

ОБЗОР

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2022

ВИРТУАЛЬНАЯ РЕАЛЬНОСТЬ КАК МЕТОД ПЕРСОНФИКАЦИИ ДЛЯ ТРЕНИРОВКИ ПАМЯТИ И ВНИМАНИЯ (НЕСИСТЕМАТИЧЕСКИЙ ОБЗОР)*Протасова Л.М., Запекин С.Г., Шнайдер Г.В., Наумов З.А., Каменских Е.М., Титова М.А.*

ФГБОУ ВО Сибирский государственный медицинский университет Минздрава России, Томск, Россия

Резюме

Одним из последних достижений в области медицины является внедрение в клиническую практику технологий компьютеризированных тренировок и виртуальной реальности (VR), которые создают новые возможности немедикаментозной профилактики, а также лечения для людей, страдающих когнитивными нарушениями.

Цель исследования. Изучение использования классических (конвенциональных), компьютеризированных и VR-тренировок с использованием нейроинтерфейсов, ориентированных на профилактику и реабилитацию функциональных изменений высшей нервной деятельности.

Методы. В марте 2022 г. был проведен поиск научных полнотекстовых публикаций с использованием электронных баз данных РИНЦ, PubMed и Google Scholar. Для запроса использовались следующие ключевые слова и их комбинации: «dementia», «aging» и «virtual reality». Статьи, представляющие интерес для этого обзора, должны были пройти рецензирование, быть опубликованы не позднее 2015 г. и быть написаны на английском или русском языках.

Результаты. Рассмотрены основные методы и эффекты немедикаментозных вмешательств у людей с когнитивными нарушениями, преимущества и недостатки применяющихся методик. Также показаны основные преимущества технологии VR как простого, безопасного и эффективного метода, в коррекции функциональных изменений высшей нервной деятельности.

Заключение. VR обладает большим потенциалом для проведения персонализированных когнитивных тренировок.

Ключевые слова: виртуальная реальность, нейроинтерфейсы, тренировка памяти, деменция, когнитивный дефицит

Для цитирования: Протасова Л.М., Запекин С.Г., Шнайдер Г.В., Наумов З.А., Каменских Е.М., Титова М.А. Виртуальная реальность как метод персонализации для тренировки памяти и внимания (несистематический обзор). *Российский неврологический журнал*. 2022;27(6):5–12. DOI 10.30629/2658-7947-2022-27-6-5-12

Для корреспонденции: Шнайдер Герман Викторович, e-mail: german.shnyder.working@gmail.com

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование выполнено при финансовой поддержке ФГБОУ ВО СибГМУ в рамках конкурса научно-технологических проектов молодых ученых.

Информация об авторах

Протасова Л.М., <https://orcid.org/0000-0002-6593-6585>; e-mail: zharmuhambetova.l@gmail.com

Запекин С.Г., <https://orcid.org/0000-0001-5827-4897>; e-mail: zapekinsavva@gmail.com

Шнайдер Г.В., <https://orcid.org/0000-0001-9631-3148>; e-mail: german.shnyder.working@gmail.com

Наумов З.А., <https://orcid.org/0000-0003-0266-5383>; e-mail: naumov.sherlocked@gmail.com

Каменских Е.М., <https://orcid.org/0000-0003-0814-8344>; e-mail: kamenskih.em@ssmu.ru

Титова М.А., <https://orcid.org/0000-0003-1708-8291>; e-mail: titovam82@list.ru

VIRTUAL REALITY AS A PERSONIFICATION METHOD FOR TRAINING MEMORY AND ATTENTION (NON-SYSTEMATIC REVIEW)*Protasova L.M., Zapekin S.G., Shneider G.V., Naumov Z.A., Kamenskih E.M., Titova M.A.*

Siberian State Medical University, Tomsk, Russia

Abstract

One of the latest achievements in the field of medicine is the introduction into practice of technologies using computerized training and training in Virtual Reality (VR), which create new opportunities for prevention, as well as treatment for people suffering from various cognitive impairments.

Purpose of the study. The aim is to investigate classical (conventional), computerized and VR training using neural interfaces focused on the prevention and rehabilitation of functional changes in higher nervous activity.

Methods. In March 2022, a search was made for scientific full-text publications using the electronic databases of the RSCI, PubMed and Google Scholar. The following keywords and their combinations were used for the query: “dementia”, “aging” and “virtual reality”. Articles of interest for this review had to be peer-reviewed, published no later than 2015, and written in English or Russian.

Results. The key methods of non-drug interventions in people suffering from various cognitive impairments, the advantages and disadvantages of the techniques used were considered. It also shows the main advantages of VR technology as a simple, safe and effective tool. VR has great potential for personalized cognitive trainings.

Key words: virtual reality, neurointerfaces, memory training, dementia, cognitive deficit

For citation: Protasova L.M., Zapekin S.G., Shnaider G.V., Naumov Z.A., Kamenskih E.M., Titova M.A. Virtual reality as a personification method for training memory and attention (non-systematic review). *Russian Neurological Journal (Rossijskij Nevrologicheskij Zhurnal)*. 2022;27(6):5–12. (In Russian). DOI 10.30629/2658-7947-2022-27-6-5-12

For correspondence: Shnaider German V., e-mail: german.shnayder.working@gmail.com

Conflict of interest. The authors declare there is no conflict of interest.

Acknowledgements. The study was financially supported by the Siberian State Medical University within the framework of the competition of scientific and technological projects for young scientists.

Information about authors

Protasova L.M., <https://orcid.org/0000-0002-6593-6585>; e-mail: zharmuhambetova.l@gmail.com

Zapekin S.G., <https://orcid.org/0000-0001-5827-4897>; e-mail: zapekinsavva@gmail.com

Shnaider G.V., <https://orcid.org/0000-0001-9631-3148>; e-mail: german.shnayder.working@gmail.com

Naumov Z.A., <https://orcid.org/0000-0003-0266-5383>; e-mail: naumov.sherlocked@gmail.com

Kamenskih E.M., <https://orcid.org/0000-0003-0814-8344>; e-mail: kamenskih.em@ssmu.ru

Titova M.A., <https://orcid.org/0000-0003-1708-8291>; e-mail: titovam82@list.ru

Received 27.01.2022

Accepted 08.06.2022

Сокращения: ВНД — высшая нервная деятельность; ВР — виртуальная реальность; КР — когнитивный резерв; ОНМК — острое нарушение мозгового кровообращения; РКИ — рандомизированное клиническое исследование; BDNF — brain-derived neurotrophic factor; MMSE — Mini-Mental State Examination (краткая шкала оценки психического состояния); HADS — Hospital Anxiety and Depression Scale (госпитальная шкала тревоги и депрессии).

Введение. Увеличение ожидаемой продолжительности жизни и снижение функциональных психосоциальных способностей пожилых людей является серьезной медико-социальной проблемой [1]. С целью профилактики функциональных изменений высшей нервной деятельности (ВНД) увеличивается количество исследований в области когнитивных тренировок [2–5], а также ускоряется разработка инструментов, способствующих поддержанию когнитивных функций [6, 7]. В 2002 г. Яаковом Штерном (Yaakov Stern) было сформулировано понятие «когнитивного резерва» (КР) как способности головного мозга оптимизировать или максимально увеличивать свою производительность за счет дифференцированного набора нейрональных связей, что в итоге приводит к использованию альтернативных когнитивных стратегий [8]. Известно, что существует положительная корреляция между интеллектом и КР — подобная корреляция подтверждена для рабочей памяти, внимания и обработки информации [9]. Согласно этой концепции, развитие КР является модифицируемым фактором и позволяет людям с более высоким его уровнем лучше справляться с возможной патологией ВНД [10].

Для замедления снижения функций ВНД, были разработаны методы когнитивных тренировок, которые улучшают общие когнитивные способности у здоровых пожилых людей и пациентов с легкими и умеренными когнитивными нарушениями, а также с деменцией [11, 12]. В обзоре P. Babaei и H.B. Azari

приводятся убедительные доказательства положительного влияния анаэробных силовых тренировок на пожилых людей с нарушениями памяти и внимания. Авторы делают акцент на механизмах воздействия физической активности на когнитивные функции, которые включают улучшение кровообращения, синаптической пластичности и нейрогенеза, находящихся под контролем передачи сигналов нейромедиаторов, нейротрофических факторов, эскеркинов (совокупностей сигнальных молекул, вырабатывающихся в ходе физической нагрузки) и факторов эпигенетики. Так, например, было показано, что данный вид тренировок увеличивает уровень BDNF в сыворотке крови после интенсивных аэробных/анаэробных упражнений, который играет важную роль в развитии КР, стимулируя долговременную потенциацию, фосфорилирование белков, регенерацию синапсов [13, 14]. Однако по результатам исследований улучшения часто бывают статистически незначимыми, а при воспроизведении исследований другими научными коллективами — не удается добиться полученных ранее результатов, что требует продолжения работы в данном направлении [15].

Тренировки памяти и внимания с использованием компьютеров имеют ряд преимуществ, включая безопасность, доступность и возможность быстрой настройки программы как элемента персонализации под конкретного пациента. Многие исследования показали, что компьютеризированная когнитивная тренировка связана с высоким уровнем удовлетворенности и, как следствие, приверженности пациентов лечению [3, 4]. Это определяет дальнейший высокий уровень внедрения, так как этап реабилитации требует значительного уровня личной мотивации пациентов [16].

Современные технологии также позволяют детально воссоздавать для пациентов необходимые симуляционные условия. N.T. Hill и соавт. считают, что именно сам уровень реализма виртуальных

стимулов, по-видимому, играет решающую роль в тренировке когнитивных способностей [3]. Именно этим выгодно отличается технология виртуальной реальности (VR), которая в цифровом виде создает трехмерную среду, позволяя людям взаимодействовать в ней с виртуальными объектами, вносить сенсорные данные и отслеживать изменения в реальном времени. VR обеспечивает ощущение присутствия в виртуальном мире с помощью иммерсивного устройства отображения (например, дисплея очков) и интерактивного устройства контроля (например, джойстика, перчаток). Как показывают исследования R. Bevilacqua и соавт. в данной области, применение VR оказывает положительное влияние на реабилитацию пациентов с наиболее распространенными симптомами, связанными с когнитивными изменениями [17]. С целью улучшения качества жизни VR уже успешно используется у лиц, перенесших инсульт [18], людей с повышенным риском снижения когнитивных функций [19], у лиц с деменцией [20], а также для когнитивной реабилитации пациентов, перенесших COVID-19 [21].

Ожидается, что в дальнейшем VR станет более доступной и эффективной альтернативой традиционным методам тренировки когнитивных функций. **Цель обзора** — обсуждение потенциальных возможностей и ограничений VR для тренировки памяти и внимания, а также преимуществ и будущих перспектив применения в условиях амбулаторной и стационарной медицинской помощи.

В марте 2022 г. был проведен поиск научных полнотекстовых публикаций с использованием электронных баз данных РИНЦ, PubMed и Google Scholar. Для запроса использовались следующие ключевые слова и их комбинации: «dementia», «aging» и «virtual reality». Статьи, представляющие интерес для этого обзора, должны были пройти рецензирование, быть опубликованы не позднее 2015 г. и быть написаны на английском или русском языках.

Классические тренировки памяти и внимания. Доказано, что физическая активность связана со снижением риска развития деменции (независимо от ее типа), в том числе болезни Альцгеймера, а также клинически значимого снижения когнитивных функций. Это было показано в нескольких популяционных исследованиях, систематических обзорах и метаанализах [11–14]. Тем не менее при доказанном нейропротекторном влиянии аэробных упражнений эффект систематических и целенаправленных тренировок на когнитивные способности пожилых людей по-прежнему неоднозначен [22, 23]. Так, например, комбинированная немедикаментозная физическая и когнитивная тренировка для социально активных людей с легкими нарушениями памяти и внимания незначительно влияет на их способность выполнять когнитивные задачи и ощущение собственного прогресса [24]. Также в рамках последних (2018 г.) метаанализов рандомизированных клинических исследований (РКИ) ($n = 2878$) было выявлено, что физические тренировки сами по себе изолированно от остальных видов вмешательств достоверно

не снижали риск развития клинически значимых когнитивных нарушений [25]. С другой стороны, имеются данные исследований, обобщенных в американской рекомендации по физической активности, в которых сообщается, что регулярная физическая активность может достоверно снижать риск развития когнитивных нарушений [26].

Успешно себя показало использование нейрокогнитивных тренировок. Ю.В. Злобина и соавт. в рамках пилотного исследования пациентов с острым нарушением мозгового кровообращения (ОНМК) подтвердили положительное влияние подобного вида тренировок на зрительно-конструктивные навыки, течение психических процессов, беглость речи и объем слухоречевой памяти у пациентов с различными степенями выраженности нарушений [27]. Клинически значимое улучшение памяти может быть связано с интеграцией когнитивной и эмоциональной составляющих, в рамках чего активация миндалевидного тела усиливает обработку эмоционально индуцированных стимулов, модулирует усилительную консолидацию памяти вместе с другими областями мозга, особенно с гиппокампом, а также зрительной, лобной и теменной корой [28].

Исследователями из Университета Калифорнии в 2018 г. были получены результаты, показывающие, что аэробные тренировки совместно с когнитивными оказывали положительное влияние на память и внимание пациентов, в то время как в группе с более продолжительным перерывом в 20 мин между аэробной сессией и тренировкой памяти такие же тренировки не имели положительного эффекта, либо он был статистически не значим [29].

Полученные данные свидетельствуют о том, что люди с умеренными когнитивными нарушениями, получающие одновременно различные виды немедикаментозных вмешательств (включая физическую активность и изменение образа жизни), достигают результата в виде улучшения показателей когнитивных функций. Однако подобный результат, согласно последним систематическим обзорам и метаанализам, достигается преимущественно благодаря чрезвычайно высокой комплаентности пациента [2, 13, 25].

Компьютеризированные когнитивные тренировки. Тренировки памяти и внимания с использованием компьютеров привлекли внимание как безопасные, относительно недорогие способы для разработки вмешательств, направленных на поддержание когнитивных функций пожилых людей [3]. Данный вид воздействия базируется на управляемых тренировках с высокой степенью геймификации, что выделяет компьютеризированные тренировки среди других подходов к когнитивной коррекции. Компьютеризированные тренировки отличаются от конвенциональных физических занятий высокой степенью персонификации. При этом, данные когнитивные тренировки чаще всего использовались для коррекции нарушений памяти, а в последующем стали применяться для развития внимания, визуального восприятия, навыков решения задач. В исследовании, проведенном S. Belleville и соавт., ученые

сравнивали три группы пациентов, одна из которых получала различные задачи на развитие памяти и внимания с использованием компьютера. Подобные игры включали в себя простые тесты на запоминание с последующим увеличением времени между демонстрацией материала, задачи на запоминание связки имен–лиц, запоминание методом ментальной карты, а также различные вербальные задачи. Было доказано, что эффект от подобных занятий сохраняется в течение 6 мес. и более [30]. Кроме того, подобные курсовые воздействия отличаются более выраженной приверженностью к терапии. Согласно полученным данным, показатель приверженности являлся модифицируемым и контролируемым — при разработке интервенционного вмешательства была возможность изменения базового показателя комплаентности. Например, тип устройства отображения играл важную роль в личном ощущении вовлеченности и присутствия субъекта [31].

Компьютеризированные тренировки в сочетании с классическими физическими упражнениями также постепенно внедряются в реальную клиническую практику в части реабилитации [32, 33] и диагностики [34]. В систематическом обзоре Y. Zhao и соавт. 7 из 10 работ демонстрировали положительное статистически значимое влияние компьютерных тренировок в сочетании с классическими на когнитивные функции у людей с умеренными когнитивными нарушениями и деменцией [35]. Исследования, проведенные N. Skjæret и соавт., подтвердили безопасность, простоту в использовании и эффективность сочетанных конвенциональных и компьютеризированных занятий для улучшения физических функций, таких как постуральный баланс, а также навыки контроля движений [36].

Когнитивные тренировки с использованием компьютерных технологий улучшают показатели эпизодической памяти, повышают внимание и в целом положительно влияют на ВНД у людей с умеренными когнитивными нарушениями. Проведенный H. Zhang и соавт. метаанализ РКИ ($n = 18$) выявил статистически значимое влияние таких тренировок на когнитивные функции у здоровых пожилых людей, а также у пациентов с болезнью Паркинсона. Компьютеризированные тренировки оказывали влияние на выраженность симптомов, улучшали качество жизни после проведения занятий [4].

Согласно систематическому обзору статей, связанных с компьютеризированными тренировками, данный вид вмешательств не имеет доказательной эффективности коррекции когнитивных функций у пациентов после черепно-мозговой травмы, хотя отмечается, что динамика восстановления когнитивных функций чаще всего не отслеживалась в течение длительного времени [37].

Тренировки с использованием виртуальной реальности. Область когнитивных тренировок отвечает и таким глобальным вызовам, как пандемия COVID-19 или необходимость персонификации медицины за счет внедрения иммерсивных виртуальных сред. Реабилитационные программы

с применением виртуальной реальности (VR) предполагают использование трехмерных геймифицированных платформ, в которых разработаны интерактивные виртуальные сценарии [38].

Достоинства технологии. VR-система отличается от других видов тренировок очень высокой степенью реализма и интерактивности, что обеспечивает пациенту ощущение личного присутствия в виртуальной среде. Благодаря наличию встроенного гироскопа, а также периферических средств захвата движений, устройства VR могут отслеживать движения пациента и собирать данные удаленно, что позволяет разработчикам анализировать и адаптировать стратегии обучения под потребности пациентов [39]. Технологии VR предлагают высокий уровень иммерсивности, что положительно влияет на эффективность когнитивной тренировки. В исследовании В.С. Сорокиной и соавт. обнаружено увеличение показателей, оценивающих когнитивные функции по шкалам Mini-Mental State Examination (MMSE) и Hospital Anxiety and Depression Scale (HADS), после тренинга с применением технологии VR [59]. Количество пациентов без когнитивных нарушений (MMSE 29–30 баллов) и в группе легких когнитивных нарушений (MMSE 28 баллов) увеличилось вдвое. При оценке по шкале HADS также было выявлено положительное влияние VR на эмоциональное состояние — количество испытуемых с клинически выраженной депрессией снизилось более чем в 2 раза.

Другое исследование, проведенное И.Г. Смоленцевой и соавт., оценивающее возможности VR в реабилитации, также показало значительный прирост у пациентов с ишемическим инсультом в остром периоде по шкале MMSE, в среднем более чем на 5 баллов [60]. В то же время в компьютеризированных тренировках без использования VR, проведенных отечественными исследователями, увеличение показателей по шкале MMSE не превышало двух баллов, а по HADS не более одного, что отражало неэффективность дисфункции [61, 62]. Эти данные указывают на воздействие оцениваемых вмешательств на когнитивную потенциально большую эффективность VR в сравнении с компьютеризированными решениями без использования VR.

РКИ, проведенные N. Thapa и соавт. ($n = 68$), а также В. Topil и соавт., показали, что программа тренировок на основе геймифицированной VR достоверно улучшала когнитивные и физические функции пациентов с умеренными когнитивными нарушениями по сравнению с контрольной группой [40, 41]. В пилотном исследовании, проведенном коллективом авторов под руководством Sara Arlati, несмотря на небольшую выборку ($n = 4$), исследователи сделали схожий вывод об эффективности программы тренировок на основе VR, обнаружив сниженные уровни тревожности и депрессии у испытуемых после вмешательства [42]. Также в другом исследовании виртуальная реальность как среда для когнитивных тренировок была положительно воспринята пациентами с деменцией, что, по мнению авторов,

открывает возможности для будущего клинического внедрения ВР в качестве персонализированного терапевтического инструмента [43].

Выделяют потенциальную роль ВР в психотерапии различных фобий, посттравматических стрессовых расстройств, хронических болей, неврозов и даже наркотической зависимости [44], которые также являются причиной когнитивного дефицита. Отмечается, что степень погруженности в виртуальную среду усиливает терапевтический эффект тренировок, зафиксированный при функциональной магнитно-резонансной томографии, который отличается снижением активности островка, таламуса, соматосенсорной коры и поясной коры, что говорит об отсутствии необходимости включения данных структур в реализацию процесса и полной компенсации функций остальными структурами. В той же работе упомянуты положительные результаты влияния видеоигр в ВР на формирование комплексных повседневных двигательных навыков у пациентов, перенесших инсульт [45].

Помимо возможной пользы в лечении когнитивных нарушений, ВР может выступать и в качестве полезного клинического инструмента в диагностике. Игра, разработанная в рамках исследования E. Dulau и соавт., «A Day to Remember» заключается в тренировке памяти методом звуковой и визуальной стимуляции. В программе сгенерирована имитация повседневной домашней деятельности, но с элементами геймификации с целью сделать ее более интересной для пациентов. В процессе игры происходила фиксация различных параметров поведения пользователя, которые затем использовались для оценки когнитивных навыков игрока. Когнитивные функции пациентов оценивались тестом MMSE. Было показано, что использование ВР в диагностике имело одинаковую с конвенциональными тестами чувствительность и специфичность [46]. У пожилых людей с болезнью Альцгеймера ВР также становится способом диагностики за счет генерации полноценных сред, в которых возможно измерить эпизодическую память. Так, например, испытуемым в ВР предлагалось выбрать правильный маршрут автобуса или запомнить пин-код карты для оплаты, что позволяло оценить их способности к самообслуживанию и степень прогрессирования когнитивных нарушений. Положительные результаты были замечены при интеграции с существующими моделями диагностики нейродегенерации и методами скрининга [47].

В описанных ранее исследованиях рассматривалось в основном применение ВР у пациентов старшей возрастной группы, однако такие тренировки используются успешно и в педиатрической популяции. Специально созданная программа занятий в ВР для детей с аутизмом способствовала развитию навыков социального общения, а также, благодаря геймификации, отличалась высокой степенью привлекательности для детей. Исследователи планируют расширить технологию за счет добавления различных игровых сценариев для улучшения понимания речи у пациентов [48].

В образовательной сфере был также проведен эксперимент сравнения классического представления информации в виде презентации и с помощью ВР. Результаты показали, что вовлеченность студентов можно значительно повысить с помощью новых ВР-технологий, при этом ВР является эффективным средством передачи научной информации, сопоставимым с традиционными уроками с использованием слайд-шоу [49].

ВР как когнитивная реабилитация во времена COVID-19. Пандемия COVID-19 оказала существенное влияние на систему здравоохранения и потребовала более быстрого внедрения в повседневную практику телемедицинских технологий для обеспечения когнитивной нейрореабилитации на амбулаторном этапе [50]. Телемедицина помогает заменить и дополнить конвенциональное лечение у пациентов, вынужденных находиться на изоляции при прохождении нейрореабилитации. Для таких пользователей исследователи J. Muñoz и соавт. создали специальное программное обеспечение в коллаборации с врачами для адаптированных и самостоятельных геймифицированных тренировок [51]. Имея технические и правовые ограничения в рамках текущей законодательной базы во многих странах, виртуальная и дополненная реальности тем не менее являются многообещающими инструментами для дистанционных программ когнитивной реабилитации [52].

Возможные ограничения технологии. Несмотря на то что ВР уже применяется в междисциплинарном подходе к лечению и профилактике болезни Альцгеймера и других причин деменции, доказательства их эффективности остаются неоднозначными. Так, C. Zucchella и соавт. указали на статистически значимое влияние ВР на улучшение двигательных и когнитивных функций у пожилых людей и у пациентов с деменцией, но их клиническая значимость неясна. Согласно C. Zucchella и соавт., для изучения эффективности ВР при болезни Альцгеймера и деменции необходимы хорошо спланированные РКИ в достаточном количестве. Необходимы дальнейшие исследования и для того, чтобы методологически обосновать эффективность ВР [53]. Исследование технологии ВР с демонстрацией видеоконтента с целью снижения тревожности не обнаружило какой-либо эффективности у лиц, страдающих от тяжелой стадии аффективных и поведенческих нарушений [54]. В некоторых экспериментах для тренировки памяти по сравнению с обычными двумерными изображениями ВР показала аналогичное улучшение когнитивных функций [55]. Метаанализ 2019 г. показал, что данные многих РКИ ограничены и не подтверждают клинически значимого влияния ВР на когнитивные функции [25]. Схожие выводы делают и другие авторы: согласно M. Sauma и соавт., не удается прийти к однозначному ответу об эффективности иммерсивной ВР при лечении деменции и умеренных когнитивных нарушений в связи с недостаточным количеством данных, а также разности методик в проводимых исследованиях [56].

Побочные эффекты VR-технологии напрямую связаны с ее иммерсивностью. Просмотр яркого, динамичного видео на обычном мониторе для большинства людей удобен, но просмотр той же сцены в гарнитуре VR вследствие сенсорного «погружения», испытываемого пользователем, часто может привести к такому феномену, как киберболезнь (англ. cybersickness) — совокупность симптомов дискомфорта и недомогания, вызванных воздействием VR [57]. Феномен киберболезни после использования VR во многом состоит из вестибулярных нарушений (головокружение, тошнота, рвота), которые возникают из-за сенсорного конфликта между вестибулярными и зрительными сигналами при выполнении активных движений в VR. Данная проблема остается актуальной, хотя большая часть нежелательных явлений легко купируется и их частота постепенно снижается за счет совершенствования VR-шлемов с лучшим пользовательским интерфейсом [58].

Заключение. VR выглядит многообещающим инструментом — простым, безопасными эффективными. Данный метод может быть успешно использован не только в контексте названных нозологий, но, как показывают исследования, имеет потенциал и во многих других. Так, например, VR уже используется в методах психотерапевтических программ различных фобий, посттравматических стрессовых расстройств, хронических болей, неврозов, наркотической зависимости, в области нейрореабилитации после спинальных и иных травм. Виртуальная среда открывает большие перспективы для помощи в терапии когнитивных нарушений у людей с деменцией, а также позволяет проводить занятия на дому, повышая комплаентность. Однако даже при том, что на данный момент количество проведенных РКИ, обзоров и метаанализов постоянно растет, сделать однозначные выводы в силу их недостаточного количества по-прежнему сложно. Поэтому необходимо проведение большего количества надежных клинических исследований с использованием данной технологии.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке ФГБОУ ВО СибГМУ в рамках конкурса научно-технологических проектов молодых ученых.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Lindenberger U., Baltes P.B. Intellectual functioning in old and very old age: Cross-sectional results from the Berlin Aging Study. *Psychology and Aging*. 1997;12(3):410–432. <https://doi.org/10.1037//0882-7974.12.3.410>
2. Kelly M.E., Loughrey D., Lawlor B.A., Robertson I.H., Walsh C., Brennan S. The impact of cognitive training and mental stimulation on cognitive and everyday functioning of healthy older adults: a systematic review and meta-analysis. *Ageing Res Rev*. 2014;15:28–43. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2014.02.004>
3. Hill N.T., Mowszowski L., Naismith S.L., Chadwick V.L., Valenzuela M., Lampit A. Computerized Cognitive Training in Older Adults with Mild Cognitive Impairment or Dementia: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Am J Psychiatry*. 2017;174(4):329–340. <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.2016.16030360>

4. Zhang H., Huntley J., Bhome R., Holmes B., Cahill J., Gould R.L. et al.; Effect of computerised cognitive training on cognitive outcomes in mild cognitive impairment: a systematic review and meta-analysis. *BMJ*. 2019;9(8):e027062. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2018-027062>
5. Gavelin H.M., Dong C., Minkov R., Bahar-Fuchs A., Ellis K.A., Lautenschlager N.T. et al.; Combined physical and cognitive training for older adults with and without cognitive impairment: A systematic review and network meta-analysis of randomized controlled trials. *Ageing Res Rev*. 2021;66:101232. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2020.101232>
6. Pikhart M., Klimova B. Maintaining and Supporting Seniors' Wellbeing through Foreign Language Learning: Psycholinguistics of Second Language Acquisition in Older Age. *Int J Environ Res Public Health*. 2020;17(21):E8038. <https://doi.org/10.3390/ijerph17218038>
7. Ballesteros S., Kraft E., Santana S., Tziraki C. Maintaining older brain functionality: A targeted review. *Neurosci Biobehav Rev*. 2015;55:453–77. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2015.06.008>
8. Stern Y. What is cognitive reserve? Theory and research application of the reserve concept. *J Int Neuropsychol Soc*. 2002;8(3):448–460. <https://doi.org/10.1017/s1355617702813248>
9. Quattropani M.C., Sardella A., Morgante F., Ricciardi L., Alibrandi A., Lenzo V. et al.; Impact of Cognitive Reserve and Premorbid IQ on Cognitive and Functional Status in Older Outpatients. *Brain Sci*. 2021;11(7):824. <https://doi.org/10.3390/brainsci11070824>
10. Nelson M.E., Jester D.J., Petkus A.J., Anel R. Cognitive Reserve, Alzheimer's Neuropathology, and Risk of Dementia: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Neuropsychol Rev*. 2021;31(2):233–250. <https://doi.org/10.1007/s11065-021-09478-4>
11. Martin-Lopez M.E., Molina-Linde J.M., Isabel-Gomez R., Castro-Campos J.L., Blasco-Amaro J.A. Cognitive Training for People with Mild to Moderate Dementia: A Systematic Review and Meta-Analysis of Cognitive Effects. *Advances in Neurology and Neurosciences*. 2021;2:1–19. <https://doi.org/10.51956/ANNR.100015>
12. Irazoki E., Contreras-Somoza L.M., Toribio-Guzmán J.M., Jenario-Río C., van der Roest H., Franco-Martín M.A. Technologies for Cognitive Training and Cognitive Rehabilitation for People With Mild Cognitive Impairment and Dementia. A Systematic Review. *Front Psychol*. 2020;11:648. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00648>
13. Li Z., Peng X., Xiang W., Han J., Li K. The effect of resistance training on cognitive function in the older adults: a systematic review of randomized clinical trials. *Ageing Clin Exp Res*. 2018;30(11):1259–1273. <https://doi.org/10.1007/s40520-018-0998-6>
14. Babaei P., Azari H.B. Exercise Training Improves Memory Performance in Older Adults: A Narrative Review of Evidence and Possible Mechanisms. *Frontiers in Human Neuroscience*. 2022;15. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2021.771553>
15. Norton S., Matthews F.E., Barnes D.E., Yaffe K., Brayne C. Potential for primary prevention of Alzheimer's disease: an analysis of population-based data. *Lancet Neurol*. 2014;13(8):788–94. [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(14\)70136-X](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(14)70136-X)
16. Gates N.J., Vernooij R.W., Di Nisio M., Karim S., March E., Martínez G. et al.; Computerised cognitive training for preventing dementia in people with mild cognitive impairment. *Cochrane Database Syst Rev*. 2019;3(3):CD012279. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD012279.pub2>
17. Bevilacqua R., Maranesi E., Riccardi G.R., Donna V.D., Pelliccioni P., Luzi R. et al.; Non-Immersive Virtual Reality for Rehabilitation of the Older People: A Systematic Review into Efficacy and Effectiveness. *J Clin Med*. 2019;8(11):1882. <https://doi.org/10.3390/jcm8111882>

18. Cho D.R., Lee S.H. Effects of virtual reality immersive training with computerized cognitive training on cognitive function and activities of daily living performance in patients with acute stage stroke: A preliminary randomized controlled trial. *Medicine (Baltimore)*. 2019;98(11):e14752. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000014752> Retraction in: *Medicine (Baltimore)*. 2020; 99(20):e20598.
19. Zając-Lamparska L., Wiłkość-Dębczyńska M., Wojciechowski A., Podhorecka M., Polak-Szabela A., Warchoń Ł. et al.; Effects of virtual reality-based cognitive training in older adults living without and with mild dementia: a pretest-posttest design pilot study. *BMC Res Notes*. 2019;12(1):776. <https://doi.org/10.1186/s13104-019-4810-2>
20. Astell A.J., Bouranis N., Hoey J., Lindauer A., Mihailidis A., Nugent C. et al.; Technology and Dementia: The Future is Now. *Dement Geriatr Cogn Disord*. 2019;47(3):131–139. <https://doi.org/10.1159/000497800>
21. Smits M., Staal J.B., van Goor H. Could Virtual Reality play a role in the rehabilitation after COVID-19 infection? *BMJ, Open Sport & Exercise Medicine*. 2020;6:e000943. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2020-000943>
22. Young J., Angevaren M., Rusted J., Tabet N. Aerobic exercise to improve cognitive function in older people without known cognitive impairment. *Cochrane Database Syst Rev*. 2015;(4):CD005381. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD005381.pub4>
23. Train the Brain Consortium. Randomized trial on the effects of a combined physical/cognitive training in aged MCI subjects: the Train the Brain study. *Sci Rep*. 2017;7:39471. <https://doi.org/10.1038/srep39471>
24. Bahar-Fuchs A., Martyr A., Goh A.M., Sabates J., Clare L. Cognitive training for people with mild to moderate dementia. *Cochrane Database Syst Rev*. 2019;3(3):CD013069. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD013069.pub2>
25. de Souto Barreto P., Demougeot L., Vellas B., Rolland Y. Exercise Training for Preventing Dementia, Mild Cognitive Impairment, and Clinically Meaningful Cognitive Decline: A Systematic Review and Meta-analysis. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2018;73(11):1504–1511. <https://doi.org/10.1093/geronl/glx234>
26. Erickson K.I., Hillman C., Stillman C.M., Ballard R.M., Bloodgood B., Conroy D.E. et al. Physical Activity, Cognition, and Brain Outcomes: A Review of the 2018 Physical Activity Guidelines. *Med Sci Sports Exerc*. 2019;51(6):1242–1251. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001936>
27. Злобина Ю.В., Епанешникова Н.В., Зиновьева Н.П. Эффективность когнитивных тренировок у пациентов с острым нарушением мозгового кровообращения в остром периоде: пилотное исследование. *Вестник ЮУрГУ. Серия «Психология»*. 2018;11(3):64–73. [Zlobina Yu.V., Epaneshnikova N.V., Zinovieva N.P. Efficiency of Cognitive Trainings in Patients with Acute Brain Circulation in the Acute Period: Pilot Study. *Bulletin of the South Ural State University, Ser. Psychology*. 2018;11(3):64–73. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.14529/psy180308>
28. Tyng C.M., Amin H.U., Saad M.N.M., Malik A.S. The Influences of Emotion on Learning and Memory. *Front Psychol*. 2017;8:1454. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01454>
29. McEwen S.C., Siddarth P., Rahi B., Kim Y., Mui W., Wu P. et al.; Simultaneous Aerobic Exercise and Memory Training Program in Older Adults with Subjective Memory Impairments. *J Alzheimers Dis*. 2018;62(2):795–806. <https://doi.org/10.3233/JAD-170846>
30. Belleville S., Hudon C., Bier N., Brodeur C., Gilbert B., Grenier S. et al.; MEMO + : Efficacy, Durability and Effect of Cognitive Training and Psychosocial Intervention in Individuals with Mild Cognitive Impairment. *J Am Geriatr Soc*. 2018;66(4):655–663. <https://doi.org/10.1111/jgs.15192>
31. Buttussi F., Chittaro L. Effects of Different Types of Virtual Reality Display on Presence and Learning in a Safety Training Scenario. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*. 2018;24(2):1063–1076. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2017.2653117>
32. Bulea T.C., Lerner Z.F., Gravunder A.J., Damiano D.L. Exergaming with a pediatric exoskeleton: Facilitating rehabilitation and research in children with cerebral palsy. *IEEE Int Conf Rehabil Robot*. 2017;2017:1087–1093. <https://doi.org/10.1109/ICORR.2017.8009394>
33. Swanenburg J., Wild K., Straumann D., de Bruin E.D. Exergaming in a Moving Virtual World to Train Vestibular Functions and Gait: a Proof-of-Concept-Study with Older Adults. *Front Physiol*. 2018;9:988. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00988>
34. Li J., Xu X., Pham T.P., Theng Y.L., Katajapuu N., Luimula M. Exergames Designed for Older Adults: A Pilot Evaluation on Psychosocial Well-Being. *Games Health J*. 2017;6(6):371–378. <https://doi.org/10.1089/g4h.2017.0072>
35. Zhao Y., Feng H., Wu X., Du Y., Yang X., Hu M. et al.; Effectiveness of Exergaming in Improving Cognitive and Physical Function in People With Mild Cognitive Impairment or Dementia: Systematic Review. *JMIR Serious Games*. 2020;8(2):e16841. <https://doi.org/10.2196/16841>
36. Skjæret N., Nawaz A., Morat T., Schoene D., Helbostad J.L., Vereijken B. Exercise and rehabilitation delivered through exergames in older adults: An integrative review of technologies, safety and efficacy. *Int J Med Inform*. 2016;85(1):1–16. <https://doi.org/10.1016/j.ijmedinf.2015.10.008>
37. Fetta J., Starkweather A., Gill J.M. Computer-Based Cognitive Rehabilitation Interventions for Traumatic Brain Injury: A Critical Review of the Literature. *J Neurosci Nurs*. 2017;49(4):235–240. <https://doi.org/10.1097/JNN.0000000000000298>
38. Петриков С.С., Гречко А.В., Щелкунова И.Г., Завалий Я.П., Хатькова С.Е., Завалий Л.Б. Новые перспективы двигательной реабилитации пациентов после очагового поражения головного мозга. *Вопросы нейрохирургии имени Н.Н. Бурденко*. 2019;83(6):90–99. [Petrikov S.S., Grechko A.V., Shchelkunova I.G., Zavalii Ya.P., Khat'kova S.E., Zavalii L.B. New perspectives of motor rehabilitation of patients after focal brain lesions. *Burdenko's Journal of Neurosurgery*. 2019;83(6):90–99. (In Russ., In Engl.)]. <https://doi.org/10.17116/neiro20198306190>
39. Caggianese G., Chirico A., De Pietro G., Gallo L., Giordano A., Predazzi M. et al.; Towards a Virtual Reality Cognitive Training System for Mild Cognitive Impairment and Alzheimer's Disease Patients. Conference: 2018 32nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA). 2018:663–667. <https://doi.org/10.1109/WAINA.2018.00164>
40. Thapa N., Park H.J., Yang J.G., Son H., Jang M., Lee J. et al.; The Effect of a Virtual Reality-Based Intervention Program on Cognition in Older Adults with Mild Cognitive Impairment: A Randomized Control Trial. *J Clin Med*. 2020;9(5):1283. <https://doi.org/10.3390/jcm9051283>
41. Torpil B., Şahin S., Pekçetin S., Uyanık M. The Effectiveness of a Virtual Reality-Based Intervention on Cognitive Functions in Older Adults with Mild Cognitive Impairment: A Single-Blind, Randomized Controlled Trial. *Games Health J*. 2021;10(2):109–114. <https://doi.org/10.1089/g4h.2020.0086>
42. Arlati S., Zangiacomi A., Greci L., di Santo S.G., Franchini F., Sacco M. Virtual Environments for Cognitive and Physical Training in Elderly with Mild Cognitive Impairment: A Pilot Study. In: De Paolis L., Bourdot P., Mongelli A. (eds) *Augmented Reality, Virtual Reality, and Computer Graphics. AVR. Lecture Notes in Computer Science*. Springer, Cham, 2017;10325:86–106. https://doi.org/10.1007/978-3-319-60928-7_8
43. Rose V., Stewart I., Jenkins K.G., Tabbaa L., Ang C.S., Matsangidou M. Bringing the outside in: The feasibility of virtual reality with people with dementia in an inpatient psychiatric care setting. *Dementia (London)*. 2021;20(1):106–129. <https://doi.org/10.1177/1471301219868036>
44. Scozzari S., Gamberini L. Virtual Reality as a Tool for Cognitive Behavioral Therapy: A Review. In: Brahmam S., Jain L.C. (eds)

- Advanced Computational Intelligence Paradigms in Healthcare 6. Virtual Reality in Psychotherapy, Rehabilitation, and Assessment. *Studies in Computational Intelligence*. Springer, Berlin, Heidelberg. 2011;337:63–108. https://doi.org/10.1007/978-3-642-17824-5_5
45. Кузина А.И., Касимова Э.Г., Толмачёв Д.А. Роль видеоигр в развитии когнитивных навыков и реабилитации пациентов с повреждениями мозга. *Синергия наук*. 2018;29:960–963. [Kuzina A.I., Kasimova E.G., Tolmachev D.A. The role of video games in the development of cognitive skills and rehabilitation of patients with brain damage. *Synergy of Sciences*. 2018;29:960–963. (In Russ.)]. <http://synergy-journal.ru/archive/article3392> (дата обращения: 08.09.2022)
46. Dulau E., Botha-Rayvise Ch., Luimula M., Markopoulos P., Markopoulos E. A virtual reality game for cognitive impairment screening in elderly: a user perspective. Conference: 10th IEEE International Conference on Cognitive Infocommunications At: Italy, 2019. <https://doi.org/10.1109/CogInfoCom47531.2019.9089973>
47. Clay F., Howett D., FitzGerald J., Fletcher P., Chan D., Price A. Use of Immersive Virtual Reality in the Assessment and Treatment of Alzheimer’s Disease: A Systematic Review. *J Alzheimers Dis*. 2020;75(1):23–43. <https://doi.org/10.3233/JAD-191218>
48. Rosenfield N. S., Lamkin K., Re J., Day K., Boyd L., Linstead E. A Virtual Reality System for Practicing Conversation Skills for Children with Autism. *Multimodal Technologies and Interaction*. 2019;3(2):28. <https://doi.org/10.3390/mti3020028>
49. Parong J., Mayer R. Learning Science in Immersive Virtual Reality. *Journal of Educational Psychology*. 2018;110(6):785–797. <https://doi.org/10.1037/edu0000241>
50. Monaghesh E., Hajizadeh A. The role of telehealth during COVID-19 outbreak: a systematic review based on current evidence. *BMC Public Health*. 2020;20(1):1193. <https://doi.org/10.1186/s12889-020-09301-4>
51. Muñoz J., Mehrabi S., Li Y., Basharat A., Middleton L.E., Cao S. et al.; Immersive Virtual Reality Exergames for Persons Living With Dementia: User-Centered Design Study as a Multistakeholder Team During the COVID-19 Pandemic. *JMIR Serious Games*. 2022;10(1):e29987. <https://doi.org/10.2196/29987>
52. Mantovani E., Zucchella C., Bottiroli S., Federico A., Giugno R., Sandrini G. et al.; Telemedicine and Virtual Reality for Cognitive Rehabilitation: A Roadmap for the COVID-19 Pandemic. *Front Neurol*. 2020;11:926. <https://doi.org/10.3389/fneur.2020.00926>
53. Zucchella C., Sinforiani E., Tamburin S., Federico A., Mantovani E., Bernini S. et al.; The Multidisciplinary Approach to Alzheimer’s Disease and Dementia. A Narrative Review of Non-Pharmacological Treatment. *Front Neurol*. 2018;9:1058. <https://doi.org/10.3389/fneur.2018.01058>
54. Brimelow R.E., Dawe B., Dissanayaka N. Preliminary Research: Virtual Reality in Residential Aged Care to Reduce Apathy and Improve Mood. *Cyberpsychol Behav Soc Netw*. 2020;23(3):165–170. <https://doi.org/10.1089/cyber.2019.0286>
55. Tominari M., Uozumi R., Becker C., Kinoshita A. Reminiscence therapy using virtual reality technology affects cognitive function and subjective well-being in older adults with dementia. *Rev. editor: Castelnuovo G. Cogent Psychology*. 2021;8:1. <https://doi.org/10.1080/23311908.2021.1968991>
56. Sayma M., Tuijt R., Cooper C., Walters K. Are We There Yet? Immersive Virtual Reality to Improve Cognitive Function in Dementia and Mild Cognitive Impairment. *Gerontologist*. 2020;60(7):e502–e512. <https://doi.org/10.1093/geront/gnz132>
57. Weech S., Kenny S., Barnett-Cowan M. Presence and Cybersickness in Virtual Reality Are Negatively Related: A Review. *Front Psychol*. 2019;10:158. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00158>
58. Saredakis D., Szpak A., Birkhead B., Keage H.A.D., Rizzo A., Loetscher T. Factors Associated With Virtual Reality Sickness in Head-Mounted Displays: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Front Hum Neurosci*. 2020;14:96. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00096>
59. Сорокина В.С., Некрасова Ю.Ю., Штерн М.В., Подольская Ю.А., Крючкова А.Ю. Применение технологии виртуальной реальности для психологической реабилитации пациентов после повреждений головного мозга. *Виртуальные технологии в медицине*. 2022;1(1):26–30. [Sorokina V., Nekrasova J., Stern M., Podolskaya J., Kryuchkova A. Application of virtual reality technology for psychological rehabilitation of patients after brain injuries. *Virtual Technologies in Medicine*. 2022;1(1):26–30. (In Russ.)]. https://doi.org/10.46594/2687-0037_2022_1_1413
60. Смоленцева И.Г., Амосова Н.А., Маслюк О.А. Возможности технологий виртуальной реальности в коррекции постинсультных когнитивных нарушений. *Образовательный вестник «Сознание»*. 2014;16(12):59–61. [Smolentseva I.G., Amosova N.A., Maslyuk O.A. Features of virtual reality in the correction of post-stroke cognitive impairment. *Educational Bulletin “Consciousness”*. 2014;16(12):59–61. (In Russ.)]. https://www.elibrary.ru/download/elibrary_22778401_95592782.pdf (дата обращения: 08.09.2022)
61. Прокопенко С.В., Можейко Е.Ю., Корягина Т.Д. Возможности когнитивного тренинга с использованием специализированных компьютерных программ у больных, перенесших инсульт. *Неврологический журнал*. 2014;19(1):20–24. [Prokopenko S.V., Mozheyko E.Yu., Koryagina T.D. The opportunities of cognitive training with use of specialized computer programs in poststroke patients. *Neurological journal*. 2014;19(1):20–24. (In Russ.)]. https://www.elibrary.ru/download/elibrary_21507319_30578439.pdf (дата обращения: 08.09.2022)
62. Прокопенко С.В., Безденежных А.Ф., Можейко Е.Ю., Зубрицкая Е.М. Эффективность компьютерного когнитивного тренинга у пациентов с постинсультными когнитивными нарушениями. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. Спецвыпуски*. 2017;117(8–2):32–36. [Prokopenko S.V., Bezdenezhnykh A.F., Mozheyko E.Yu., Zubrickaya E.M. A comparative clinical study of the efficacy of computer cognitive training in patients with post-stroke cognitive impairments. *Journal of Neurology and Psychiatry named after S.S. Korsakov. Special issues*. 2017;117(8–2):32–36. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17116/jnevro20171178232-36>