10.3233/THC-174206.
13. Zeri F., Livi S. Visual discomfort while watching stereoscopic three-dimensional movies at the cinema. *Ophthalmic Physiol. Opt.* 2015; 35(3): 271–82. DOI: 10.1111/opo.12194.
14. Read J.C., Bohr I. User experience while viewing stereoscopic 3D television. *Ergonomics.* 2014; 57(8): 1140–53. DOI: 10.1080/00140139.2014.914581.
15. Read J.C., Simonotto J., Bohr I. et al. Balance and coordination after viewing stereoscopic 3D television. *R. Soc. Open Sci.* 2015; 2(7): 140522. DOI: 10.1098/rsos.140522.
16. Read J.C., Godfrey A., Bohr I. et al. Viewing 3D TV over two months produces no discernible effects on balance, coordination or eyesight. *Ergonomics.* 2016; 59(8): 1073–88. DOI: 10.1080/00140139.2015.1114682.
17. Kim S.H., Suh Y.W., Yun C. et al. Influence of stereopsis and abnormal binocular vision on ocular and systemic discomfort while watching 3D television. *Eye (Lond).* 2013; 27(11): 1243–8. DOI: 10.1038/eye.2013.173.
18. Zanier E.R., Zoerle T., Di Lernia D., Riva G. Virtual reality for traumatic brain injury. *Front. Neurol.* 2018; 9: 345. DOI: 10.3389/fneur.2018.00345.
19. Aida J., Chau B., Dunn J. Immersive virtual reality in traumatic brain injury rehabilitation: A literature review. *NeuroRehabilitation.* 2018; 42(4): 441–8. DOI: 10.3233/NRE-172361.
20. Laver K.E., Lange B., George S. et al. Virtual reality for stroke rehabilitation. *Cochrane Database Syst. Rev.* 2017; 11: CD008349. DOI: 10.1002/14651858.CD008349.pub4.
21. Grokhovsky S.S., Kubryak O.V. Towards the question of «dose» motor rehabilitation after stroke: review. *Fizioterapiya, Bal'neologiya i Reabilitatsiya (Russian Journal of the Physical Therapy, Balneotherapy and Rehabilitation).* 2018. 17(2): 66–71. DOI: 10.18821/1681-3456-2018-17-2-66-71.
22. Ferreira Dos Santos L., Christ O., Mate K. et al. Movement visualization in virtual reality rehabilitation of the lower limb: a systematic review. *Biomed Eng. Online.* 2016; 15(Suppl 3): 144. DOI: 10.1186/s12938-016-0289-4.
23. de Rooij I.J., van de Port I.G., Meijer J.G. Effect of virtual reality training on balance and gait ability in patients with stroke: systematic review and meta-analysis. *Phys. Ther.* 2016; 96(12): 1905–18. DOI: 10.2522/ptj.20160054.
24. Chen L., Lo W.L., Mao Y.R. et al. Effect of virtual reality on postural and balance control in patients with stroke: a systematic literature review. *Biomed. Res. Int.* 2016; 2016: 7309272. DOI: 10.1155/2016/7309272.
25. Iruthayarajah J., McIntyre A., Cotoi A. et al. The use of virtual reality for balance among individuals with chronic stroke: a systematic review and meta-analysis. *Top Stroke Rehabil.* 2017; 24(1): 68–79. DOI: 10.1080/10749357.2016.1192361.
26. Booth V., Masud T., Connell L., Bath-Hextall F. The effectiveness of virtual reality interventions in improving balance in adults with impaired balance compared with standard or no treatment: a systematic review and meta-analysis. *Clin. Rehabil.* 2014; 28(5): 419–31. DOI: 10.1177/0269215513509389.
27. Dascal J., Reid M., IsHak W.W. et al. Virtual reality and medical inpatients: a systematic review of randomized, controlled trials. *Innov. Clin. Neurosci.* 2017; 14(1–2): 14–21. PMID: 28386517.
28. Silva J.N.A., Southworth M., Raptis C., Silva J. Emerging applications of virtual reality in cardiovascular medicine. *JACC Basic Transl. Sci.* 2018; 3(3): 420–430. DOI: 10.1016/j.jacbs.2017.11.009.
29. Palermo L., Nori R., Piccardi L. et al. Refractive errors affect the vividness of visual mental images. *PLoS One.* 2013; 8(6): e65161. DOI: 10.1371/journal.pone.0065161.
30. Boccia M., Piccardi L., Palermo L. et al. A penny for your thoughts! patterns of fMRI activity reveal the content and the spatial topography of visual mental images. *Hum. Brain Mapp.* 2015; 36(3): 945–58. DOI: 10.1002/hbm.22678.

Поступила 04.08.2018

Принята в печать 15.09.2018