

УДК 616.8-08+004.5

<https://doi.org/10.52420/umj.23.6.91><https://elibrary.ru/OIGYIA>

Реабилитация когнитивных функций в виртуальной среде: систематический обзор

Артём Александрович Кузнецов[✉], Тимур Сергеевич Петренко

Уральский государственный медицинский университет, Екатеринбург, Россия

✉ aleksandr.kuznesov@yandex.ru

Аннотация

Введение. По данным ВОЗ, в современном мире наблюдается тенденция к повышению среднего возраста населения. Это, наряду с другими эпидемиологическими факторами, создает предпосылки к увеличению распространенности когнитивных нарушений. Таким образом, проблема ранней диагностики когнитивных расстройств в настоящее время является особенно актуальной.

Цель — анализ современного состояния проблемы применения технологий виртуальной реальности в сфере нейрореабилитации, а также оценка клинической эффективности реабилитации когнитивных способностей в виртуальной среде по сравнению с традиционными методами.

Материалы и методы. В базе данных PubMed с использованием ключевых слов найдено 245 публикаций. После отбора в итоговую выборку включено 25 публикаций по рассматриваемой теме.

Результаты. При анализе публикаций выявлено, что традиционные методы когнитивной реабилитации воздействуют только на социально значимые компоненты интеллекта, упуская другие стороны когнитивных способностей. Несмотря на актуальность темы нейрореабилитации, в настоящее время существует только шесть программ для обучения и реабилитации когнитивных способностей. Однако даже существующие предложения являются компьютерной интерпретацией традиционных методов реабилитации. При этом разные исследования свидетельствуют о различной степени их клинической эффективности, что затрудняет постановку однозначного вывода.

Обсуждение. Применение виртуальной реальности для реабилитации когнитивных способностей является перспективным направлением в современной восстановительной неврологии. Эта технология не только позволяет добиться полного погружения пациента в сам процесс реабилитации, но и открывает возможности проведения реабилитации в удаленном формате. Тот факт, что разные публикации сообщают о различном уровне клинической эффективности подобной методики, вызван малым числом исследований и различиями в исследуемых когортах и методологии исследований.

Заключение. Выявлено, что проблема применения виртуальной реальности в сфере нейрореабилитации в настоящее время актуальна. Однако для оценки клинической эффективности таких методик необходимо большее число масштабных исследований.

Ключевые слова: когнитивные функции, двигательные функции, виртуальная реальность, дополненная реальность, смешанная реальность, технологии, реабилитация

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии явных и потенциальных конфликтов интересов.

Для цитирования: Кузнецов А. А., Петренко Т. С. Реабилитация когнитивных функций в виртуальной среде: систематический обзор // Уральский медицинский журнал. 2024. Т. 23, № 6. С. 91–107. DOI: <https://doi.org/10.52420/umj.23.6.91>. EDN: <https://elibrary.ru/OIGYIA>.

Rehabilitation of Cognitive Functions in a Virtual Environment: A Systematic Review

Artyom A. Kuznetsov[✉], Timur S. Petrenko

Ural State Medical University, Ekaterinburg, Russia

✉ aleksandr.kuznesov@yandex.ru

Abstract

Introduction. According to WHO, nowadays there is a tendency towards an increase in the average age of the population. This creates preconditions for the prevalence of cognitive impairment increase. So, the problem of cognitive disorders early diagnosis is currently relevant.

The aim of the study is to analyze the current state of virtual reality technologies using in the field of neurorehabilitation, and to evaluate the clinical effectiveness of rehabilitation of cognitive abilities in a virtual environment in comparison with traditional methods.

Material and methods. 245 publications were found in the PubMed database using keywords. After selection, 25 publications were included in the final sample.

Results. During the publications analyzing, it was revealed that traditional methods of neurorehabilitation affect only socially significant components. Despite the topic relevance, there are only 6 programs for cognitive abilities rehabilitation. But, existing programs are a computer interpretation of traditional methods. However different studies indicate different clinical effectiveness degrees, which makes it difficult to draw a clear conclusion.

Discussion. The use of virtual reality for the cognitive abilities rehabilitation is a promising direction in modern restorative neurology. Among other things VR opens up opportunities for mount rehabilitation in a remote format. Different clinical efficacy levels in different publications is due to the small number of studies and differences in the research methodology.

Conclusion. It has been revealed that the problem of using virtual reality in the field of neurorehabilitation is currently relevant. However, more studies are needed to assess the clinical effectiveness of such methods.

Keywords: cognitive functions, motor functions, virtual reality, augmented reality, mixed reality, technology, rehabilitation

Conflict of interest. The authors declare the absence of obvious or potential conflicts of interest.

For citation: Kuznetsov AA, Petrenko TS. Rehabilitation of cognitive functions in a virtual environment: A systematic review. *Ural Medical Journal*. 2024;23(6):91–107. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.52420/umj.23.6.91>. EDN: <https://elibrary.ru/OIGYIA>.

© Кузнецов А. А., Петренко Т. С., 2024

© Kuznetsov A. A., Petrenko T. S., 2024

Введение

Актуальность поиска новых методов когнитивной реабилитации возникает в связи с обострением проблем человечества по всему миру: увеличением численности и старением населения, ускорением ритма жизни, повышением требований к когнитивному статусу. Численность пожилого населения во всем мире неуклонно растет. По данным Организации Объединенных Наций, этот рост вскоре усилится, что связано с увеличением продолжительности жизни за счет повышения качества жизни и развития медицины. Предполагалось, что к 2020 г. количество пожилых людей (60–74 лет) увеличится на 56 %, а к 2050 г. — утроится. Такая демографическая ситуация повысит распространенность когнитивных расстройств различных степеней тяжести в популяции. В 2020 г. она составила 5,1–41,0 % (медиана —

19,0 %) или 22,00–76,80 случаев на 1 000 человек в год (медиана — 53,97 на 1 000 человек в год). Когнитивные расстройства чаще встречаются в развитых странах Европы (Великобритании, Испании, Франции и др.), Северной Америки (США, Канаде), Азии (Китае) и Австралии [1–3]. Помимо общепопуляционной характеристики распространенности когнитивных способностей следует обратить внимание на возрастную, согласно которой умеренные расстройства встречаются у 6,7–25,2 % лиц старше 60 лет [4]. Наиболее частыми причинами когнитивного дефицита помимо нейродегенеративных процессов у лиц пожилого и старшего возраста являются цереброваскулярные заболевания, острые нарушения мозгового кровообращения (ОНМК) и постковидный синдром [5]. С учетом высокого уровня инвалидизации вышеперечисленные причины более актуальны для молодого трудоспособного населения. При этом имеется в виду не только психологическое благополучие этой группы [6], но и влияние когнитивных нарушений на экономику геополитического субъекта. Если проследить динамику случаев ОНМК, в частности инсультов различной этиологии, то можно отметить, что с 1990 по 2019 г. число случаев ишемического инсульта увеличилось на 85 %, смертность от него — на 61 %, распространенность — на 95 %, а DALY¹ — на 57 %. Динамика внутримозговых кровоизлияний за тот же период аналогична инсульту: количество случаев увеличилось на 43 %, смертность — на 37 %, распространенность — на 58 %, DALY — на 25 %. Число случаев субарахноидального кровоизлияния увеличилось на 61 %, смертность снизилась на 12 %, распространенность увеличилась на 65 %, а DALY снизились на 14 %. Стоит отметить, что субарахноидальное кровоизлияние — единственное состояние в выборке, имеющее отрицательную динамику. Несмотря на то что абсолютные цифры указывают на положительную динамику инсульта в мировой популяции населения, стандартизированный по возрасту показатель снизился во всех случаях в пределах 10–60 % [7].

Вышеуказанные демографическая и эпидемиологическая ситуации делают крайне актуальным вопрос реабилитации неврологических больных, а именно восстановления когнитивных способностей как основного фактора инвалидизации населения. Несмотря на то что доля городского населения увеличивается, количество людей, проживающих в пригородах или более отдаленных населенных пунктах, все еще остается большим. В этой группе особенно сложно организовать реабилитационные мероприятия, т. к. они должны проводиться только в присутствии медицинского работника и при наличии необходимого оборудования.

С учетом повсеместного характера интернета вещей (*англ.* Internet of Things) и инновационных информационно-коммуникационных технологий виртуальная (*англ.* Virtual Reality, VR), дополненная (*англ.* Augmented Reality) и смешанная реальность (*англ.* Mixed Reality) выходят на первый план в организации и функционировании телемедицинской реабилитации [2, 8, 9]. VR уже успешно используется для тренировки или восстановления когнитивных способностей у людей пожилого и старческого возраста, а также перенесших повреждение головного мозга, которое в конечном итоге привело к когнитивным нарушениям [10–12]. Кроме того, использование VR имеет ряд преимуществ, таких как мониторинг состояния пациента в режиме реального времени, дистанционная передача промежуточных результатов лечащему врачу, проведение реабилитационных мероприятий в удаленном формате, непрерывный характер реабилитационных мероприятий, их диффузное распределение в течение всего дня и т. д. [13–17]. Также высокая гибкость VR позволяет персонализировать реабилитационные мероприятия, а сбор данных с высоким

¹ DALY — годы жизни, скорректированные по нетрудоспособности (*англ.* Disability-Adjusted Life Year).

разрешением позволяет обнаруживать незначительные изменения с течением времени, что важно для определения характера и степени когнитивных изменений у пожилых людей, включая деменцию. Наконец, VR является иммерсионной реальностью, что позволяет воздействовать на эмоции, двигательное поведение и различные органы чувств пациента [18–21]. Использование VR и биологической обратной связи (например, электроэнцефалографии) позволяет проводить тренировки или реабилитационные мероприятия для пациентов без сознания или с минимальной двигательной активностью [22–24].

В связи с актуальностью рассматриваемой темы проведен литературный обзор методов тренировки и реабилитации когнитивных способностей в дистанционном формате с использованием VR-технологий.

Цель обзора — анализ современного состояния проблемы применения технологий VR в сфере нейрореабилитации, а также оценка клинической эффективности реабилитации когнитивных способностей в виртуальной среде по сравнению с традиционными методами.

Материалы и методы

Обзор основан на работах, опубликованных на английском языке в период с 2018 по 2023 г. Поиск выполнен с использованием библиографической системы PubMed. Ключевые слова, использованные для отбора статей: виртуальная реальность, добавленная реальность, когнитивная тренировка, когнитивная реабилитация и реабилитация.

После поиска публикаций, по ключевым словам, полученная выборка подверглась двухэтапной обработке. Затем были исключены те статьи, полнотекстовые версии которых не были доступны. После такой предобработки отобранные публикации анализировались по названию, аннотации и результатам. Отбор статей проводился с учетом следующих критериев:

- критерии включения:
 - цель — оценка клинической эффективности применения технологий VR для реабилитации когнитивных способностей;
 - технологии VR являются либо основным методом клинического исследования, либо основным объектом литературного обзора;
- критерии невключения:
 - работа не оценивает эффективность применения технологий VR в реабилитации когнитивных способностей;
 - в статье не используются или не рассматриваются технологии VR в качестве основного метода или объекта работы;
 - низкая статистическая значимость результатов, описанных в публикации.

Статьи, прошедшие второй этап, включены в рассмотрение полнотекстовых версий для литературного обзора.

В результате поиска по ключевым словам в поисковой системе PubMed найдено 242 публикации. В ходе предобработки выделено 111 подходящих для анализа работ; исключены статьи по следующим причинам:

- опубликованы вне периода с 2018 по 2023 г. — 73;
- не доступны полнотекстовые версии — 58.

На втором этапе скрининга публикаций по названию, аннотации и результатам с учетом вышеуказанных критериев включения и невключения из выборки исключены следующие работы:

- с низкой статистической значимостью результатов — 2;
- дублирующие информацию других работ — 5;
- с темой, не релевантной объекту обзора, — 79.

В результате этапа скрининга в итоговую выборку для литературного обзора отобрано 25 источников, отвечающих всем заявленным критериям отбора.

Для наглядности процесс отбора публикаций представлен в виде блок-схемы (рисунок).

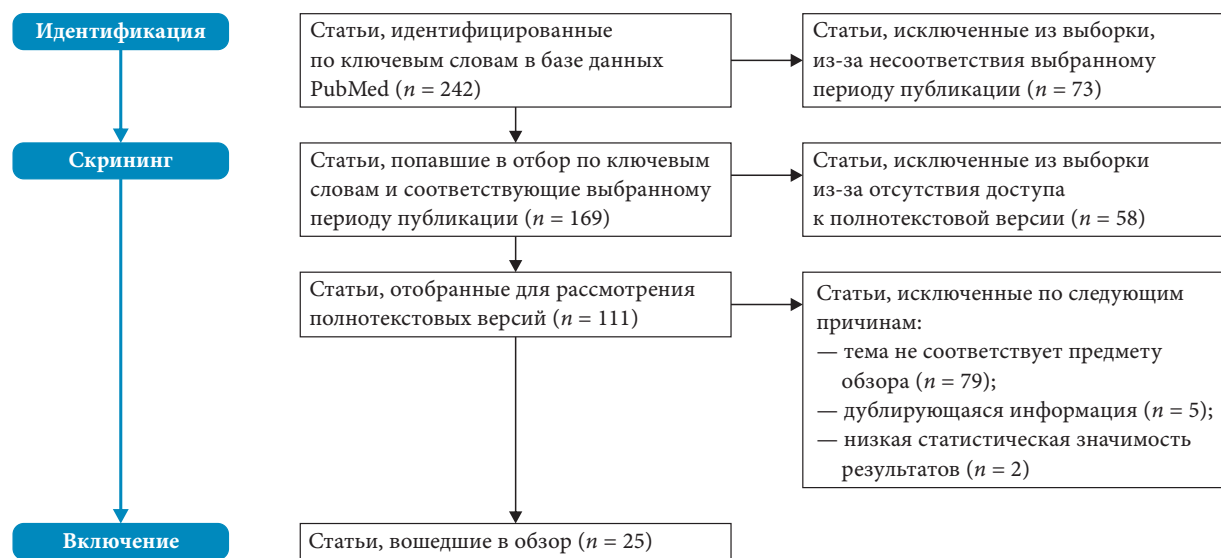


Рис. Блок-схема процесса отбора публикаций для литературного обзора

Результаты

Методы диагностики когнитивных расстройств

Традиционно когнитивные расстройства диагностируются и классифицируются с помощью тестов и опросников; некоторые из них позволяют не только определить факт существования когнитивных нарушений, но и определить степень тяжести или состояние отдельных компонентов когнитивных способностей. Заподозрить расстройство могут помочь жалобы больного на забывчивость, трудности в определении времени и (или) даты, сложности с речью и (или) письмом, различные виды агнозии, пространственную дезориентацию. Однако подтверждение диагноза производится только путем проведения обследования с использованием одной или нескольких шкал. Наиболее распространены следующие опросники:

- Mini-Cog — короткая шкала, состоящая из трех вопросов, позволяющая оценить память (как краткосрочную, так и долгосрочную), исполнительные функции и способность ориентироваться в пространстве (рисование циферблата часов);
- монреальская когнитивная шкала (англ. Montreal Cognitive Assessment), включающая в себя 30 вопросов, что позволяет не только подтвердить диагноз когнитивных нарушений, но и предварительно установить тяжесть состояния: 26–30 баллов — норма; 20–25 — умеренные когнитивные нарушения; <20 — деменция.
- краткая шкала оценки психического статуса (англ. Mini-Mental State Examination, MMSE), как и предыдущая, состоит из 30 вопросов, однако у нее выделены рефе-

ренные значения для большего числа степеней тяжести когнитивных расстройств: 28–30 баллов — норма; 20–27 баллов — легкие когнитивные расстройства; 10–19 баллов — умеренные когнитивные расстройства; 0–9 баллов — тяжелые когнитивные расстройства или деменция;

- адденбрукская шкала когнитивного исследования (Addenbrooke's Cognitive Examination, ACE): максимально возможное количество баллов, которое может набрать пациент, — 100; диапазон баллов, соответствующий нормальному состоянию когнитивных способностей, — 88–100. ACE позволяет определить состояние отдельных компонентов когнитивных способностей: внимание и ориентация (максимум — 18 баллов), память (26 баллов), речевая активность (14 баллов), речь (26 баллов) и зрительно-пространственные функции (16 баллов).

Наиболее популярными в клинической практике являются MMSE и ACE, т.к. они позволяют точнее оценить тяжесть заболевания, имея больше градаций в зависимости от того, сколько баллов наберет пациент. ACE также дает возможность сделать предположение о локализации и площади поражения.

Традиционные методы реабилитации когнитивных нарушений

Все современные методы реабилитации посттравматических когнитивных расстройств можно разделить на две группы: медикаментозные и немедикаментозные. Ввиду столь обширного характера проблемы когнитивных нарушений реабилитация способностей организуется как работа с отдельными компонентами когнитивных функций: памятью, речью, вниманием, мышлением, восприятием и воображением.

К сожалению, в современной клинической практике реабилитации подвергаются лишь социально значимые компоненты, такие как память, речь и внимание. Доказанных методов реабилитации или лечения других составляющих когнитивных способностей в настоящее время нет.

Реабилитация памяти. Среди когнитивных расстройств у лиц пожилого и старческого возраста лидируют именно нарушения памяти. Трудности эмоционального, временного и финансового характеров, которые испытывают в этот период как сам пациент, так и его родные и близкие, делают проблему реабилитации особенно актуальной.

При восстановлении памяти используются различные техники как отдельно, так и в комбинации с другими. Эти методы можно разделить на две группы:

- восстановительные — в конечном счете сводятся к запоминанию текстов (или набора слов) различной длины и их отсроченному воспроизведению. При этом постепенно увеличивается как объем текста, так и длительность интервала, после которого необходимо воспроизвести информацию для запоминания. Среди восстановительных методов реабилитации памяти выделяют многократное и интервальное повторение, исчезающие подсказки, тренинги на компьютере, методическое обучение;
- компенсирующие — внешнее (календари, блокноты, записки и т.д.) и внутреннее компенсирование (альтернативные техники запоминания).

Лекарственные методы терапии нарушений памяти также представлены двумя разновидностями. Этиопатогенетическое и профилактическое лечение применяется для исключения первоначальных патогенетических причин, вызвавших нарушение памяти: нормализации артериального давления (вазоактивные препараты), липидного и углеводного обменов (например, применения статинов), агрегационных свойств тромбоцитов (антикоагулянты в рамках плановой терапии ОНМК).

Симптоматическое лечение включает в себя препараты для поддержания деятельности нервной ткани, в частности головного мозга: нейропептиды; ноотропы; соединения, влияющие на холинергическую и глутаматергическую системы (холин, «Нейромидин», галантамин, мемантин и т. д.) [25].

Реабилитация речи. Вторым по распространенности и значимости расстройством после нарушения памяти при травматическом или нейродегенеративном поражении головного мозга является афазия (22,6 % пациентов пожилого возраста ((66,76±13,22) лет), перенесших инсульт, имеют этот вид осложнений [26]). Помимо этого, речь очень тесно связана с другими когнитивными функциями. Зачастую речевые расстройства сочетаются с поведенческими дисфункциями. В зависимости от локализации повреждения выделяют несколько типов нарушений речи: эфферентную моторную (Брока), динамическую, афферентную моторную, сенсорную (акустико-гностическую, Вернике), акустико-мнестическую, оптико-мнестическую, семантическую, амнестическую афазии.

Таким образом, в связи с разнохарактерным патогенезом развития нарушений речи при различной локализации поражения стратегию реабилитации и лечения афазии следует разрабатывать с учетом ее разновидности. Например, при эфферентной моторной афазии в первую очередь необходимо обучить пациента способам стимулирования речи. Также можно предложить альтернативные способы коммуникации: письмо, жесты и т. д. В 2019 г. опубликована статья о влиянии транскраниальной магнитной стимуляции в детской неврологии, в которой отмечено улучшение когнитивных функций после вышеуказанной процедуры [27]. Однако в любом случае восстановление функций осуществляется с применением методов логопедической коррекции. Чаще всего используется фактор временной организации речевой деятельности: включение в речь большого ритмико-мелодических элементов, чтение стихов, пение песен, чтение прозаического текста в определенном ритме.

Также в настоящее время считается перспективным метод транскраниальной магнитной стимуляции головного мозга у людей с расстройствами речи. Результаты исследований показывают, что динамика регрессии симптомов афазии при применении магнитной стимуляции выше, чем при медикаментозном лечении [28].

Лекарственные методы направлены на патогенетическое лечение, однако их эффективность не имеет однозначного доказательства. Тем не менее имеется ряд свидетельств о положительном эффекте пирацетама, ацетилхолинэстеразных препаратов, противопаркинсонических средств и «Кортексина» [29].

Реабилитация внимания. Проблема синдрома дефицита внимания и гиперактивности (СДВГ) до сих пор остается актуальной, особенно в нейропедиатрии. При этом очень часто наблюдаются случаи ассоциации СДВГ с другими заболеваниями когнитивного аппарата (нарушениями речи, восприятия, поведения, моторными дисфункциями). С учетом бинарного характера СДВГ выделяют три его формы в зависимости от преобладающей части: дефицита внимания без гиперактивности, дефицита внимания и гиперактивности, гиперактивности без дефицита внимания. В связи с этим перед лечением и (или) реабилитацией пациента необходимо определить тип заболевания.

Основными направлениями терапии СДВГ являются коррективные меры, направленные на снижение симптоматики и облегчение повседневной жизни:

- повышение двигательной активности (особенно полезны упражнения аэробного характера);
- уменьшение количества эмоциональных игр;

- психолого-педагогическая коррекция (снятие повышенной тревожности, повышение коммуникабельности);
- развитие внимания и памяти;
- семейная психотерапия;
- релаксационные мероприятия.

Лекарственная терапия включает в себя психостимуляторы, реже антидепрессанты и нейролептики. Стоит обратить внимание на следующее: во-первых, лекарственная терапия используется в зарубежных странах, в особенности в США, во-вторых, психостимуляторы обладают рядом серьезных побочных эффектов со стороны желудочно-кишечного тракта и центральной нервной системы, поэтому в России такие препараты полностью запрещены, а в США Американская академия педиатрии (*англ.* American Academy of Pediatrics) вынесла резолюцию против их одностороннего применения (медикаментозной терапии обязательно должна предшествовать немедикаментозная) [30].

Программы реабилитации когнитивных функций в VR

В настоящее время наблюдается тенденция к увеличению роли информационных технологий в медицине (визуализация снимков, 3D-моделирование, общие базы данных (историй болезней), системы поддержки врачебного решения и т. д.). Неврология не является исключением. Однако в ходе проведения обзора выявлено, что существует мало программ для тренировки или коррекции когнитивных функций. Эта область сейчас только развивается и основным является направление диагностики, а не терапии. Далее рассмотрим основные программы для реабилитации когнитивных способностей, использующих VR.

RehaMetrics VR — программное обеспечение (ПО), разработанное в Испании, которое не использует VR-технологии в классическом смысле. Управление производится посредством сенсора Kinect, а изображение выводится на обычный монитор. Такой программно-аппаратный комплекс предназначен для реабилитации как моторных, так и когнитивных функций. В сфере двигательных навыков *RehaMetrics VR* нацелен на увеличение объема различных движений, развитие вестибулярного аппарата и выносливости опорно-двигательного аппарата. При прохождении подобного курса реабилитации пациент сталкивается примерно с теми же задачами, которые ставит перед собой лечебная физическая культура.

В когнитивной сфере большей частью применяются восстановительные методы реабилитации (не компенсаторные). При этом ПО позволяет составлять набор упражнений индивидуально и, следовательно, делать упор на ту сферу интеллектуальных навыков, которая поражена у больного. Однако затрагиваются не все составляющие когнитивных способностей, а лишь социально значимые.

YouGrabber (YouRehab) — реабилитационная программа, которая в отличие от предыдущей предназначена для восстановления лишь моторных навыков. Основной задачей является увеличение объемов движений в верхней и нижней конечностях. Программа полностью реализована в виртуальной среде с использованием технологий трекинга тела.

Dailo — ПО, которое развивает коммуникативные навыки. Оно не использует виртуальную или дополненную реальность. Строго говоря, *Dailo* является онлайн — голосовым чатом с использованием виртуальных аватаров. Может быть установлено как на персональный компьютер, так и на телефонные операционные системы (Android или iOS).

Upgrade VR — программно-аппаратный комплекс, похожий на первый с некоторыми отличиями. Во-первых, реабилитация происходит в полностью виртуальной среде с ис-

пользованием соответствующих технологий. Во-вторых, больший упор делается на когнитивную сферу, а не моторные функции, хотя этот компонент все же присутствует.

Enhance — ПО, которое позволяет проводить реабилитацию памяти, внимания, исполнительных функций и пространственно-временной ориентации. Enhance увеличивает гибкость мышления и скорость обработки информации. Пациент сталкивается с такими задачами, как прятки, «стенка памяти», готовка пиццы по заданному рецепту, сортировка предметов, стрельба в цель. Программа полностью реализована в виртуальной среде.

Reh@city — наиболее разнообразная программа реабилитации когнитивных функций. Несмотря на то что она, как и другие, восстанавливает лишь социально значимые способности, ее реализация позволяет полнее вовлечь больного в процесс реабилитации. Виртуальная среда представляет собой город, в котором пациенту предстоит решать различные (не настолько типовые, как в предыдущих ПО) задачи бытового характера.

Все проанализированные программы для реабилитации когнитивных способностей, а также их особенности приведены ниже:

программа и необходимое оборудование	направленность	примеры задач	учитываемые параметры
RehaMetrics VR: ПО (набор упражнений); сенсор Kinect	реабилитация моторных функций	контроль торса; балансирование на одной ноге; упражнения на выносливость нижних конечностей	баланс; диапазон движений; перемещение; координация; контроль положения туловища; выносливость
	реабилитация когнитивных функций	поиск лишнего; восстановление последовательности изображений; поиск силуэтов; выбор предмета по названию; выбор чисел по возрастанию или убыванию	внимание; память; восприятие; язык; исполнительные функции; повседневные задачи
You Grabber (YouRehab): ПО	физическая реабилитация	собираение предметов рукой; отбивание мяча ногой	объем движений
Dailo: ПО	развитие коммуникативных навыков	онлайн-общение (можно создать аватара, который будет говорить тот текст, который введен)	—
Upgrade VR: ПО; VR-оборудование	развитие или реабилитация когнитивных и (отчасти) моторных функций	ловля летящего мяча; сортировка предметов; задания на развитие межполушарных связей	память; концентрация внимания
Enhance: ПО; VR-оборудование	развитие или реабилитация когнитивных и (отчасти) моторных функций	прятки; «стенка памяти»; готовка пиццы; сортировка; стрельба из рогатки	пространственная ориентация; память; внимание; гибкость мышления; скорость решения проблем; моторные навыки
Reh@city: ПО; VR-оборудование	реабилитация когнитивных функций	прохождение лабиринта; исключение лишнего; решение проблем; пары изображений; сортировка; последовательность действий, чисел; запоминание историй	пространственная ориентация; внимание; скорость, гибкость мышления; память

Эффективность от использования программ с технологиями VR для реабилитации когнитивных функций

Многие исследования указывают на эффективность VR-технологий в когнитивной реабилитации. Клинические эффекты целесообразнее рассматривать отдельно для когни-

тивных способностей и моторных функций. Согласно метаанализу, проведенному в Китае в 2020 г. группой ученых, виртуальная реабилитация может значительно улучшить общий когнитивный статус ($SMD^1 = 0,869$) и исполнительные функции ($SMD = 1,083$). Однако стоит отметить, что статистически значимого улучшения кратковременной памяти при использовании виртуальных технологий не произошло по сравнению с контрольной группой, проходившей реабилитацию с использованием традиционных методик. В обзор вошло три отчета об использовании VR-технологий для восстановления кратковременной памяти — только один из них продемонстрировал разницу между реабилитацией в виртуальной среде и применением традиционных методов восстановления [31].

Восстановление моторных функций. В ряде статей показано улучшение двигательных функций у пациентов, прошедших реабилитацию с использованием виртуальных технологий. Двигательный контроль традиционно оценивают по скорости ходьбы, скорости поворота, способности контролировать равновесие и т. д. Современные исследования указывают не только на эффективность применения VR-технологий для реабилитации двигательных функций у людей с болезнью Паркинсона [32–36], но и на качественное отличие этой терапии от традиционной [37–40]. Во многих случаях контрольные группы, проходящие реабилитацию традиционными методами, показывают худшие результаты по сравнению с экспериментальными [41].

В обзоре литературы, проведенном в 2019 г., в котором проанализировано 585 сообщений, также отмечен положительный эффект терапии с применением VR-технологий на двигательную активность у пациентов с болезнью Паркинсона. Однако авторы работы подчеркивают, что достоверность результатов колебалась от низкой до умеренной. Это может быть связано с небольшим размером экспериментальных групп или коротким периодом времени, в течение которого проводились исследования [42].

В 2012 г. проведено исследование влияния VR-программ на двигательную активность людей, проходящих реабилитацию [43]. Восстановление с использованием VR-технологий прошло 120 пациентов с черепно-мозговой травмой (продолжительность — 7 месяцев). Эффект от этого вида реабилитационных мероприятий оценивался по двум параметрам: объективному анализу состояния пациента по стандартным шкалам и анализу субъективного восприятия программы пациентом путем проведения опроса после курса реабилитации, который включал в себя 8 вопросов с оценками от 1 до 5. Двигательная активность исследовалась по следующим параметрам: шкалам баланса Берг и Тинетти², пределам устойчивости, медиально-латеральному и передне-заднему постуральным контролям, вестибулярному, соматическому и зрительному индексам. Анализ проводился до и после реабилитации. Таким образом, авторами получены следующие результаты. Испытуемые за время терапии с применением VR-технологий продемонстрировали статистически значимое улучшение следующих показателей (контроль проводился после 1 месяца реабилитации традиционными методами):

- шкала баланса Берга (до — $(46,2 \pm 4,7)$; после — $(50,4 \pm 3,6)$; контроль — $(51,9 \pm 3,9)$; $p < 0,01$);
- шкала Тинетти (до — $(23,2 \pm 3,8)$; после — $(26,4 \pm 1,4)$; контроль — $(27,2 \pm 1,1)$; $p < 0,01$);
- медиально-латеральный постуральный контроль (до — $(84,9 \pm 14,2)$; после — $(90,8 \pm 8,8)$; контроль — $(91,5 \pm 8,5)$; $p = 0,06$);

¹ SMD — стандартизованная средняя разница (англ. Standardized Mean Difference).

² В литературе шкала Тинетти также известна как POMA — шкала оценки результативности (производительности) двигательной активности (англ. Performance Oriented Mobility Assessment).

- передне-задний постуральный контроль (до — $(81,1 \pm 10,8)$; после — $(87,5 \pm 7,2)$; контроль — $(88,6 \pm 0,1)$; $p < 0,05$);
- вестибулярный индекс (до — $(50,2 \pm 44,4)$; после — $(79,9 \pm 29,9)$; контроль — $(79,4 \pm 30,4)$; $p < 0,05$).

Анализ субъективного восприятия позволил выявить следующие данные:

- оценка удобства использования пациентами — $(3,7 \pm 0,9)$;
- чувства «погружения» — $(4,1 \pm 0,8)$;
- реалистичности обстановки — $(3,7 \pm 1,1)$;
- ясности обратной связи системы — $(4,4 \pm 0,9)$;
- уровня контроля над процессом реабилитации — $(3,63 \pm 0,80)$;
- успешности своей работы — $(3,7 \pm 0,8)$.

Таким образом, на фоне положительного опыта использования испытуемые продемонстрировали большую положительную динамику в первую очередь показателей моторных функций за месяц реабилитации в виртуальной среде по сравнению с контрольным месяцем.

Реабилитация когнитивных способностей. Как и в случае с моторным статусом, многие исследования указывают на эффективность использования реабилитации в виртуальной среде [23, 44–47]. Обзор, проведенный в 2022 г., продемонстрировал положительное влияние этой терапии на когнитивные способности пациентов с расстройствами аутистического спектра [48]. Отмечено улучшение таких функций, как внимание, память и общие когнитивные функции [49–52].

В 2019 г. проведено исследование, в которое вошло 18 пациентов с подтвержденным диагнозом «инсульт»; участники были разделены на основную группу (9 человек, реабилитация по программе Reh@city) и контрольную (9 человек, реабилитация согласно традиционным методам). Влияние на когнитивные способности анализировали с использованием стандартных шкал, таких как MMSE и ACE. Исследование когнитивного статуса проводилось до и после реабилитационных мероприятий, продолжавшихся в течение 6 месяцев. В результате выявлена большая положительная динамика у экспериментальной группы по сравнению с контрольной. После прохождения реабилитации в экспериментальной группе зафиксировано увеличение значений по ACE на 9 баллов (до — $72,0 (61,0–75,5)$ ¹; после — $81,0 (68,0–86,5)$; $p = 0,011$) и MMSE на 6 баллов (до — $23,0 (20,5–26,0)$; после — $29,0 (25,0–29,0)$; $p = 0,025$), в то время как в контрольной (реабилитация без применения VR-технологий) — только на 3 балла по ACE (до — $66,0 (54,5–81,0)$; после — $69,0 (58,0–78,0)$; $p = 0,014$) и MMSE (до — $23,0 (20,5–26,0)$; после — $26,0 (21,0–26,5)$; $p = 0,050$) [53].

В 2023 г. проведено еще одно клиническое исследование по изучению влияния VR-технологии на когнитивные и двигательные функции у пациентов с рассеянным склерозом. Все участники были разделены на две равные группы. Экспериментальная группа проходила реабилитацию с использованием традиционных методов и VR, тогда как контрольная — только с использованием традиционных. Скорость ходьбы увеличилась в обеих группах, но когнитивные способности, которые исследовались с помощью теста символично-цифрового кодирования (англ. Symbol Digit Modalities Test), улучшились в большей степени в экспериментальной группе (оценка по тесту увеличилась на 4,4 балла по сравнению с 0,8 балла в контрольной группе) [54].

¹ Данные представлены в виде медианы и интерквартильного размаха.

Обсуждение

Несмотря на повсеместное распространение VR-технологий и их интеграцию во все сферы жизни общества, они мало используются в когнитивной реабилитации. В настоящее время существует только шесть программ, которые обеспечивают реабилитацию и тренировку когнитивных способностей. Кроме того, эти немногие существующие ПО не затрагивают все компоненты когнитивных способностей. Основными направлениями их деятельности являются двигательная активность, внимание, память, речь и пространственно-временная ориентация, а также зрительное и слуховое восприятие. В конце концов, программы виртуальной реабилитации — это всего лишь традиционные методы интеллектуальной реабилитации, перенесенные в виртуальную среду.

Тем не менее анализ шкал двигательной активности демонстрирует явное улучшение. Например, в одном из отчетов после 7 месяцев реабилитации у пациентов наблюдалось устойчивое улучшение двигательных функций. Оценка по шкале баланса Берг увеличилась на 3,7 балла (с 46,7 до 50,4), баллы по тесту Тинетти увеличились на 3,2 балла, пределы устойчивости увеличились на 1,9, медиально-латеральный и передне-задний постуральные контроли увеличились на 5,9 и 6,4 соответственно, вестибулярный и соматический индексы — на 29,7 и 1,6, а зрительный остался неизменным. Для контроля проводились те же обследования, но через 1 месяц после завершения реабилитационных мероприятий. В контрольной группе все показатели либо увеличивались в пределах одного пункта, либо оставались неизменными. Оценивая субъективное восприятие, все пациенты отметили комфортность реабилитации, хороший уровень понимания задач и требований, высокий уровень контроля над ситуацией и т. д.

Если же проанализировать влияние применения VR непосредственно на когнитивные способности [53], то полученные значения по ACE и MMSE демонстрируют большую динамику в экспериментальной группе по сравнению с группой контроля.

Таким образом, несмотря на небольшое количество программ когнитивной реабилитации с использованием VR-технологий, они уже сейчас демонстрируют большую эффективность по сравнению с традиционными методами восстановления [1, 55]. Это можно объяснить более полным погружением пациента в процесс реабилитации и одновременным разнонаправленным воздействием на когнитивные способности. В виртуальной среде пациент вынужден решать сразу несколько задач, используя разные области коры головного мозга. Это стимулирует не только отдельные участки коры больших полушарий, но и образование связей между ними [56]. Параллельно многие программы сочетают в себе когнитивную реабилитацию с двигательной, поскольку для управления интерфейсом пациенту необходимо выполнять определенные движения, что показано в табличной форме выше [57].

Кроме того, во многих обзорах литературы отмечается скудность клинических исследований по использованию VR в реабилитации. Этот факт снижает уровень достоверности полученных экспериментальных результатов [58]. Параллельно имеются сообщения, указывающие на отсутствие статистически значимого влияния VR на когнитивные функции, в частности кратковременную память, в период реабилитации [59, 60]. Это создает прецедент непонимания и преувеличения роли профилактики с использованием когнитивных технологий в клинике. Виртуальная терапия имеет ряд преимуществ перед консервативными методами, и это уже доказано на основе опроса пациентов об этом виде терапии. Одна-

ко для адекватной оценки клинической эффективности этого метода лечения необходимы дополнительные исследования и полноценный статистический анализ.

Таким образом, систематический обзор литературы продемонстрировал, что VR уже успешно применяется для тренировки и восстановления когнитивных способностей у пожилых людей, а также перенесших повреждение головного мозга. Несмотря на небольшое количество проектов в этой области, эксперты отмечают положительную динамику ее клинической эффективности. При этом по сравнению с традиционными методами реабилитации когнитивных способностей использование VR-технологий позволяет достичь улучшения ментальных функций намного быстрее. Они способствуют достижению персонализированных и эффективных результатов, а также оказывают положительное влияние на пациентов в психологическом и физическом плане. Применение этих технологий может значительно улучшить реабилитационный процесс и обеспечить лучшее качество жизни для пациентов.

С учетом столь активного характера развития телемедицины в целом и телереабилитации в частности можно сделать вывод, что интеграция VR в сферу медицины, в т. ч. реабилитации, актуальна, необходима и целесообразна.

Заключение

Таким образом, в рамках настоящего литературного обзора выявлено, что проблема применения VR в сфере нейрореабилитации актуальна в настоящее время. Такая релевантность выражается в растущем числе публикаций, посвященных исследованию применения VR для реабилитации когнитивных способностей. При этом на фоне возрастающего внимания к применению VR-технологий в нейрореабилитации сегодня существует лишь шесть программ, обеспечивающих указанные реабилитационные мероприятия в полной мере. Также отмечается малое количество масштабных исследований, изучающих эффективность реабилитации в виртуальной среде. Результаты, представленные в публикациях, имеют низкую статистическую значимость. Это объясняется либо малыми размерами выборок, либо коротким периодом исследования. Однако, несмотря на низкую статистическую значимость, подавляющее число публикаций отмечает больший положительный эффект от реабилитации когнитивных способностей с помощью VR по сравнению с традиционными методами. В связи с этим в рамках настоящего литературного обзора можно говорить о перспективности направления нейрореабилитации в VR и необходимости более детальной оценки эффективности таких методов на практике.

Список источников | References

1. Oh YB, Kim GW, Han KS, Won YH, Park SH, Seo JH, et al. Efficacy of virtual reality combined with real instrument training for patients with stroke: A randomized controlled trial. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2019;100(8):1400–1408. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2019.03.013>.
2. Putrino D. Telerehabilitation and emerging virtual reality approaches to stroke rehabilitation. *Current Opinion in Neurology*. 2014;27(6):631–636. DOI: <https://doi.org/10.1097/WCO.0000000000000152>.
3. Foley NC, Teasell RW, Bhogal SK, Doherty T, Speechley MR. The efficacy of stroke rehabilitation: A qualitative review. *Topics in Stroke Rehabilitation*. 2003;10(2):1–18. DOI: <https://doi.org/10.1310/aqe1-pcw1-fw9k-m01g>.
4. Kim H, Jung J, Lee S. Therapeutic application of virtual reality in the rehabilitation of mild cognitive impairment: A systematic review and meta-analysis. *Vision*. 2022;6(4):68. DOI: <https://doi.org/10.3390/vision6040068>.
5. Khedr EM, Hamed SA, El-Shereef HK, Shawky OA, Mohamed KhA, Awad EM, et al. Cognitive impairment after cerebrovascular stroke: Relationship to vascular risk factors. *Neuropsychiatric Disease and Treatment*. 2009;5:103–116. DOI: <https://doi.org/10.2147/ndt.s4184>.

6. Nichols-Larsen DS, Clark PC, Zeringue A, Greenspan A, Blanton S. Factors influencing stroke survivors' quality of life during subacute recovery. *Stroke*. 2005;36(7):1480–1484. DOI: <https://doi.org/10.1161/01.STR.0000170706.13595.4f>.
7. GBD 2019 Stroke Collaborators. Global, regional, and national burden of stroke and its risk factors, 1990–2019: A systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *The Lancet Neurology*. 2021; 20(10):795–820. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1474-4422\(21\)00252-0](https://doi.org/10.1016/S1474-4422(21)00252-0).
8. Sokołowska B. Impact of virtual reality cognitive and motor exercises on brain health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2023;20(5):4150. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph20054150>.
9. Maggio MG, Maresca G, De Luca R, Stagnitti MC, Porcari B, Ferrera MC, et al. The growing use of virtual reality in cognitive rehabilitation: Fact, fake or vision? A scoping review. *Journal of the National Medical Association*. 2019;111(4):457–463. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jnma.2019.01.003>.
10. Bevilacqua R, Maranesi E, Riccardi GR, Di Donna V, Pelliccioni P, Luzi R, et al. Non-immersive virtual reality for rehabilitation of the older people: A systematic review into efficacy and effectiveness. *Journal of Clinical Medicine*. 2019;8(11):1882. DOI: <https://doi.org/10.3390/jcm8111882>.
11. Moreno A, Wall KJ, Thangavelu K, Craven L, Ward E, Dissanayaka NN. A systematic review of the use of virtual reality and its effects on cognition in individuals with neurocognitive disorders. *Alzheimer's & Dementia: Translational Research & Clinical Interventions*. 2019;5(1):834–850. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trci.2019.09.016>.
12. Fratiglioni L, De Ronchi D, Agüero-Torres H. Worldwide prevalence and incidence of dementia. *Drugs & Aging*. 1999;15(5):365–375. DOI: <https://doi.org/10.2165/00002512-199915050-00004>.
13. Liu Y, Tan W, Chen C, Liu C, Yang J, Zhang Y. A review of the application of virtual reality technology in the diagnosis and treatment of cognitive impairment. *Frontiers in Aging Neuroscience*. 2019;11:280. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnagi.2019.00280>.
14. Laver KE, Lange B, George S, Deutsch JE, Saposnik G, Crotty M. Virtual reality for stroke rehabilitation. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2017;(11):CD008349. DOI: <https://doi.org/10.1002/14651858.CD008349.pub4>.
15. Held JP, Ferrer B, Mainetti R, Steblin A, Hertler B, Moreno-Conde A, et al. Autonomous rehabilitation at stroke patients home for balance and gait: Safety, usability and compliance of a virtual reality system. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*. 2018;54(4):545–553. DOI: <https://doi.org/10.23736/S1973-9087.17.04802-X>.
16. Faria AL, Andrade A, Soares L, I Badia SB. Benefits of virtual reality based cognitive rehabilitation through simulated activities of daily living: A randomized controlled trial with stroke patients. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2016;13(1):96. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12984-016-0204-z>.
17. Lloréns R, Noé E, Colomer C, Alcañiz M. Effectiveness, usability, and cost-benefit of a virtual reality-based telerehabilitation program for balance recovery after stroke: A randomized controlled trial. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2015;96(3):418–425.e2. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2014.10.019>.
18. Bauer ACM, Andringa G. The potential of immersive virtual reality for cognitive training in elderly. *Gerontology*. 2020;66(6):614–623. DOI: <https://doi.org/10.1159/000509830>.
19. Allain P, Foloppe DA, Besnard J, Yamaguchi T, Etcharry-Bouyx F, Le Gall D, et al. Detecting everyday action deficits in Alzheimer's disease using a nonimmersive virtual reality kitchen. *Journal of the International Neuropsychological Society*. 2014;20(5):468–477. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1355617714000344>.
20. Anguera JA, Boccanfuso J, Rintoul JL, Al-Hashimi O, Faraji F, Janowich J, et al. Video game training enhances cognitive control in older adults. *Nature*. 2013;501(7465):97–101. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature12486>.
21. Gatica-Rojas V, Méndez-Rebolledo G. Virtual reality interface devices in the reorganization of neural networks in the brain of patients with neurological diseases. *Neural Regeneration Research*. 2014;9(8):888–896. DOI: <https://doi.org/10.4103/1673-5374.131612>.
22. Maggio MG, Naro A, La Rosa G, Cambria A, Lauria P, Billeri L, et al. Virtual reality based cognitive rehabilitation in minimally conscious state: A case report with EEG findings and systematic literature review. *Brain Sciences*. 2020;10(7):414. DOI: <https://doi.org/10.3390/brainsci10070414>.
23. Kober SE, Schweiger D, Witte M, Reichert JL, Grieshofer P, Neuper Ch, et al. Specific effects of EEG based neurofeedback training on memory functions in post-stroke victims. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2015;12:107. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12984-015-0105-6>.
24. Gibson RM, Owen AM, Cruse D. Brain-computer interfaces for patients with disorders of consciousness. *Progress in Brain Research*. 2016;228:241–291. DOI: <https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2016.04.003>.
25. Shakhparonova NV, Kadykov AS. An algorithm for the diagnosis and treatment of memory disorders in neurological practice. *Nervous Diseases*. 2009;(1):13–16. (In Russ.). EDN: <https://www.elibrary.ru/uypffb>.
26. Lima RR, Rose ML, Lima HN, Cabral NL, Silveira NC, Massi GA. Prevalence of aphasia after stroke in a hospital population in southern Brazil: A retrospective cohort study. *Topics in Stroke Rehabilitation*. 2020; 27(3):215–223. DOI: <https://doi.org/10.1080/10749357.2019.1673593>.

27. Malone LA, Sun LR. Transcranial magnetic stimulation for the treatment of pediatric neurological disorders. *Current Treatment Options in Neurology*. 2019;21(11):58. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11940-019-0600-3>.
28. Nesterova JV, Karkashadze GA, Yatsik LM, Namazova-Baranova LS, Vishneva EA, Kaytukova EV, et al. Management of children with speech disorders via transcranial magnetic stimulation: Non-randomized controlled study. *Pediatric Pharmacology*. 2022;19 (5):380–393. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15690/pf.v19i5.2466>.
29. Mozheyko EYu. Recovery of speech disorders in poststroke patients: The urgency, problems and prospects. *Siberian Medical Review*. 2008;(2):16–20. (In Russ.). EDN: <https://www.elibrary.ru/jvmjej>.
30. Goncharova OV, Nikonova LS, Monakhov MV, Khan MA, Achkasov EE, The health status and principles of treatment for children with attention deficit hyperactivity disorder. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2012;(2):45–49. (In Russ.). EDN: <https://www.elibrary.ru/pabhgp>.
31. Wu J, Ma Y, Ren Z. Rehabilitative effects of virtual reality technology for mild cognitive impairment: A systematic review with meta-analysis. *Frontiers in Psychology*. 2020;11:1811. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01811>.
32. Hattabi S, Bouallegue M, Ben Yahya H, Bouden A. Rehabilitation of ADHD children by sport intervention: A Tunisian experience. *La Tunisie Médicale*. 2019;97(7):874–881. PMID: <https://pubmed.gov/31872398>.
33. Calabrò RS, Naro A, Russo M, Leo A, De Luca R, Balletta T, et al. The role of virtual reality in improving motor performance as revealed by EEG: A randomized clinical trial. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2017;14(1):53. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12984-017-0268-4>.
34. Calabrò RS, Naro A, Cimino V, Buda A, Paladina G, Di Lorenzo G, et al. Improving motor performance in Parkinson's disease: A preliminary study on the promising use of the computer assisted virtual reality environment (CAREN). *Neurological Sciences*. 2020;41(4):933–941. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10072-019-04194-7>.
35. Dockx K, Bekkers EM, Van den Bergh V, Ginis P, Rochester L, Hausdorff JM, et al. Virtual reality for rehabilitation in Parkinson's disease. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2016;(12):CD010760. DOI: <https://doi.org/10.1002/14651858.CD010760.pub2>.
36. Yang WC, Wang HK, Wu RM, Lo CS, Lin KH. Home-based virtual reality balance training and conventional balance training in Parkinson's disease: A randomized controlled trial. *Journal of the Formosan Medical Association*. 2016;115(9):734–743. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfma.2015.07.012>.
37. Lei C, Sunzi K, Dai F, Liu X, Wang Y, Zhang B, et al. Effects of virtual reality rehabilitation training on gait and balance in patients with Parkinson's disease: A systematic review. *PLoS One*. 2019;14(11):e0224819. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0224819>.
38. Iruthayarajah J, McIntyre A, Cotoi A, Macaluso S, Teasell R. The use of virtual reality for balance among individuals with chronic stroke: A systematic review and meta-analysis. *Topics in Stroke Rehabilitation*. 2017; 24(1):68–79. DOI: <https://doi.org/10.1080/10749357.2016.1192361>.
39. Donath L, Rössler R, Faude O. Effects of virtual reality training (exergaming) compared to alternative exercise training and passive control on standing balance and functional mobility in healthy community-dwelling seniors: A meta-analytical review. *Sports Medicine*. 2016;46(9):1293–1309. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0485-1>.
40. Lina C, Guoen C, Huidan W, Yingqing W, Ying C, Xiaochun C, et al. The effect of virtual reality on the ability to perform activities of daily living, balance during gait, and motor function in parkinson disease patients: A systematic review and meta-analysis. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*. 2020; 99(10):917–924. DOI: <https://doi.org/10.1097/PHM.0000000000001447>.
41. Anwar N, Karimi H, Ahmad A, Mumtaz N, Saqulain G, Gilani SA. A novel virtual reality training strategy for poststroke patients: A randomized clinical trial. *Journal of Healthcare Engineering*. 2021;2021:6598726. DOI: <https://doi.org/10.1155/2021/6598726>.
42. Lu Y, Ge Y, Chen W, Xing W, Wei L, Zhang C, et al. The effectiveness of virtual reality for rehabilitation of Parkinson disease: An overview of systematic reviews with meta-analyses. *Systematic Reviews*. 2022; 11(1):50. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13643-022-01924-5>.
43. Lloréns R, Colomer-Font C, Alcañiz M, Noé-Sebastián E. BioTrak virtual reality system: Effectiveness and satisfaction analysis for balance rehabilitation in patients with brain injury. *Neurología (English Edition)*. 2012;28(5):268–275. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nrleng.2012.04.016>.
44. Chen X, Liu F, Lin S, Yu L, Lin R. Effects of virtual reality rehabilitation training on cognitive function and activities of daily living of patients with poststroke cognitive impairment: A systematic review and meta-analysis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2022;103(7):1422–1435. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2022.03.012>.
45. Kang JM, Kim N, Lee SY, Woo SK, Park G, Yeon BK, et al. Effect of cognitive training in fully immersive virtual reality on visuospatial function and frontal-occipital functional connectivity in predementia: Randomized controlled trial. *Journal of Medical Internet Research*. 2021;23(5):e24526. DOI: <https://doi.org/10.2196/24526>.

46. So BP, Lai DK, Cheung DS, Lam WK, Cheung JC, Wong DW. Virtual reality-based immersive rehabilitation for cognitive- and behavioral-impairment-related eating disorders: A VREHAB framework scoping review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022;19(10):5821. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph19105821>.
47. Lombardi J, McCahill MP. Enabling social dimensions of learning through a persistent, unified, massively multi-user, and self-organizing virtual environment. *Proceedings. Second International Conference on Creating, Connecting and Collaborating through Computing, 2004*. 2004:166–172. DOI: <https://doi.org/10.1109/C5.2004.1314386>.
48. Shahmoradi L, Rezayi S. Cognitive rehabilitation in people with autism spectrum disorder: A systematic review of emerging virtual reality-based approaches. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2022; 19(1):91. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12984-022-01069-5>.
49. Romero-Ayuso D, Toledano-González A, Rodríguez-Martínez MdC, Arroyo-Castillo P, Triviño-Juárez JM, González P, et al. Effectiveness of virtual reality-based interventions for children and adolescents with ADHD: A systematic review and meta-analysis. *Children*. 2021;8(2):70. DOI: <https://doi.org/10.3390/children8020070>.
50. Zhu S, Sui Y, Shen Y, Zhu Y, Ali N, Guo C, et al. Effects of virtual reality intervention on cognition and motor function in older adults with mild cognitive impairment or dementia: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Aging Neuroscience*. 2021;13:586999. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnagi.2021.586999>.
51. Chatterjee K, Buchanan A, Cottrell K, Hughes S, Day TW, John NW. Immersive virtual reality for the cognitive rehabilitation of stroke survivors. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*. 2022;30:719–728. DOI: <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2022.3158731>.
52. Bourgeois A, Schnider A, Turri F, Ptak R. Virtual reality in the rehabilitation of cognitive impairment after stroke. *Clinical and Translational Neuroscience*. 2023;7(1):3. DOI: <https://doi.org/10.3390/ctn7010003>.
53. Faria AL, Andrade A, Soares L, I Badia SB. Benefits of virtual reality based cognitive rehabilitation through simulated activities of daily living: A randomized controlled trial with stroke patients. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2016;13(1):96. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12984-016-0204-z>.
54. Galperin I, Mirelman A, Schmitz-Hübsch T, Hsieh KL, Regev K, Karni A, et al. Treadmill training with virtual reality to enhance gait and cognitive function among people with multiple sclerosis: A randomized controlled trial. *Journal of Neurology*. 2023;270(3):1388–1401. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00415-022-11469-1>.
55. Zhang Q, Fu Y, Lu Y. Impact of virtual reality-based therapies on cognition and mental health of stroke patients: Systematic review and meta-analysis. *Journal of Medical Internet Research*. 2021;23(11):e31007. DOI: <https://doi.org/10.2196/31007>.
56. Georgiev DD, Georgieva I, Gong Z, Nanjappan V, Georgiev GV. Virtual reality for neurorehabilitation and cognitive enhancement. *Brain Sciences*. 2021;11(2):221. DOI: <https://doi.org/10.3390/brainsci11020221>.
57. Rogers JM, Duckworth J, Middleton S, Steenbergen B, Wilson PH. Elements virtual rehabilitation improves motor, cognitive, and functional outcomes in adult stroke: Evidence from a randomized controlled pilot study. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2019;16(1):56. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12984-019-0531-y>.
58. Vilageliu-Jordà E, Enseñat-Cantalops A, García-Molina A. Uso de la realidad virtual inmersiva en la rehabilitación cognitiva de pacientes con daño cerebral. Revisión sistemática [Use of immersive virtual reality for cognitive rehabilitation of patients with brain injury]. *Revista de Neurología*. 2022;74(10):331–339. DOI: <https://doi.org/10.33588/rn.7410.2022034>.
59. Optale G, Urgesi C, Busato V, Marin S, Piron L, Priftis K, et al. Controlling memory impairment in elderly adults using virtual reality memory training: A randomized controlled pilot study. *Neurorehabilitation and Neural Repair*. 2010;24(4):348–357. DOI: <https://doi.org/10.1177/1545968309353328>.
60. Yang HL, Chu H, Kao CC, Chiu HL, Tseng IJ, Tseng P, et al. Development and effectiveness of virtual interactive working memory training for older people with mild cognitive impairment: A single-blind randomised controlled trial. *Age Ageing*. 2019;48(4):519–525. DOI: <https://doi.org/10.1093/ageing/afz029>.

Информация об авторах

Артём Александрович Кузнецов  — студент института клинической медицины, Уральский государственный медицинский университет, Екатеринбург, Россия.

E-mail: aleksandrkuznesov@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-0262-7009>

Тимур Сергеевич Петренко — кандидат медицинских наук, доцент, доцент кафедры психиатрии, психотерапии и наркологии, руководитель отдела координации деятельности молодежных научных лабораторий, Уральский государственный медицинский университет, Екатеринбург, Россия.

E-mail: ts.petrenko@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7328-9894>

Information about the authors

Artyom A. Kuznetsov[✉] — Specialist's Degree Student of the Institute of Clinical Medicine, Ural State Medical University (Ekaterinburg, Russia).

E-mail: aleksandrkuznesov@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-0262-7009>

Timur S. Petrenko — Candidate of Sciences (Medicine), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Psychiatry, Psychotherapy and Narcology, Head of the Department for Coordinating the Activities of Youth Scientific Laboratories, Ural State Medical University, Ekaterinburg, Russia.

E-mail: ts.petrenko@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7328-9894>

Рукопись получена: 11 февраля 2024. Одобрена после рецензирования: 15 мая 2024. Принята к публикации: 21 октября 2024.

Received: 11 February 2024. Revised: 15 May 2024. Accepted: 21 October 2024.