

УДК 616.1+004.94

DOI 10.17802/2306-1278-2023-12-4-133-148

ТЕХНОЛОГИИ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ КОГНИТИВНЫХ ФУНКЦИЙ И КАЧЕСТВА ЖИЗНИ: ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ КАРДИОЛОГИЧЕСКИХ ПАЦИЕНТОВ С ИШЕМИЕЙ МОЗГА

О.М. Разумникова¹, О.А. Трубникова²

¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», пр. К. Маркса, 20, Новосибирск, Российская Федерация, 630073; ² Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний», Сосновы бульвар, 6, Кемерово, Российская Федерация, 650002

Основные положения

• Представлен обзор публикаций о программах нейро- и кардиореабилитации с использованием технологий виртуальной реальности. Наиболее эффективной для улучшения качества жизни пациентов с ишемической болезнью сердца представляется тренировка с использованием многозадачности и совмещения когнитивной и физической нагрузки с применением интерактивных сценариев. Для снижения тревожности и стресса может быть перспективна экотерапия в виртуальной среде.

Резюме

В обзоре представлены публикации, посвященные программам нейро- и кардиореабилитации с использованием технологий виртуальной реальности, включающих интеграцию мультисенсорных и мультидоменных заданий, а также результаты публикаций, выполненных как метаанализ таких исследований. Технологии виртуальной реальности позволяют моделировать интерактивные сценарии для имитации активной деятельности с заданными визуальными, тактильными и кинестетическими ощущениями и их коррекцией в соответствии с потребностями различных пользователей. При разработке программ на основе технологий виртуальной реальности необходимо учитывать степень погружения пользователей в виртуальную среду и симптомы возможного возникновения киберболезни. Результаты метаобзоров свидетельствуют о необходимости дальнейших исследований в данном направлении вследствие большого разнообразия программ реабилитации, используемых показателей когнитивных функций и состояния здоровья у привлеченных к тренировке разнородных популяций здоровых лиц и кардиологических пациентов. Для нейро- и кардиореабилитации наиболее эффективной представляется тренировка с использованием многозадачности и совмещения когнитивной и физической нагрузок на основе технологий виртуальной реальности. Для снижения тревожности и стресса может быть перспективна экотерапия в виртуальной среде.

Ключевые слова

Технологии виртуальной реальности • Когнитивный тренинг • Кардиореабилитация • Экотерапия • Внимание • Память • Качество жизни

Поступила в редакцию: 07.08.2023; поступила после доработки: 15.10.2023; принята к печати: 23.11.2023

USE OF VIRTUAL REALITY TECHNOLOGIES TO RESTORE COGNITIVE FUNCTIONS AND QUALITY OF LIFE: AN APPLICATION FOR CARDIAC PATIENTS WITH BRAIN ISCHEMIA

O.M. Razumnikova¹, O.A. Trubnikova²

¹ Novosibirsk State Technical University, 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, Russian Federation, 630073;

² Federal State Budgetary Institution "Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases", 6, Sosnoviy Blvd., Kemerovo, Russian Federation, 650002

Highlights

• We present an overview of publications on neurological and cardiac rehabilitation programs using virtual reality technologies. Training that involves multitasking and combining cognitive and physical tasks

Для корреспонденции: Ольга Михайловна Разумникова, razoum@mail.ru; пр. К. Маркса, 20, Новосибирск, Российская Федерация, 630073

Corresponding author: Olga M. Razumnikova, razoum@mail.ru; address: 20, Prospekt K. Marksa, Novosibirsk, Russian Federation, 630073

with interactive scenarios is most effective in terms of the improvement of the quality of life of patients with coronary artery disease. Ecotherapy in virtual environment is a promising way to reduce anxiety and stress.

Abstract

The review presents the results of publications aimed to using neuro- and cardiac rehabilitation programs by virtual reality technologies (VRT), including the integration of multisensory and multidomain tasks, as well as the results of publications performed as a meta-analysis of such studies. It is shown that VRTs make it possible to simulate interactive scenarios for simulating vigorous activity with given visual, tactile and kinesthetic sensations and with their correction in accordance with the needs of various users. It is noted that when developing programs based on VRT, it is necessary to take into account the degree of immersion of users in the virtual environment and the symptoms of a possible occurrence of virtual reality sickness. The results of meta-reviews of published articles indicate the need to continue research in this direction due to the wide variety of rehabilitation programs, used indicators of cognitive functions and health status in heterogeneous populations of healthy individuals and cardiac patients involved in training. The results obtained allow us to conclude that for neuro- and cardio-rehabilitation, training using multitasking and combining cognitive and physical load based on the use of VRT seems to be the most effective. To reduce anxiety and stress, the direction of ecotherapy in a virtual environment is promising.

Keywords

Virtual reality technologies • Cognitive training • Cardiac rehabilitation • Ecotherapy • Attention • Memory • Quality of life

Received: 07.08.2023; received in revised form: 15.10.2023; accepted: 23.11.2023

Список сокращений

ВР – виртуальная реальность

ТВР – технологии виртуальной реальности

ММД – минимальная мозговая дисфункция

Введение

Когнитивный тренинг с применением технологий виртуальной реальности (ТВР) приобретает все большую популярность в реабилитации лиц с когнитивным дефицитом. Эта технология продолжает развиваться направление реализации когнитивных резервов, основанное на доказательствах пластичности функциональных нейронных систем головного мозга, которая стимулируется вследствие применения компьютеризированных тренировок отдельных когнитивных функций и их комплексов, а также интерактивных видеоигр и объединения умственных и физических упражнений [1–4].

Исследования эффективности когнитивных тренировок здоровых пожилых людей и пациентов с когнитивной дисфункцией разного генеза часто свидетельствуют о положительном результате тренинга [5–8], хотя остаются вопросы о величине, временной динамике сохранения полученных эффектов и их универсальности, если обучение касается отдельных когнитивных функций: исполнительных, рабочей памяти и / или скорости ментальных процессов – или выполняется комплекс разных задач [1, 9, 10].

Иммерсивная среда создает особые условия для мультисенсорного обучения, кооперации сенсорных и моторных компонентов деятельности, а также

коррекции эмоциональной регуляции когнитивных процессов [11–15]. Такую мультисенсорную и мультидоменную стимуляцию когнитивных функций обеспечивают не только специально разработанные сценарии погружения в ВР, но и коммерческие видеоигры с применением ТВР для развития внимания, памяти, пространственной ориентации, стратегий решения проблем и гибкости мышления [16]. Однако пожилые люди осваивают информационные технологии небыстро вследствие недостаточного опыта использования и часто встречающегося нежелания заниматься новой деятельностью, особенно если успех заметен не сразу.

В отличие от 2D-формата интерфейса человек – компьютер, иммерсивная 3D-среда позволяет моделировать интерактивные сценарии, чтобы создать имитацию активной деятельности с соответствующими визуальными, тактильными и кинестетическими ощущениями. Использование систем ВР дает возможность выполнять задания в адаптивной среде с коррекцией в соответствии с потребностями различных пользователей [16–20]. Использование ТВР для когнитивных тренировок может повысить интерес к этому виду деятельности, так как до сих пор недостаточно данных об эффективном применении компьютеризированных программ для активации когнитивных резервов в разных популяциях [21–23].

В кардиореабилитации основой профилактики сердечно-сосудистых заболеваний признается физическая активность, в том числе структурированные аэробные упражнения, с целью сокращения повторных госпитализаций и повышения качества жизни пациентов. ТВР могут создать привлекательную иммерсивную среду для экзергейминга (т. е. физически активных видеоигр), обеспечивающего кардиометаболические реакции и мотивацию тренировочной деятельности пациентов [23–25]. При выполнении сердечно-легочных нагрузочных упражнений в виртуальной среде возможен дискомфорт пациента, так как гарнитуры закрывают глаза, нос и большую часть лица. Упростить позиционирование в трехмерном пространстве, чтобы пользователи чувствовали себя погруженными в среду для активной деятельности, позволяют технологии, встроенные в консоли, в том числе датчики движения (гироскопы и акселерометры), давления или GPS.

Еще одной причиной дискомфорта при погружении в ВР может быть виртуальная болезнь, или киберболезнь, с симптомами укачивания, усталости глаз, дезориентации и тошноты [26]. В формировании киберболезни выделяют три основных фактора: аппаратное обеспечение, предьявленный контент и человеческий фактор, представляющий индивидуальные особенности в координации зрительной системы и вестибулярного аппарата, а также глубину погружения в виртуальную реальность.

Цель обзора – освещение основных направлений в разработке программ ВР и их результативности в восстановлении когнитивных функций и качества жизни пожилых людей, в том числе пациентов с разными формами деменции или сердечно-сосудистыми заболеваниями.

Возможности технологий виртуальной реальности в нейро- и кардиореабилитации согласно метаанализам

ТВР рассматриваются как более приближенные к реальности в сравнении с широко распространенными компьютеризированными тренировками когнитивных функций в формате 2D. В метаобзоре эффективности компьютеризированной когнитивной тренировки 2015 г. представлено только 3 работы с применением ТВР из 16 отобранных, направленных на улучшение когнитивных функций пожилых людей (76±4 лет), у большинства из которых диагностирована минимальная мозговая дисфункция (ММД) или болезнь Альцгеймера [27]. В двух из них ТВР использована для улучшения памяти, а в третьей – для имитации активной деятельности на кухне. Согласно сделанному авторами заключению развитие ТВР для когнитивного тренинга открывает новые возможности для создания программ нейрореабилитации, приближенных к жизни, в том

числе с возможностью деятельности в иммерсивной среде с физической нагрузкой.

В обзоре публикаций 2009–2020 гг., посвященных применению ТВР для повышения качества жизни пожилых людей, выявили 57 исследований с применением экзергейминга и иммерсивной среды или дополненной реальности, тематика которых охватывала преимущественно физическое (n = 32) и когнитивное (n = 26) (чаще с тренировкой баланса и внимания) и реже психическое (n = 12) и социальное (n = 5) благополучие [28]. Для тренировки чаще использованы игры ТВР и системы дополненной реальности, а для реабилитации – игры и системы ТВР. Вывода об оптимизации характеристик программы воздействия сделать не удалось вследствие большого разнообразия показателей когнитивно-эмоционального статуса, параметров тренировки и характеристик участников исследований.

Согласно систематическому анализу специфики тренируемых когнитивных функций при ТВР показал, что по три игры направлены на восстановление внимания и памяти, по две – решению проблем, пространственной ориентации, моторным и информационным процессам, одна – гибкости мышления [16].

Результаты 10 публикаций с ключевыми словами *memory rehabilitation*, *virtual reality*, *memory deficit* свидетельствуют о потенциально положительном воздействии ТВР на восстановление памяти, хотя в зависимости от контрольного условия эффект варьирует от большого до малого или полного отсутствия [29].

Систематический поиск публикаций с терминами *immersive virtual reality* и *cognitive rehabilitation / neuropsychological rehabilitation* выявил 223 работы, из которых только 16 содержали количественный анализ данных [30]. ТВР часто применяются как инструмент реабилитации лиц с неврологическими расстройствами (инсульт, черепно-мозговая травма, болезнь Альцгеймера или ММД) или пожилых людей. Среди сценариев ТВР рассмотрены действия в повседневной жизни (приготовление еды, взаимодействие в виртуальном магазине, выполнение утренней гигиены и т. д.), поиск пути и навигация, игра в карты, рыбалка и др.; для тренировки релаксации использованы сцены с природой. Сделаны выводы об улучшении разных когнитивных функций: внимания (n = 6), исполнительных функций (n = 3), памяти (n = 5) и навыков навигации (n = 1), а также об усилении управления стрессом и эффекте релаксации. Большинство участников исследований успешно выполнили тренировочные задания и не сообщали о проблемах с вестибулярным аппаратом и укачивании при погружении в виртуальную реальность.

В систематическом обзоре о применении ТВР в кардиореабилитации на основе 6 из 464 статей, выбранных для анализа вначале, сделано заключение

об улучшении психического и физического состояния пациентов по сравнению со стандартными программами [31]. При этом отмечены разнородность результатов, сложность и стоимость аппаратуры, что препятствует ее широкому применению, а также негативное отношение пациентов к предлагаемой тренировочной нагрузке.

Метаанализ 10 статей, содержащих данные о ТВР в кардиореабилитации, также показал большую разнородность как популяций, так и технологий и протоколов воздействия [32]. В большинстве исследований сообщалось об увеличении частоты сердечных сокращений и физической активности, уменьшении боли и улучшении мотивации поддержания здоровья. ТВР и видеоигры можно рассматривать как дополняющие друг друга средства развития физической культуры у пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями на разных этапах кардиореабилитации. Требуется продолжение исследований для определения технологических систем, целевых групп и четких протоколов для изучения эффектов ТВР в кратко-, средне- и долгосрочной оценках.

Согласно еще одному метаанализу исследований о применении ТВР в кардиологической реабилитации, наряду с повышением переносимости физических нагрузок, снижением эмоционального напряжения, депрессии и интрапсихического стресса, улучшением качества жизни, тревожность, общий стресс, содержание холестерина, липопротеинов или триглицеридов пока неопределены [33].

Технологии виртуальной реальности для реабилитации лиц с послеоперационным когнитивным дефицитом

Когнитивный дефицит часто развивается после коронарного шунтирования, однако удалось найти только 2 работы с применением ТВР для этой группы пациентов [34, 35]. Интеграция ТВР и физической тренировки сердечно-сосудистой системы показала большую эффективность такого воздействия на потребление кислорода, чем это было отмечено в контрольной группе (КГ) с применением стандартной кардиологической программы реабилитации [34] (*таблица*). В другом исследовании измеряли максимальное расстояние, которое пациент может пройти за 6 мин, как часть двигательных упражнений общепринятой программы реабилитации после коронарного шунтирования. Экспериментальная группа выполняла эту нагрузку с использованием ВР, контрольная – в реальной среде [35] (*таблица*). Пациенты экспериментальной группы характеризовались лучшими моторными функциями, особенно в первый послеоперационный день, меньшими показателями по шкалам боли и энергозатрат при тестировании самооценки качества жизни, а также более крат-

ким сроком госпитализации в сравнении с контрольной группой.

Так как сердечно-сосудистые заболевания являются основной причиной смертности населения в технологически развитых странах и сопровождаются атеросклерозом и ишемией головного мозга [36, 37], профилактика когнитивного дефицита или послеоперационная нейрореабилитация кардиологических пациентов – актуальная проблема медицины и психотехники.

В связи с частым когнитивным дефицитом после коронарного шунтирования, широко используемого для лечения ишемической болезни сердца [38], важно рассмотреть содержание программ ТВР и результаты восстановления функций селекции информации, памяти и эмоциональной регуляции. Известно, что 23–50% пациентов с сердечной недостаточностью имеют нарушения памяти и 15–27% – нарушения внимания [39, 40]. Эти данные и отмеченная связь когнитивной дисфункции с повышением смертности пациентов [37] определяют актуальность исследования механизмов развития и способов компенсации когнитивных нарушений.

Технологии виртуальной реальности для восстановления внимания, памяти и исполнительного контроля поведения

ТВР применяются для восстановления внимания, памяти и исполнительного контроля поведения из-за нарушений этих функций в пожилом возрасте и развития минимальных мозговых дисфункций (ММД) или болезни Альцгеймера [7, 9, 41–43]. Возраст является фактором, способствующим развитию послеоперационной когнитивной дисфункции [44]. В связи с этим следует остановиться на сведениях об улучшении когнитивных функций с использованием ТВР у пожилых лиц, захватывая предметное состояние, и программ тренировки с сочетанием умственной и физической нагрузок при кардиологической реабилитации.

В одном из ранних исследований когнитивной тренировки на основе ТВР 36 пациентов дома престарелых (средний возраст 80 лет) с нарушением запоминания вербальной истории случайным образом разделили на 2 группы. Экспериментальная группа выполняла 6-месячную тренировку памяти, которая включала слуховую стимуляцию и запоминание пройденного пути в ситуации ВР [45] (*таблица*). Начальный этап обучения длился 3 мес. (3 сеанса слуховой стимуляции: прослушивание историй через наушники, сопровождаемых музыкальным фоном, и 3 сеанса прохождения пути в ВР каждые 2 нед., причем в случае ошибки участник автоматически переносился обратно в точку, непосредственно предшествовавшую ошибке). В течение следующих 3 мес. выполняли более отсроченные задания (1 сеанс на слух и 1 сеанс ВР в 1 нед.).

Контрольную группу тренировали с использованием музыкальной терапии. Согласно нейропсихологической и функциональной оценкам исходно, после начальной и дополнительной тренировок, память улучшалась в экспериментальной группе и снижалась в контрольной.

В другом исследовании тренировки пространственной навигации и зрительно-пространственной памяти рассмотрены эффекты ориентации при езде на велосипеде в виртуальном парке с разными формами подсказок пути или на основе запомненных объектов [46]. Использованы 3 разные опросника для самооценки степени укачивания при погружении в ВР и опросники стресса и настроения. Слабо выраженное укачивание и отмеченное испытуемыми повышение возбуждения при снижении самооценки стресса не зависели от возраста, но точность навигации была выше у молодых, чем пожилых участников (*таблица*).

Энторинальная кора – одна из первых областей, в которой проявляется нейродегенерация при болезни Альцгеймера, поэтому для определения ее дисфункции выполнено исследование навигации пути в ВР в группах с легкими когнитивными нарушениями и контроля [47] (*таблица*). Поведенческие характеристики запоминания пути коррелировали с измерениями объема энторинальной коры по данным магнитно-резонансной томографии, а точность выполнения задачи соответствовала биомаркерам, специфичным разным стадиям болезни Альцгеймера.

Исследование влияния иммерсивной игровой среды на исполнительные функции и гибкость мышления выполнено при сравнении их показателей после тренировки пожилых людей с применением игры Fruit Ninja в форматах 2D и 3D [43] (*таблица*). Игроки двигали руками и кистями, чтобы размахивать виртуальными мечами для нарезания фруктов. В неиммерсивном состоянии участники использовали 27-дюймовый монитор и контроллер Kinect с отслеживанием движения в игре. Эффект погружения в ВР отмечен уже после первой тренировки, однако психометрические показатели при выполнении задачи Струпа и прокладывании пути, но не рабочей памяти, оцениваемой на основе запоминания чисел, значительно улучшились только после 4-недельной тренировки. Отсутствие значимого эффекта для памяти авторы связывают с недостаточным временем обучения либо с тем, что содержание тренировки не включало использование числовой памяти. Следовательно, иммерсивные технологии могут способствовать нейропластичности и усиливать когнитивные резервы для выбранной предметной области.

Игровая система GRANDYS, включающая модули ВР: внимания, памяти, вербальных функций и зрительно-пространственной обработки инфор-

мации – использована для когнитивного тренинга здоровых пожилых людей и имеющих легкие когнитивные нарушения [48] (*таблица*). Тренировку в течение 45–60 мин выполняли с очками Oculus Rift, пультом управления DK2 и Vbox 6DOF. По результатам выполненной тренировки сделано заключение об эффективности программы для здоровых пожилых, а в группе с легкой деменцией, несмотря на улучшение когнитивных функций, предложено продолжить исследование ввиду немногочисленной выборки пациентов.

Нарушение исполнительных функций возникает при старении и поражении мозга. Виртуальная среда создает возможность тренировки исполнительного контроля обычных дел, требующих кратковременной памяти и концентрации внимания для реализации последовательности поведенческих операций, например покупки товаров в магазине или приготовления пищи. Для комплексной стимуляции исполнительных функций с использованием ТВР разработан ряд сценариев, имитирующих покупки в супермаркете по заданному списку; работу в офисе, требующую социального взаимодействия; деятельность на кухне по инструкции, для выполнения которой следует планировать и контролировать промежуточные операции [49].

Примером бытовой тренировки исполнительных функций является игра с приготовлением блюд согласно заданным рецептам (пицца, йогуртовый торт, куриная грудка в сливочном соусе и запеченный лосось) [50]. В зависимости от сценария количество объектов варьировало от 5 до 7, количество действий при планировании – от 5 до 8, а количество практик – от 7 до 13. Психическое состояние участников игры, среди которых были пациенты с ММД и болезнью Альцгеймера, оценено по опросникам: удовлетворение от игры, интерес, внутренняя и внешняя мотивация, испытанные эмоции и усталость (*таблица*). Показателями гнозиса, исполнительных функций и праксиса было время, затраченное на соответствующие операции в ходе игры. Пациенты с болезнью Альцгеймера характеризовались более низкими показателями по всем нейропсихологическим методикам, и их улучшение в результате тренировки менее выражено, особенно по показателям исполнительных функций и праксиса, чем у пациентов с ММД. При этом все участники тренировки на кухне в ВР отметили повышение интереса к данному виду деятельности. Положительный фактор эффективности такой тренировки – игровой опыт участников [50].

ТВР для определения эпизодической памяти показали валидность при сравнении с традиционным способом тестирования, при этом отмечены высокий уровень присутствия, мотивации и незначительные симптомы киберболезни для ВР в сравнении с группой контроля [51, 52] (*таблица*). В этих

исследованиях использована одна и та же методика с запоминанием каждого из 12 объектов, визуально представленных вместе с названием предмета под изображением в течение 5 с, шумная обстановка в магазине имитирована нерелевантными разговорами. После презентации последнего предмета программа инициировала 20-секундный разговор между кассиром и участником исследования. В ситуации воспроизведения следовало отметить 12 целевых объектов, которые подавались вместе с 12 дистракторами, на полках магазина. Для самооценки степени присутствия в VR, мотивации деятельности и симптомов киберболезни использовали соответствующие опросники.

Запоминание в молодом возрасте лучше, чем пожилым, сохранялось в VR в эксперименте и контроле, но для пожилых характерна более тесная связь показателей памяти и шкал опросника присутствия в VR, а также более высокая мотивация деятельности в ситуации VR, чем для молодых [51].

Лучшие показатели в молодой группе сохранялись вне зависимости от формата предъявления информации [51, 52]. Задача «Виртуальный магазин» имеет большой потенциал для оценки когнитивных функций у лиц, страдающих легкими нарушениями памяти, и эффективность запоминания коррелирует с показателями, отражающими скорость обработки информации, и самооценкой памяти в реальности [52].

Сценарий виртуального супермаркета характеризуется хорошей оценкой юзабилити [53] и является лучшим инструментом для диагностики когнитивных нарушений по сравнению с Монреальским когнитивным тестом (MoCA) и Краткой шкалой оценки психического статуса (MMSE)[54].

На электроэнцефалографии в условиях виртуального супермаркета выявлена повышенная мощность альфа-, бета-, дельта- и тета-ритмов, а также тета-био-потенциалов в группе с диагностированной ММД в сравнении с группой пожилых людей с субъективно оцененным когнитивным дефицитом [55] (*таблица*). Альфа-, бета-, дельта- и тета-ритмы положительно коррелировали со средней продолжительностью игры, а дельта-ритм – со средним показателем ошибок. Это указывает на связь повышения амплитуды электроэнцефалографии с общим снижением когнитивных функций при ММД [55].

Для тренировки внимания, скорости реакции и кратковременной памяти исследованы возможности игры Nesplora Aquarium с погружением в виртуальную среду наблюдений за обитателями аквариума [56]. Правила ответа на стимулы изменялись при выполнении разных заданий. Пользователям предлагалось реагировать каждый раз, когда они видели или слышали название определенной рыбы (например, рыба-клоун), но только в том случае, если ра-

нее отмечен (пойман) другой вид рыбы (например, рыба-хирург). Селекция стимулов усложнялась за счет введения множества различных отвлекающих факторов (слуховых и зрительных) отдельно или одновременно. К визуальным отвлекающим факторам относились люди, идущие перед аквариумом, и другие животные в аквариуме (например, черепахи), а к слуховым – приглашение на кофе, плач ребенка, предупреждение не использовать вспышку. В окончательной версии игры использован интервал в 500 мс для зрительных стимулов, 770 мс для слуховых стимулов с псевдорандомизированным интервалом между стимулами в 1500 и 2000 мс. Для определения влияния тренировки применяли батарею нейропсихологических методик оценки разных показателей внимания и памяти (поддерживающего внимания, тесты Струпа и Корси и др.), а также MoCA и опросники юзабилити, степени присутствия в VR и эффекта укачивания. Среди участников игры были лица с разной степенью тревожности и депрессии (*таблица*). Анализ нейропсихологических показателей выявил улучшение внимания и тормозных функций под воздействием игры Nesplora Aquarium, которые в свою очередь связаны с выраженностью симптомов тревожности и депрессии, что указывает на потенциальную эффективность метода для психологической реабилитации эмоционального состояния [56].

Технологии виртуальной реальности для повышения стрессоустойчивости и эффективности эмоциональной регуляции

Пребывание в природной среде и наблюдение за природным ландшафтом вызывают релаксацию, улучшение настроения, снижение стресс-реактивности и симптомов депрессии, повышение эффективности селекции информации [57]. Так как многие пожилые люди, в том числе с сердечной недостаточностью, низко мобильны и отличаются хронической усталостью, совершать прогулки на природе для них проблематично. В качестве экотерапии предложено мультисенсорное воздействие природной среды в формате 3D, оказывающее положительное влияние на эмоциональное состояние [58] (*таблица*).

Так, например, в недавнем исследовании определяли восстанавливающее воздействие сцен природы в формате 3D (Nature-VR) на внимание и качество жизни, по сравнению с контрольной группой, которой предъявляли картины городской среды (Urban-VR) [39]. Оценивать результаты планировали на основе интервьюирования состояния сразу после тренировки и спустя 4, 8, 26 и 52 нед. после воздействия Nature-VR (*таблица*). Авторы предложили изучить ассоциации между вниманием и несколькими потенциальными биомаркерами сердечной недостаточности: насыщением кислоро-

дом, мозговым нейротрофическим фактором, апо-липопротеином E, дофаминовыми рецепторами и генами – переносчиками дофамина, – а также расширить исследование влияния Nature-VR на другие когнитивные функции: исполнительные, зрительно-пространственные, речевые и память.

Мультидоменные программы тренировки когнитивных и моторных функций с использованием технологий виртуальной реальности

Хотя об эффективности мультисенсорной и мультидоменной тренировки упоминалось выше, в данной главе представлены работы, в которых описаны программы целенаправленной интеграции разных заданий в виртуальную среду.

Так, пилотное исследование о совмещении физической и требуемой для повседневной деятельности когнитивной активностей включало 3 сценария в 3D: езду на велосипеде в виртуальном парке, переход через дорогу и покупку продуктов в супермаркете [59] (*таблица*). Перед обучающей программой проведено занятие для знакомства с ТВР и адаптации к предлагаемой деятельности. Сценарий виртуального парка включал природные звуки, например щебет птиц и ветер, а также обратную связь для регуляции физического напряжения на основе сообщений о скорости езды на велосипеде и частоте сердечных сокращений. В рамках второго сценария пользователь на велоэргометре должен был пересечь несколько перекрестков с пробками, остановиться на краю тротуара и проверить, безопасен ли маршрут рядом с автомобилями, которые генерировались случайным образом и двигались с разной скоростью. Третья виртуальная среда представляла супермаркет, перед входом пользователю показан список из 5 продуктовых позиций, которые следует купить. Для покупки нужно пройти к полкам, а затем выбрать товар. Задача усложнялась усилением требований к вниманию и зрительно-пространственному ориентированию за счет введения дистракторов: повышения сходства товаров и их размещения на полке. Если пользователь совершал ошибку или не реагировал в установленное время, система давала подсказку для перехода к следующему заданию.

Батарея нейропсихологических тестов в этом исследовании включала скрининг с MMSE и расширенную оценку когнитивных способностей: эпизодической вербальной памяти, зрительно-пространственных и исполнительных функций, зрительно-моторной координации, смены установок и умственной гибкости, а также оценку окислительного стресса (производство активных форм кислорода и окислительного повреждения липидов и дезоксирибонуклеиновой кислоты). Положительный эффект тренировки в экспериментальной группе (исполнительные функции, память и беглость

речи) не достиг значимого уровня в сравнении с контрольной группой, что ожидаемо вследствие малой выборки и значительного индивидуального разброса параметров (*таблица*). Разработанную программу предложено применить для большего числа пациентов с когнитивным дефицитом [59].

Другая мультидоменная программа когнитивного обучения с применением VR включала несколько игр, которые позволяли оценить внимание (найти различия), исполнительные функции и память (решить задачи с выбором требуемых элементов), рабочую память и способность математических расчетов (подготовить точную сумму денег), зрительно-пространственное ориентирование (найти путь с помощью заученной карты), зрительно-пространственную функцию (расположить мебель по запомненному рисунку), вербальную память (запомнить определенные слова), зрительную память (запомнить определенные флаги и символы), скорость обработки информации и оперативную память (ловить животных в определенном порядке) [2]. В исследовании участвовали пожилые люди, посещавшие клинику вследствие субъективной оценки нарушения памяти, имеющие средний показатель 26 баллов по краткой шкале оценки психического статуса и снижение более чем на 1,5 SD в сравнении с возрастными критериями внимания, памяти, речевых, зрительно-пространственных и исполнительных функций (*таблица*). Наряду с улучшением психиатрических симптомов (апатии, аффекта и качества жизни) в результате тренировки отмечено более эффективное выполнение копирования сложных фигур, которое сопровождалось увеличением лобно-затылочных функциональных связей, выявленных с помощью функциональной магнитно-резонансной томографии, в экспериментальной группе по сравнению с контрольной. У других когнитивных функций не было значимого улучшения, что обусловлено недостаточным временем тренировки (около 4 ч в течение 1 мес.) [2].

Другая экологически валидная программа когнитивной тренировки в формате 3D включала задачи на внимание (выбор ингредиентов для выпечки торта), рабочую (покупка в продуктовом магазине) и слуховую память (слушание и запоминание новостей по телевизору) и исполнительные функции (выбор подходящей одежды, расстановка обуви в шкафу), сложность которых возрастала в ходе повторяющихся сессий [42] (*таблица*). Для определения психометрических показателей когнитивного статуса использовали Монреальский когнитивный тест, батарею лобных оценок, набор из 6 субтестов исполнительных функций, Висконсинский тест сортировки карточек, для оценки зрительно-конструктивных способностей – комплексную фигуру Рея. Значимое увеличение показателей отмечено для зрительной памяти (у 90% участников), а вни-

мания и когнитивной гибкости более чем у 70%, причем улучшение было выше у тех, кто продемонстрировал более низкий исходный уровень когнитивных способностей.

Продолжение исследования когнитивной тренировки с применением ТВР этих же авторов, но у другой экспериментальной группы пожилых людей, сравниваемой с контрольной, выполнявшей когнитивные задания на бумаге, продемонстрировало положительные результаты по параметрам общего познания, исполнительного функционирования, внимания и зрительной памяти в группе ВР [41] (*таблица*). Улучшение исполнительных функций подтверждалось увеличением показателей внимания при небольшом эффекте памяти. Предложена дальнейшая проверка распространения эффектов на благополучие и функциональность пожилых людей с когнитивными нарушениями.

Применение виртуальной среды расширяет возможности интеграции физической и умственной активностей и мотивации реабилитационной тренировки у пожилых людей, в том числе с сердечно-сосудистыми заболеваниями. Этот эффект достигается за счет симуляции активной игровой среды (экзергейминг) с использованием разных физических упражнений (например, сценарий игры Nintendo Wii Fit включает футбол, прыжки с трамплина, лыжный слалом, полосу препятствий и др.) и возможностей телемониторирования состояния организма (частота сердечных сокращений, потребление кислорода и т. п.) в процессе тренировки с целью достижения лучшего результата [31, 60].

Обзор результативности активных видеоигр в кардиологической реабилитации свидетельствует о потенциальной эффективности, однако без статистических доказательств согласно метаанализу [61]. В 6 из 21 работы исследовано применение Nintendo Wii Sports, а в 4 – игры Wii Fit, среди которых встречались танцевальная площадка, периферийные устройства для имитации группы или измерительный ручной контроллер. Отмечен широкий временной диапазон тренировки: 25–60 мин в течение 6–12 нед. при слабой или средней физической нагрузке [61]. По данным полуструктурированного интервьюирования пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями, при использовании платформы Nintendo Wii Sports, включающей имитацию в домашних условиях бокса, боулинга, тенниса, гольфа и баскетбола, выбор игр для тренировки зависел от предпочитаемого в стране спорта, а дополнительными мотиваторами являются плохая погода и социальная активность, например занятия с семьей [62] (*таблица*).

Авторы обзора об эффективности экзергейминга делают заключение о большой гетерогенности результатов, обусловленной разными выборками (здоровые пожилые, пациенты с инсультами или

болезнью Альцгеймера), разными программами тренинга и разными способами оценки физического и психического состояния участников. Статистически значимый положительный результат экзергейминга для качества жизни отмечен в 3 из 9 работ, выбранных из 213 по критерию количественного анализа параметров. Разнообразие программ иллюстрируется тем, что продолжительность тренировки изменялась от 20 до 100 мин в сессию, от 2 до 7 дней в 1 нед. и от 3 до 12 нед. Эффективность экзергейминга была выше в реабилитационных центрах, чем домашних условиях, что указывает на важность социальной поддержки и обусловленной ею мотивации тренировок [31].

Выводы другого обзора о экзергейминге, в сравнении со стандартной программой реабилитации кардиологических пациентов, также указывают на большое разнообразие эффектов при слабом положительном, но статистически незначимом улучшении качества жизни и мотивации реабилитации [63].

Экзергейминг в виртуальном гимнастическом зале использован для сравнения физической активности и качества жизни в экспериментальной и контрольной группах (средний возраст 85 лет), посещавших занятия по трудовой терапии и тренировке памяти в центре для пожилых [24] (*таблица*). Предварительно для адаптации к ВР участники исследования знакомились с иммерсивной природной средой (игры The Blue: наблюдение за морским дном и Steam VR Home: изображение горного пейзажа из окон дома). Затем каждый выполнял индивидуально подобранные психотерапевтом упражнения для тренировки скорости реакции, в том числе на неожиданные стимулы, визуально-моторной координации и кардиоваскулярной нагрузки. Экспериментальная группа при отсутствии симптомов киберболезни отличалась от контрольной лучшими показателями тестирования баланса, походки и рукопожатия. Самооценка качества жизни и отношение к предложенным занятиям (более 80% участников отметили положительный опыт тренировки и желание рекомендовать ее другим пожилым людям) свидетельствуют о потенциальной пользе иммерсивной виртуальной среды для поддержания физического и психического здоровья лиц с ограниченными возможностями активной деятельности вследствие возраста или болезни.

Анализ результатов прогулки в виртуальной среде города для групп молодых, пожилых и с болезнью Паркинсона не выявил генерализованных межгрупповых эффектов по опросникам тошноты (при ее отсутствии) или стресса (снижение в условиях ВР) и показал устойчивое сохранение статического и динамического баланса [19] (*таблица*). Пациенты отметили большую в конце прогулки эмоциональную активацию при сравнительно более высокой оценке тошноты. Применение ВР без-

опасно для тренировки ходьбы как среди здоровых пожилых, так и при нарушении моторных функций.

Специальная система упражнений, направленных на повышение кардиореспираторной и мышечной выносливости и / или силы и гибкости конечностей, реализована в программе Kinect-RehabPlay, которую выполняли в течение 6 мес. в домашних условиях. Улучшены исполнительные функции, в частности в избирательном внимании, и способность разрешать конфликт поступающей информации (тест Струпа) у пациентов с ишемической болезнью сердца, использующих ВР (экспериментальная группа) по сравнению с другими группами кардиореабилитации [64] (таблица). Показатели стресса, депрессии и качества жизни в трех исследованных группах значимо не различались.

Эффективность многозадачного поведения, реализация которого требует контролировать достижение нескольких целей, линейно снижается в возрасте от 20 до 79 лет [65]. Играя в версию NeuroRacer (игра позволяет оценить перцептивную способность к различению знаков (знаковая задача) с одновременным заданием на зрительно-моторное отслеживание (вождение автомобиля по извилистой дороге)), пожилые люди снизили затраты на выполнение многозадачности, достигнув уровней выше, чем у нетренированных 20-летних (таблица). Этот эффект сопровождался повышением мощности лобного тета-ритма и его когерентности с биоэлектрическими потенциалами в задних участках коры, что указыва-

ет на улучшение нейрофизиологических коррелятов внимания как отражения лучшей реализации способности управлять транспортным средством. Улучшение деятельности распространилось на нетренированные способности когнитивного контроля (устойчивое внимание и рабочую память), и эффект улучшения многозадачности сохранялся через 6 мес. Эти результаты подчеркивают пластичность префронтальной системы когнитивного контроля при старении мозга и доказывают, что специально разработанная видеоигра может служить не только для улучшения когнитивных функций, но и оценки возрастных изменений, а также нейронных механизмов в основе когнитивных способностей.

Сочетание тренировки двигательной и умственной активности в ВР (экспериментальная группа) и традиционном режиме (контрольная группа) использовалось для улучшения исполнительных функций пожилых людей с ММД [66] (таблица). Задания выполнялись во время однозадачной ходьбы, при ходьбе с последовательным вычитанием (когнитивная двойная задача) и с переноской лотка (двигательная двойная задача). Для оценки параметров походки, включая скорость, длину и частоту шагов использовалась система GAIT Up. Обе группы показали значительное улучшение при выполнении теста Струпа, вербального, однозадачного и двигательного двухзадачного тестов. Однако в экспериментальной группе эффективность когнитивной двойной задачи и распределения внимания при выполнении теста пути была выше.

Основные характеристики и результаты применения технологий виртуальной реальности для тренировки лиц с когнитивным дефицитом

The main characteristics of VR technologies and the results of their application for training the subjects with cognitive deficits

TBP / VRT	Характеристика участников / Characteristics of participants	Режим тренировки / Training mode	Изменение когнитивных функций / Changes in cognitive functions	Литературный источник / Reference
Память, внимание и исполнительный контроль / Memory, attention and executive control				
Запоминание пути и объектов, расположенных по ходу движения в ВР / VR scenario for remembering the path and objects located along the route	15 в ЭГ и 16 в КГ (средний возраст 80 лет) / 15 in the EG and 16 in the CG (mean age 80 years)	6 мес. с разным режимом тренировки / 6 months with different training regimens	Улучшение памяти, особенно в отсроченном воспроизведении / Improved memory, especially delayed recall	[45]
Трехмерная видеоигра NeuroRacer / 3D video game NeuroRacer	46 пожилых (60–85 лет, 67,1±4,2 года; 33 мужчины) / 46 elderly patients (60 to 85 years, 67.1±4.2 years; 33 men)	1 ч в день, 3 раза в нед. в течение 4 нед. (всего 12 ч) / 1 hour per day, 3 times a week for 4 weeks (total 12 hours of training)	Повышение когнитивного контроля для успешной реализации многозадачности / Enhancing cognitive control for successful multitasking	[65]
Навигация в ВР / Navigation in VR	41 здоровый пожилой (69,3±7,5, 15 мужчин; MMSE 29,7±0,6) / 45 пациентов с ММД (71,7±8,3, 12 мужчин; MMSE 27,9±1,7) / 41 healthy elderly men (69.3±7.5, 15 men; MMSE 29.7±0.6) / 45 patients with MCD (71.7±8.3, 12 men; MMSE 27.9±1.7)	По 9 испытаний в каждой из 3 сред с разными условиями при возвращении: без изменений в окружающей среде и с удалением пограничных сигналов или деталей поверхности / 9 trials in each of three environments with different conditions upon return: no change in environment and removing boundary signals or surface features	Количество ошибок при навигации позволяло дифференцировать пациентов с ММД и коррелировало с объемом энторинальной коры / The number of errors made during navigation correlated with the volume of the entorhinal cortex and made it possible to differentiate patients with MCD	[47]
Мультидоменное когнитивное обучение в иммерсивной среде / Multi-domain cognitive training in an immersive environment	23 в ЭГ и 18 в КГ (старше 60 лет, средний возраст 75 лет, 71% женщин) с субъективным снижением когнитивных функций или легкими когнитивными нарушениями / 23 in the EG and 18 in the CG Participants over 60 years of age (mean age 75 years), predominantly women (71%), with subjective cognitive decline or mild cognitive impairment	20–30 мин 2 раза в 1 нед. в течение 1 мес. с постепенным увеличением сложности заданий / Twice a week 20–30 minutes for 1 month with a gradual increase in the complexity of tasks	Улучшение психиатрических симптомов: апатии, аффекта и качества жизни, а также копирования сложных фигур Рея – Остеррейха / Improvement of psychiatric symptoms: apathy, affect and quality of life, as well as copying complex Rey-Osterreich figures	[2]

Тренировка когнитивных функций в бытовых условиях / Training cognitive functions in domestic conditions				
Виртуальный магазин / Virtual shop	20 молодых (21,7±2,5 года, 13 женщин), 19 пожилых (68±5 лет, 15 женщин) 35 с субъективным когнитивным снижением (67,2±7,9, 29 женщин, MoCA 27,7±1,7) / 20 young (13 women, 21,7±2,5) 19 elderly (15 women, 68±5) 35 with subjective cognitive decline (29 women, 67,2±7,9; MoCA 27,7±1,7)	Запоминание 12 виртуально представленных предметов по сравнению с традиционным запоминанием списка слов / Remembering 12 virtually presented items compared to traditional word list memorization	Более высокий уровень присутствия, мотивации и незначительные симптомы киберболезни для ситуации ВР в сравнении с контролем / Higher levels of presence, motivation and minor symptoms of cybersickness in the VR compared to the control	[52]
	57 пожилых (68±7 лет, 47 женщин) и 20 молодых (22±2 года, 13 женщин) / 57 elderly patients (68±7 years, 47 women) and 20 young (22±2 years, 13 women)			[51]
Виртуальный магазин / Virtual shop	43 пожилых (65,6±4,4 года, 34 женщины; MoCA 29±1; MMSE 29±1) в КГ, 33 с ММД (66,8±5,0 лет, 13 женщин; MoCA 25±3; MMSE 28±2) в ЭГ / CG; 43 elderly patients (65,6±4,4 years, 34 women; MoCA 29±1; MMSE 29±1) and 33 with MMD (66,8±5,0 years, 13 women; MoCA 25±3; MMSE 28±2)	После интерактивной тренировки 3 тестовых сессии общей длительностью 30–45 мин: анализ траектории, оценка эффектов практики, допущенные ошибки и время, необходимое для каждого тестового испытания / After interactive training, 3 test sessions with a total duration of 30–45 minutes were conducted, which includes the analysis of the trajectory, assessment of the effects of practice, errors made and the time required to complete each test	Время выполнения заданий выше в группе ММД, чем в КГ. MoCA коррелировал с альфа-, бета-, дельта- и тета-ритмами, а также со средней продолжительностью игры и средними ошибками в игре / MoCA was correlated with alpha, beta, delta and theta rhythms, as well as with average game duration and average game errors	[55]
Кухня: приготовление заданного блюда / Kitchen: preparing a given dish	21 (70–90 лет, 80,3±6,3 года): 9 с ММД (7 женщин), 12 с болезнью Альцгеймера (8 женщин). Для болезни Альцгеймера MMSE 15–24, 18,4±3,2; для ММД 24–30; 27,2±1,9 / 21 patients (70–90 years, 80,3±6,3 years); 9- MMD; 7 women; and 12 AD, 8 women. For AD MMSE 15–24, 18,4±3,2; for MMD 24–30; 27,2±1,9	Около 1,5 ч в 1 нед. в течение 1 мес. играть в приготовление блюд согласно разным сценариям или рецептам; 14 сценариев / 1 month of playing with cooking according to different scenarios/ recipes; about 1.5 hours per week; 14 scenarios	Повышение показателей гнозиса, исполнительных функций и праксиса в большей степени при ММД; повышение интереса к тренировке в ВР вне зависимости от группы / Increase in indicators of gnosis, executive functions and praxis are more present in MMD; Regardless of the group, there was an increase in interest and motivation for VR training	[50]
Имитация повседневной деятельности в формате ВР для тренировки различных когнитивных функций / Simulate everyday activities in VR format for training various cognitive functions	25 (65–85 лет, 21 женщина) без диагностированного когнитивного дефицита / 25 patients (21 women) from 65 to 85 years old without diagnosed cognitive deficit	12 учебных занятий по 2 сессии 20 мин / 12 training sessions of two 20 min. sessions	Увеличение зрительной памяти, внимания и когнитивной гибкости более чем у 70% участников / Increased visual memory, attention and cognitive flexibility in more than 70% of participants	[42]
	43 (75±5 лет, 34 женщины) / 43 patients 75±5 years old, of which 34 were women	2 сессии 30 мин в 1 нед. в течение 6 нед. / Two 30 min. sessions per week for 6 weeks	Улучшение не только исполнительных функций, но и показателей MoCA и FAB по сравнению с КГ / Improving not only executive function, but also MoCA scores and FAB compared to CG	[41]
Игровая система GRANDYS / Gaming system GRANDYS	72 пожилых (60–88 лет, 68±6 лет, 54 женщины, MMSE 28,7±1,2) и 27 человек с легкой деменцией (60–89 лет, 72±7 лет, 22 женщины, MMSE 22,3±1,2) / Groups of elderly patients (n = 72, 54 women, 68±6 years, 60–88 years; MMSE = 28,7±1,2) and patients with mild dementia (n = 27; 22 women, 72±7 years, 60–89 years; MMSE = 22,3±1,2)	8 сеансов по 2 в 1 нед. 45–60 мин: выполнение моделей внимания и памяти или вербальные и зрительно-пространственные функции 3 уровней сложности / Eight sessions (two per week), each lasting 45–60 minutes included the testing of attention and memory or verbal and visuospatial functions with three difficulty levels	Улучшение рабочей и зрительной памяти и зрительно-пространственной обработки информации / Improving working and visual memory and visuospatial information processing	[48]
Игра Fruit Ninja в формате 2D и 3D / Fruit Ninja game in 3D and 2D format	33 старше 50 лет (средний возраст 61,9±8,2 года, 73% женщины) / 33 patients (73% women) people over 50 years old (average age 61.9±8.2 years)	8 сессий в течение 4 нед. / 8 sessions, 4 weeks	Улучшение исполнительных функций согласно показателям тормозного контроля и переключения задач / Improvement in executive functioning as measured by inhibitory control and task switching	[43]
Совмещение когнитивной и физической нагрузок / Combining cognitive and physical activity				
Бег на тредмиле перед экраном с представленным ландшафтом в формате 3D / Running on a treadmill in front of a screen with a presented landscape in 3D format	17 (64±7 лет, 15 мужчин) в ЭГ и 15 (67±12 лет, 13 мужчин) в КГ после КШ / 17 patients (64±7 years; 15 men) in the EG and 15 (67±12 years; 13 men) in the CG; both groups after CABG	Бег 5 км 30 мин 2 раза в 1 нед. в течение 3 мес. / Run 5 km twice a week for 30 minutes for 3 months	Пиковое потребление кислорода и метаболические эквиваленты в ЭГ выше, чем в КГ / EG reached higher peak oxygen consumption and peak metabolic equivalents compared to the CG	[34]
Скорость хождения пешком по крытой трассе в формате 3D / Walking speed on an indoor track in 3D format	30 (49±3 лет, 13 мужчин) в ЭГ и 30 (52±2 лет, 16 мужчин) в КГ после КШ / 30 difficulty (49±3 years; 13 men) in the EG and 30 (52±2 years; 16 men) in the CG; both groups after CABG	6 мин пешком утром и вечером в течение 3 дней согласно программе кардиореабилитации / 6 min walk in the morning and evening for 3 days according to the cardiac rehabilitation program	Функциональное состояние пациентов в ЭГ лучше, чем в КГ / Better functional status of patients in the EG compared to the CG	[35]
Прогулка в виртуальной среде города / Walk in the virtual city environmen	11 молодых (28±7 лет, 5 мужчин), 11 пожилых (66±3 лет, 3 мужчины) и 11 с болезнью Паркинсона (65±7 лет, 3 мужчины); MoCA 19–30, все были способны пройти 30 мин на тредмиле / 33 patients: 11 young (28±7 years, 5 men), 11 elderly (66±3 years, 3 men) and 11 with Parkinson's disease (65±7 years, 3 men); MoCA 19–30, all were able to complete 30 min treadmill	20 мин прогулки в городе с самостоятельно выбранной скоростью / 20 min walk in the city at your own chosen speed	Успешное погружение в виртуальную среду согласно опросникам для определения тошноты, стресса и активации без возрастных различий, но с более выраженной реакцией у пациентов с болезнью Паркинсона / Successful immersion in a VR environment according to questionnaires for determining nausea, stress and activation without age differences, but with a more pronounced reaction in patients with Parkinson's disease	[19]

Платформа Nintendo Wii дома /Using the Nintendo Wii Platform at home	14 пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями (56–81 лет, средний возраст 70 лет, 6 женщин) / 14 patients with CVD (6 women, 56–81 years old, average age 70 years)	30 мин в день, 5 дней в 1 нед. в течение 12 нед. / 30 min a day, 5 days a week, 12 weeks	Интервью для определения выбора физической активности / Interview to determine physical activity choices	[62]
Система Kinect-RehabPlay / Kinect-RehabPlay system	Три группы по 11 пациентов с ИБС: КГ1 59±5,8 года, MoCA 24,5±1,4; КГ2 59±11,3 года, MoCA 22,3±3,5; ЭГ 55±5,9 года, MoCA 25,0±1,7 / Three groups of 11 patients with coronary artery disease: CG1 59±5.8 years, MoCA 24.5±1.4; CG2 59±11.3 years, MoCA 22.3±3.5 and EG 55±5.9 years, MoCA 25.0±1.7	ЭГ – тренировка в ВР, КГ1 – та же программа упражнений, изложенная в буклете; 3 сессии в 1 нед. в течение 6 мес.; КГ2 получали сведения о риске ИБС / EG – training in VR, CG1 – the same exercise program outlined in the booklet; 3 sessions per week for 6 months; CG2 received information about the risk of CAD	Исполнительные функции в ЭГ лучше, чем в КГ1 и КГ2 / Better indicators of executive function in the EG than in the CG1 and CG2	[64]
Совмещение физических и когнитивных тренировок в виртуальной среде / Combining physical and cognitive training in a virtual environment	10 (73,3±5,7 года, 6 женщин, MMSE 23,0±3,4); по 5 человек в ЭГ и КГ / 10 people (6 of them women), divided into EG and CG of 5 people each; 73.3±5.7 years; MMSE 23.0±3.4	3 сессии в 1 нед. в течение 6 нед.: 20 мин езды на велосипеде в виртуальном парке, около 5 мин на прохождение 5 перекрестков и 20 мин на покупки в супермаркете / 6 weeks, 3 sessions per week, each of which included 20 minutes cycling in a virtual park, about 5 minutes to pass 5 intersections and 20 minutes to shop in a supermarket	Исполнительные функции, память и беглость речи не достигли значимого улучшения, в сравнении с КГ, при снижении активных форм кислорода, окислительного повреждения липидов и дезоксирибонуклеиновой кислоты / Improvement in executive functions, memory and speech fluency, which did not reach a significant level in comparison with the control group with a decrease in indicators reactive oxygen species, oxidative damage to lipids and DNA	[59]
Выполнение задач с физической и когнитивной нагрузкой в ВР / Performing tasks with physical and cognitive tasks in VR	42 (старше 65 лет, MMSE 27,2, MoCa 22,8; образование менее 6 классов): по 21 в группе ВР и КГ / 21 patients in the VR group and 21 in the CG, over 65 years old, MMSE 27.2, MoCa 22.8; education at the 6-grade level	36 сессий по 60 мин в течение 12 нед. / 36 sessions of 60 minutes over 12 weeks	Улучшение исполнительных функций и выполнения двухзадачности / Improved executive functions and dual-tasking	[66]
Езда на велосипеде в парке в ВР / Cycling in VR park	20 молодых (25,9±3,7 года; 21–33 года, 9 женщин), 20 пожилых (63,6±5,6 года; 52–70 лет, 10 женщин) / 20 young adult (25.9±3.7 years; 21–33 years; 9 women) and 20 elderly patients (63.6±5.6 years; 52–70 years; 10 women)	пробная версия 1 мин, затем 4 задания 2–3 мин: езда на велосипеде в парке / 1 minute trial then four 2–3 minute tasks: cycling in the park	Точность навигации – 95% для молодых и 75% для пожилых при общем повышении возбуждения и снижении стресса / Navigation accuracy was 95% for young and 75% for older, with an overall effect of increased arousal and decreased stress	[46]
Экзергейминг в гимнастическом зале / Exergaming in the gym	13 (85,1±8,5 года) в ЭГ и 11 (84,8±8,1 года) в КГ / 24 patients (EG n = 13; 85.1±8.5 years) and CG n = 11; 84.8±8.1 years).	3 сессии по 6 мин в 1 нед. в течение 10 нед. / Three 6-minute sessions each week, for a total of 10 weeks	Баланс, походка, рукопожатие в ЭГ лучше, чем в КГ, при тестировании / Better results in the EG than in the CG when testing balance, gait, handshake	[24]
Регуляция эмоционального состояния / Regulation of emotional state				
Nesplora Aquarium	82 (19–61 год, 32,4±9,7 года, 53 женщины): 24 с диагнозом депрессии, 17 с повышенными показателями тревожности и депрессии / 82 patients (53 women, age 19–61 years, mean age 32.4±9.7), of which 24 were diagnosed with depression and 17 with elevated levels of anxiety and depression	5 мин –ознакомительная сессия, 20–25 мин в аквариуме в ВР / 20–25 minutes in a VR aquarium with a preliminary 5-minute familiarization session	Разные методики для оценки скорости реакции и тормозных функций внимания, пространственной памяти, MoCA, опросники для оценки юзабилити и степени погружения в ВР, тревожности и депрессии / Various methods for assessing reaction speed and inhibitory functions of attention, spatial memory, MoCA, questionnaires for assessing usability and the degree of immersion in VR, anxiety and depression	[56]
Природные сцены в ВР / Natural landscapes in VR	66 пожилых (средний возраст 80,5±10,5 года) с когнитивными способностями: 47% – нормальный уровень (оценка > 26 по MMSE или > 25 по MoCA), 53% – когнитивные нарушения (17 – слабые, 12 – умеренные, 3 – явные) / 66 elderly patients (mean age 80.5±10.5 years) with different levels of cognitive abilities: 47% – normal level (score >26 on MMSE or >25 on MoCA), 53% – cognitive impairment (17 mild, 12 moderate, 3 severe)	360-градусная видеосъемка природных сцен 3–20 мин, среднее время предъявления – 8 мин; положение участников сидя в кресле или лежа в кровати / 3 to 20 minutes of 360-degree video footage of natural landscapes, average time of footage – 8 minutes; position of participants – sitting in a chair or lying in bed	Большинство дали положительные отзывы, характеризуя состояние как более спокойное, эмоционально положительное и предприимчивое; 76% хотели бы снова погрузиться в ВР; 22% сообщили о головокружении и тошноте вначале и далее исчезнувшее / Most gave positive feedback, describing themselves as calmer, emotionally positive and adventurous; 76% would like to immerse themselves in VR again; 22% reported feeling dizziness and nausea initially, later the feeling passed	[58]
Воздействие природных ландшафтов в сравнении с урбанистическим пейзажем / Impact of natural landscapes versus urban landscapes	74 с сердечной недостаточностью / 74 patients with heart failure	10 мин в день, 5 дней в 1 нед., 4 нед. = 200 мин / 10 min/day, 5 days/week, 4 weeks = 200 min	Ожидается улучшение внимания под воздействием тренинга, а также более высокая самооценка качества жизни / Due to training, attention, and higher quality of life are expected to improve	[39]

Примечание: БА – болезнь Альцгеймера; ВР – виртуальная реальность; ИБС – ишемическая болезнь сердца; КГ – контрольная группа; КШ – коронарное шунтирование; ММД – минимальная мозговая дисфункция; ТВР – технологии виртуальной реальности; ЭГ – экспериментальная группа; FAB – батарея лобных оценок; MMSE – краткая шкала оценки психического статуса; MoCA – Монреальский когнитивный тест.

Note: AD – Alzheimer's disease; CABG – coronary artery bypass surgery; CAD – coronary artery disease; CG – control group; CVD – cardiovascular diseases; EG – experimental group; MMSE – Mini-Mental State Examination; MoCA – Montreal Cognitive Assessment; MCD – minimal cerebral dysfunction; VR – virtual reality; VRT – virtual reality technologies.

Заключение

Представленные в литературе данные указывают на потенциальную эффективность ТВР в нейро- и кардиореабилитации пациентов с ишемической болезнью сердца. Однако вследствие разнообразия результатов из-за множества программ компьютеризированных форм когнитивной тренировки и физической нагрузки в кардиореабилитации представленные выводы отдельных работ и метаанализов свидетельствуют о необходимости продолжения исследований для выяснения закономерностей функционального вклада разных факторов в эффективность ТВР: степени погружения, мотивации деятельности, базовых характеристик пользователей и т. д.

В кардиореабилитации после коронарного шунтирования наиболее эффективна тренировка с использованием многозадачности с применением ТВР, так как эти пациенты характеризуются не только ослаблением скорости обработки информации, исполнительного контроля селекции конкурирующих сигналов и памяти, но и тревожностью и снижением позитивных эмоций. В связи с

этим в программу нейро- и кардиореабилитации желательно включать задания, требующие выбора объектов согласно инструкции, их подсчета или запоминания, двигательной активности и погружения этой деятельности в природную виртуальную среду. Такая программа представляется полезной не только для реабилитации пациентов, но и здоровых людей с целью формирования или активации их когнитивных резервов. ТВР могут быть особенно полезны для лиц с ограниченными по разным причинам возможностями познавательной и двигательной деятельности.

Конфликт интересов

О.М. Разумникова заявляет об отсутствии конфликта интересов. О.А. Трубникова заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда проект № 23-15-00379, <https://rscf.ru/project/23-15-00379/>

Информация об авторах

Разумникова Ольга Михайловна, доктор биологических наук профессор кафедры психологии и педагогики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский государственный технический университет», Новосибирск, Российская федерация; **ORCID** 0000-0002-7831-9404

Трубникова Ольга Александровна, доктор медицинских наук заведующая лабораторией нейрососудистой патологии отдела клинической кардиологии федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний», Кемерово, Российская федерация; **ORCID** 0000-0001-8260-8033

Author Information Form

Razumnikova Olga M., PhD, Professor at the Department of Psychology and Pedagogy, Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russian Federation; **ORCID** 0000-0002-7831-9404

Trubnikova Olga A., MD, PhD, Head of the Laboratory of Neurovascular Pathology, Department of Clinical Cardiology, Federal State Budgetary Institution “Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases”, Kemerovo, Russian Federation; **ORCID** 0000-0001-8260-8033

Вклад авторов в статью

ROM – вклад в концепцию и дизайн исследования, написание статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

TOA – интерпретация данных исследования, корректировка статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание

Author Contribution Statement

ROM – contribution to the concept and design of the study, manuscript writing, approval of the final version, fully responsible for the content

TOA – data interpretation, editing, approval of the final version, fully responsible for the content

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Разумникова О.М. Закономерности старения мозга и способы активации его компенсаторных ресурсов. Успехи физиол. наук. 2015; 46 (2): 3–16
2. Kang J.M., Kim N., Lee S.Y., Woo S.K., Park G., Yeon B.K., Park J.W., Youn J.H., Ryu S.H., Lee J.Y., Cho S.J. Effect of cognitive training in fully immersive virtual reality on visuospatial function and frontal-occipital functional connectivity in predementia: Randomized controlled trial. *J Med Internet Res.* 2021; 23(5): e24526. doi: 10.2196/24526
3. Lauenroth A., Ioannidis A. E., Teichmann B. Influence of combined physical and cognitive training on cognition: a systematic review. *BMC Geriatr.* 2016; 16:141. doi: 10.1186/s12877-016-0315-1
4. Smith S.A. Virtual reality in episodic memory research: A review. *Psychon. Bull. Rev.* 2019; 26: 1213–1237. doi: 10.3758/s13423-019-01605-w.
5. Bruderer-Hofstetter M., Rausch-Osthoff A.K., Meichtry A., Munzer T., Niedermann K. Effective multicomponent interventions in comparison to active control and no interventions on physical capacity, cognitive function and instrumental activities of daily living in elderly people with and without mild impaired cognition – A systematic review and network meta-analysis. *Ageing Res Rev.* 2018; 45: 1–14. doi: 10.1016/j.arr.2018.04.002.
6. Chiu H. L., Chu, H., Tsai, J. C., Liu, D., Chen, Y. R., Yang, H. L., Chou K.R. The effect of cognitive-based training for the healthy older people: a meta-analysis of randomized controlled trials. *PLoS One.* 2017; 12: e0176742. doi: 10.1371/journal.pone.0176742
7. Gómez-Soria I., Cuenca-Zaldívar J.N., Rodríguez-Roca B., Subirón-Valera A.B., Salavera C., Marcén-Román Y., Andrade-Gómez E., Calatayud E. Cognitive effects of a cognitive stimulation programme on trained domains in older adults with subjective

memory complaints: Randomised controlled trial. *Int J Environ Res Public Health*. 2023; 20(4):3636. doi: 10.3390/ijerph20043636.

8. Youn J., Park S., Lee J., Cho S., Kim J., Ryu S. Cognitive improvement in older adults with mild cognitive impairment: evidence from a multi-strategic metamemory training. *J Clin Med* 2020; 9(2): 362. doi:10.3390/jcm9020362

9. Eggenberger P., Schumacher V., Angst M., Theill N., de Bruin E.D. Does multicomponent physical exercise with simultaneous cognitive training boost cognitive performance in older adults? A 6-month randomized controlled trial with a 1-year follow-up. *Clin Interv Aging*. 2015; 10: 1335–49. doi: 10.2147/CIA.S87732.

10. Weng W., Liang J., Xue J., Zhu T., Jiang Y., Wang J., Chen S. The transfer effects of cognitive training on working memory among Chinese older adults with mild cognitive impairment: a randomized controlled trial. *Front Aging Neurosci* 2019; 11:212. doi: 10.3389/fnagi.2019.00212

11. Bauer A.C.M., Andringa G. The potential of immersive virtual reality for cognitive training in elderly. *Gerontology*. 2020; 66(6): 614–623. doi: 10.1159/000509830.

12. Huygelier H., Schraepen B., van Ee R., VandenAbeeel V., Gillebert C.R. Acceptance of immersive head-mounted virtual reality in older adults. *Sci Rep*. 2019; 9(1): 4519. doi: 10.1038/s41598-019-41200-6.

13. Riva G., Mantovani F., Capideville C.S., Preziosa A., Morganti F., Villani D., Gaggioli A., Botella C., Alcañiz M. Affective interactions using virtual reality: the link between presence and emotions. *Cyberpsychol Behav*. 2007; 10(1): 45–56. doi: 10.1089/cpb.2006.9993.

14. 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. doi: 10.1093/geront/gnz132

15. Tieri G., Morone G., Paolucci S., Iosa, M. Virtual reality in cognitive and motor rehabilitation: facts, fiction and fallacies. *Expert Rev. Med. Devices*. 2018. doi: 10.1080/17434440.2018.1425613

16. Brugada-Ramentol V., Bozorgzadeh A., Jalali H. Enhance VR: A multisensory approach to cognitive training and monitoring. *Front. Digit. Health*. 2022; 4:916052. doi: 10.3389/fdgh.2022.916052

17. García-Betances R.I., Jiménez-Mixco V., Arredondo M.T., Cabrera Umpiérrez M. F. Using virtual reality for cognitive training of the elderly. *Am. J. Alzheimers Dis. Other Demen*. 2015; 30: 49–54. doi: 10.1177/1533317514545866

18. Keshner E.A., Weiss P.T., Geifman D., Raban D. Tracking the evolution of virtual reality applications to rehabilitation as a field of study. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2019; 16(1):76. doi: 10.1186/s12984-019-0552-6.

19. Kim H., Chey J., Lee S. Effects of multicomponent training of cognitive control on cognitive function and brain activation in older adults. *Neurosci Res*. 2017; 124:8–15 doi: 10.1016/j.neures.2017.05.004

20. Sokolowska B. Impact of Virtual Reality Cognitive and Motor Exercises on Brain Health. *Int J Environ Res Public Health*. 2023; 20(5): 4150. doi: 10.3390/ijerph20054150

21. Chan L.P.P., Cheng Y., Ng J.Y.H., Zheng Z., Cheing G.L.Y. A review of virtual reality technology in exercise training for older adults. *J Endocrinol Thyroid Res*. 2022; 6(4): 555694. doi: 10.19080/JETR.2022.06.555694

22. De Vries A. W., Van DieËen J. H., Van Den Abeel V., Verschuere S. M. Understanding motivations and player experiences of older adults in virtual reality training. *Games for Health Journal*. 2018; 7(6): 369–376. doi: 10.1089/g4h.2018.0008

23. Volmer J., Burkert M., Krumm H., Abodahab A., Dinklage P., Feltmann M., Kröger C., Panta P., Schäfer F., Scheidt D., Sellung M., Singerhoff H., Steingreifer C., Schmidt T., Hoffmann J.D., Willemsen D., Reiss N. Enhancing long-term motivation of cardiac patients by applying exergaming in rehabilitation training. *Stud Health Technol Inform*. 2017; 237:183–187.

24. Bond S., Laddu D.R., Ozemek C., Lavie C.J., Arena R. Exergaming and virtual reality for health: Implications for cardiac rehabilitation. *Curr Probl Cardiol*. 2021; 46(3): 100472. doi: 10.1016/j.cpcardiol.2019.100472.

25. Campo-Prieto P.; Cancela-Carral J.M.; Rodríguez-Fuentes G. Feasibility and effects of an immersive virtual reality exergame program on physical functions in institutionalized older adults: A randomized clinical trial. *Sensors*. 2022; 22: 6742. doi.org/10.3390/s22186742

s22186742

26. Chang E., Kim H.T., Yoo B. Virtual reality sickness: A review of causes and measurements. *International Journal of Human–Computer Interaction*. 2020; 36(17):1658–82.

27. Coyle H., Traynor V., Solowij N. Computerized and virtual reality cognitive training for individuals at high risk of cognitive decline: systematic review of the literature. *Am. J. Geriatr. Psychiatry*. 2015; 23: 335–359. doi: 10.1016/j.jagp.2014.04.009

28. Baragash R.S., Aldowah H., Ghazal S. Virtual and augmented reality applications to improve older adults' quality of life: A systematic mapping review and future directions. *Digit Health*. 2022; 8: 20552076221132099. doi: 10.1177/20552076221132099.

29. Plechatá A., Nekovářová T., Fajnerová I. What is the future for immersive virtual reality in memory rehabilitation? A systematic review. *NeuroRehabilitation* 2021; 48: 389–412. doi: 10.3233/NRE-201534.

30. Despoti A., Karatzanos E., Patsaki I., Tzoumi D., Roussou G., Leventakis N., Papatheanasiou A., Nanas S., Dimitriadi N. Immersive virtual reality in cognitive rehabilitation: A systematic review. *Health & Research Journal*. 2022; 8(3) 225–241. doi:10.12681/healthresj.2887272-178.

31. Penn I.W., Chuang E., Chuang T.Y., Yang C.Y. Effects of virtual-reality-augmented cardiopulmonary rehabilitation programs for patients with cardiovascular diseases: A systemic review. *Neuropsychiatry*. 2018; doi: 10.4172/NEUROPSYCHIATRY.1000499

32. García-Bravo S., Cuesta-Gómez A., Campuzano-Ruiz R., López-Navas M.J., Domínguez-Paniagua J., Araújo-Narváez A., Barreñada-Copete E., García-Bravo C., Flórez-García M.T., Botas-Rodríguez J., Cano-de-la-Cuerda R. Virtual reality and video games in cardiac rehabilitation programs. A systematic review. *Disabil Rehabil*. 2021; 43(4): 448–457. doi: 10.1080/09638288.2019.1631892

33. Chen Y., Cao L., Xu Y., Zhu M., Guan B., Ming W.K. Effectiveness of virtual reality in cardiac rehabilitation: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Int J Nurs Stud*. 2022; 133:104323. doi: 10.1016/j.ijnurstu.2022.104323

34. Chuang T.Y., Sung W.H., Lin C.Y. Application of a virtual reality-enhanced exercise protocol in patients after coronary bypass. *Arch Phys Med Rehabil*. 2005; 86(10): 1929–32. doi: 10.1016/j.apmr.2005.05.003.

35. Cacao Lde A., Oliveira G.U., Maynard L.G., Araújo Filho A.A., Silva W.M.Jr., Cerqueria Neto M.L., Antonioli A.R., Santana-Filho V.J. The use of the virtual reality as intervention tool in the postoperative of cardiac surgery. *Rev Bras Cir Cardiovasc*. 2013; 28(2): 281–9. doi: 10.5935/1678-9741.20130039.

36. Тарасова И.В., Трубникова О.А., Разумникова О.М. Пластичность функциональных систем мозга как компенсаторный ресурс при нормальном и патологическом старении, ассоциированном с атеросклерозом. *Атеросклероз*. 2020; 16(1):59–67. doi: 10.15372/ATER20200108.

37. Pressler S.J., Jung M., Haedtke C. Interventions transformed through technology to improve cognitive function in heart failure. *J Cardiovasc Nurs*. 2019; 34(6): 430–432. doi: 10.1097/JCN.0000000000000609

38. Тарасова И.В., Разумникова О.М., Трубникова О.А., Мезенцев Ю.А., Куприянова Д.С., Барбараш О.Л. Нейрофизиологические корреляты послеоперационных когнитивных расстройств. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2021;121(2):18–23. doi:10.17116/jnevro202112102118

39. Jung M., Apostolova L.G., Moser D.K., Gradus-Pizlo I., Gao S., Rogers J.L., Pressler S.J. Virtual reality cognitive intervention for heart failure: CORE study protocol. *Alzheimers Dement (NY)*. 2022; 8(1):e12230. doi: 10.1002/trc2.12230.

40. Pressler S.J. Cognitive functioning and chronic heart failure: a review of the literature (2002–July 2007). *J Cardiovasc Nurs*. 2008; 23(3): 239–249. doi: 10.1097/01.JCN.0000305096.09710.ec.

41. Gamito P., Oliveira J., Alves C., Santos N., Coelho C., Brito R. Virtual reality-based cognitive stimulation to improve cognitive functioning in community elderly: A controlled study. *Cyberpsychol Behav Soc Netw*. 2020; 23(3):150–156. doi: 10.1089/cyber.2019.0271.

42. Gamito P., Oliveira J., Morais D., Coelho C., Santos N., Alves C., Galamba A., Soeiro M., Yerra M., French H., Talmers L., Gomes T., Brito R. Cognitive stimulation of elderly individuals with instrumental virtual reality-based activities of daily life:

- pre-post treatment study. *Cyberpsychol Behav Soc Netw* 2019; 22(1):69-75. doi: 10.1089/cyber.2017.0679
43. Huang K-T. Exergaming executive functions: An immersive virtual reality-based cognitive training for adults aged 50 and older. *Cyberpsychol Behav Soc Netw*. 2020 Mar;23(3):143-149. doi: 10.1089/cyber.2019.0269.
44. Трубникова О.А., Тарасова И.В., Артамонова А.И., Сырова И.Д., Барбараш О.Л. Возраст как фактор риска когнитивных нарушений у пациентов, перенесших коронарное шунтирование. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2011; 111(8):46-49.
45. Optale G., Urgesi C., Busato V., Marin S., Piron L., Priftis K., Gamberini L., Capodiceci S., Bordin A. Controlling memory impairment in elderly adults using virtual reality memory training: a randomized controlled pilot study. *Neurorehabil Neural Repair*. 2010; 24(4): 348-357. doi: 10.1177/1545968309353328
46. Sakhare A.R., Yang V., Stradford J., Tsang I., Ravichandran R., Pa J. Cycling and spatial navigation in an enriched, immersive 3D virtual park environment: A feasibility study in younger and older adults. *Frontiers in Aging Neuroscience*. 2019; 11:218. doi: 10.3389/fnagi.2019.00218.
47. Howett D., Castegnaro A., Krzywicka K., Hagman J., Marchment D., Henson R., Rio M., King J.A., Burgess N., Chan D. Differentiation of mild cognitive impairment using an entorhinal cortex-based test of virtual reality navigation. *Brain*. 2019; 142(6):1751-1766. doi: 10.1093/brain/awz116
48. Zając-Lamparska L., Wilkość-Dębczyńska M., Wojciechowski A., Podhorecka M., Polak-Szabela A., Warchoł Ł., Kędziora-Kornatowska K., Araszkiewicz A., Izdebski P. 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. doi: 10.1186/s13104-019-4810-2.
49. Borgnis F., Baglio F., Pedroli E., Rossetto F., Uccellatore L., Oliveira J.A.G., Riva G., Cipresso P. Available virtual reality-based tools for executive functions: A systematic review. *Front Psychol*. 2022; 13:833136. doi: 10.3389/fpsyg.2022.833136.
50. Manera V., Petit P.D., Derreumaux A., Orvieto I., Romagnoli M., Lyttle G., David R., Robert P. "Kitchen and cooking", a serious game for mild cognitive impairment and alzheimer's disease: A pilot study. *Front Aging Neurosci*. 2015; 7: 24. doi: 10.3389/fnagi.2015.00024
51. Corriveau Lecavalier N., Ouellet É., Boller B., Belleville S. Use of immersive virtual reality to assess episodic memory: A validation study in older adults. *Neuropsychol. Rehabil*. 2020; 30: 462-480. doi: 10.1080/09602011.2018.1477684.
52. Ouellet É., Boller B., Corriveau-Lecavalier N., Cloutier S., Belleville S. The virtual shop: A new immersive virtual reality environment and scenario for the assessment of everyday memory. *J. Neurosci. Methods*. 2018; 303: 126-135. doi: 10.1016/j.jneumeth.2018.03.010.
53. Zygouris S., Segkouli S., Triantafyllidis A., Giakoumis D., Tsolaki M., Votis K., Tzouvaras D. Usability of the virtual supermarket test for older adults with and without cognitive impairment. *J Alzheimers Dis Rep*. 2022; 6(1): 229-234. doi: 10.3233/ADR-210064
54. Zygouris S., Iliadou P., Lazarou E., Giakoumis D., Votis K., Alexiadis A., Triantafyllidis A., Segkouli S., Tzouvaras D., Tsiatsos T., Papagianopoulos S., Tsolaki M. Detection of Mild Cognitive Impairment in an at-risk group of older adults: Can a novel self-administered serious game-based screening test improve diagnostic accuracy? *J Alzheimers Dis*. 2020; 78(1): 405-412. doi: 10.3233/JAD-200880
55. Iliadou P., Paliokas I., Zygouris S., Lazarou E., Votis K., Tzouvaras D., Tsolaki M. A comparison of traditional and serious game-based digital markers of cognition in older adults with mild cognitive impairment and healthy controls. *J Alzheimers Dis*. 2021; 79(4):1747-1759. doi: 10.3233/JAD-201300.
56. Voinescu A., Petrini K., Fraser D. S., Lazarovicz R. A., Papav I., Fodor L. A., David D. The effectiveness of a virtual reality attention task to predict depression and anxiety in comparison with current clinical measures. *Virtual Reality*. 2021; 1-22. doi: 10.1007/s10055-021-00520-7
57. Summers J.K., Vivian D.N. Ecotherapy - A forgotten ecosystem service: A review. *Front Psychol*. 2018; 9:1389. doi: 10.3389/fpsyg.2018.01389
58. Appel L., Appel E., Bogler O., Wiseman M., Cohen L., Ein N., Abrams H.B., Campos J.L. Older adults with cognitive and/or physical impairments can benefit from immersive virtual reality experiences: A feasibility study. *Front. Med*. 2020; 6:329. doi: 10.3389/fmed.2019.00329
59. Mrakic-Spota S., Di Santo S.G., Franchini F., Arlati S., Zangiacomi A., Greci L., Moretti S., Jesuthasan N., Marzorati M., Rizzo G., Sacco M., Vezzoli A. Effects of combined physical and cognitive virtual reality-based training on cognitive impairment and oxidative network in MCI Patients: A Pilot Study. *Front Aging Neurosci*. 2018; 10: 282. doi: 10.3389/fnagi.2018.00282.
60. Cacciata M., Stromberg A., Lee J.A., Sorkin D., Lombardo D., Clancy S., Nyamathi A., Evangelista L.S. Effect of exergaming on health-related quality of life in older adults: A systematic review. *Int J Nurs Stud*. 2019; 93:30-40. doi: 10.1016/j.ijnurstu.2019.01.010.
61. Ruivo J.A. Exergames and cardiac rehabilitation: a review. *J Cardiopulm Rehabil Prev*. 2014; 34(1): 2-20. doi: 10.1097/HCR.0000000000000037.
62. Klompstra L., Jaarsma T., Mårtensson J., Strömberg A. Exergaming Through the eyes of patients with heart failure: A qualitative content analysis study. *Games Health J*. 2017; 6(3):152-158. doi: 10.1089/g4h.2016.0087
63. Blasco-Peris C., Fuertes-Kenneally L., Vetrovsky T., Sarabia J.M., Climent-Paya V., Manresa-Rocamora A. Effects of exergaming in patients with cardiovascular disease compared to conventional cardiac rehabilitation: A systematic review and meta-analysis. *Int J Environ Res Public Health*. 2022; 19(6): 3492. doi: 10.3390/ijerph19063492.
64. Vieira Á., Melo C., Machado J., Gabriel J. Virtual reality exercise on a home-based phase III cardiac rehabilitation program, effect on executive function, quality of life and depression, anxiety and stress: a randomized controlled trial. *Disabil Rehabil Assist Technol*. 2018; 13(2): 112-123. doi: 10.1080/17483107.2017.1297858
65. Anguera J.A., Boccanfuso J., Rintoul J.L., Al-Hashimi O., Faraji F., Janowich J., Kong E., Larraburo Y., Rolle C., Johnston E., Gazzaley A. Video game training enhances cognitive control in older adults. *Nature*. 2013; 501(7465): 97-101. doi: 10.1038/nature12486.
66. Liao Y., Chen I., Lin Y., Chen Y., Hsu W. Effects of virtual reality-based physical and cognitive training on executive function and dual-task gait performance in older adults with mild cognitive impairment: A randomized control trial. *Frontiers in Aging Neuroscience*. 2019; 11:162. doi: 10.3389/fnagi.2019.00162

REFERENCES

1. Razumnikova O.M. Effects of aging brain and activation methods of its compensatory resources. *Progress in Physiological Science*. 2015; 46 (2): 3-16. (In Russian)
2. Kang J.M., Kim N., Lee S.Y., Woo S.K., Park G., Yeon B.K., Park J.W., Youn J.H., Ryu S.H., Lee J.Y., Cho S.J. Effect of cognitive training in fully immersive virtual reality on visuospatial function and frontal-occipital functional connectivity in predementia: Randomized controlled trial. *J Med Internet Res*. 2021; 23(5): e24526. doi: 10.2196/24526
3. Lauenroth A., Ioannidis A. E., Teichmann B. Influence of combined physical and cognitive training on cognition: a systematic review. *BMC Geriatr*. 2016; 16:141. doi: 10.1186/s12877-016-0315-1
4. Smith S.A. Virtual reality in episodic memory research: A review. *Psychon. Bull. Rev*. 2019; 26: 1213-1237. doi: 10.3758/s13423-019-01605-w.
5. Bruderer-Hofstetter M., Rausch-Osthoff A.K., Meichtry A., Munzer T., Niedermann K. Effective multicomponent interventions in comparison to active control and no interventions on physical capacity, cognitive function and instrumental activities of daily living in elderly people with and without mild impaired cognition – A systematic review and network meta-analysis. *Ageing Res Rev*. 2018; 45: 1-14. doi: 10.1016/j.arr.2018.04.002.
6. Chiu H. L., Chu, H., Tsai, J. C., Liu, D., Chen, Y. R., Yang, H. L., Chou K.R. The effect of cognitive-based training for the healthy older people: a meta-analysis of randomized controlled trials. *PLoS One*. 2017; 12: e0176742. doi: 10.1371/journal.pone.0176742
7. Gómez-Soria I., Cuenca-Zaldívar J.N., Rodríguez-Roca B., Subirón-Valera A.B., Salavera C., Marcén-Román Y., Andrade-

- Gómez E., Calatayud E. Cognitive effects of a cognitive stimulation programme on trained domains in older adults with subjective memory complaints: Randomised controlled trial. *Int J Environ Res Public Health*. 2023; 20(4):3636. doi: 10.3390/ijerph20043636.
8. Youn J., Park S., Lee J., Cho S., Kim J., Ryu S. Cognitive improvement in older adults with mild cognitive impairment: evidence from a multi-strategic metamemory training. *J Clin Med* 2020; 9(2): 362. doi:10.3390/jcm9020362
9. Eggenberger P., Schumacher V., Angst M., Theill N., de Bruin E.D. Does multicomponent physical exercise with simultaneous cognitive training boost cognitive performance in older adults? A 6-month randomized controlled trial with a 1-year follow-up. *Clin Interv Aging*. 2015; 10: 1335–49. doi: 10.2147/CIA.S87732.
10. Weng W., Liang J., Xue J., Zhu T., Jiang Y., Wang J., Chen S. The transfer effects of cognitive training on working memory among Chinese older adults with mild cognitive impairment: a randomized controlled trial. *Front Aging Neurosci* 2019; 11:212. doi: 10.3389/fnagi.2019.00212
11. Bauer A.C.M., Andringa G. The potential of immersive virtual reality for cognitive training in elderly. *Gerontology*. 2020; 66(6): 614–623. doi: 10.1159/000509830.
12. Huygelier H., Schraepen B., van Ee R., VandenAbeeel V., Gillebert C.R. Acceptance of immersive head-mounted virtual reality in older adults. *Sci Rep*. 2019; 9(1): 4519. doi: 10.1038/s41598-019-41200-6.
13. Riva G., Mantovani F., Capideville C.S., Preziosa A., Morganti F., Villani D., Gaggioli A., Botella C., Alcañiz M. Affective interactions using virtual reality: the link between presence and emotions. *Cyberpsychol Behav*. 2007; 10(1): 45–56. doi: 10.1089/cpb.2006.9993.
14. 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. doi: 10.1093/geront/gnz132
15. Tieri G., Morone G., Paolucci S., Iosa, M. Virtual reality in cognitive and motor rehabilitation: facts, fiction and fallacies. *Expert Rev. Med. Devices*. 2018. doi: 10.1080/17434440.2018.1425613
16. Brugada-Ramentol V., Bozorgzadeh A., Jalali H. Enhance VR: A multisensory approach to cognitive training and monitoring. *Front. Digit. Health*. 2022; 4:916052. doi: 10.3389/fdgh.2022.916052
17. García-Betances R.I., Jiménez-Mixco V., Arredondo M.T., Cabrera Umpiérrez M. F. Using virtual reality for cognitive training of the elderly. *Am. J. Alzheimers Dis. Other Dement*. 2015; 30: 49–54. doi: 10.1177/1533317514545866
18. Keshner E.A., Weiss P.T., Geifman D., Raban D. Tracking the evolution of virtual reality applications to rehabilitation as a field of study. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*. 2019; 16(1):76. doi: 10.1186/s12984-019-0552-6.
19. Kim H., Chey J., Lee S. Effects of multicomponent training of cognitive control on cognitive function and brain activation in older adults. *Neurosci Res*. 2017; 124:8–15 doi: 10.1016/j.neures.2017.05.004
20. Sokolowska B. Impact of Virtual Reality Cognitive and Motor Exercises on Brain Health. *Int J Environ Res Public Health*. 2023; 20(5): 4150. doi: 10.3390/ijerph20054150
21. Chan L.P.P., Cheng Y., Ng J.Y.H., Zheng Z., Cheing G.L.Y. A review of virtual reality technology in exercise training for older adults. *J Endocrinol Thyroid Res*. 2022; 6(4): 555694. doi: 10.19080/JETR.2022.06.555694
22. De Vries A. W., Van DieËen J. H., Van Den Abeel V., Verschueren S. M. Understanding motivations and player experiences of older adults in virtual reality training. *Games for Health Journal*. 2018; 7(6): 369–376. doi: 10.1089/g4h.2018.0008
23. Volmer J., Burkert M., Krumm H., Abodahab A., Dinklage P., Feltmann M., Kröger C., Panta P., Schäfer F., Scheidt D., Sellung M., Singerhoff H., Steingreifer C., Schmidt T., Hoffmann J.D., Willemsen D., Reiss N. Enhancing long-term motivation of cardiac patients by applying exergaming in rehabilitation training. *Stud Health Technol Inform*. 2017; 237:183–187.
24. Bond S., Laddu D.R., Ozemek C., Lavie C.J., Arena R. Exergaming and virtual reality for health: Implications for cardiac rehabilitation. *Curr Probl Cardiol*. 2021; 46(3): 100472. doi: 10.1016/j.cpcardiol.2019.100472.
25. Campo-Prieto P.; Cancela-Carral J.M.; Rodríguez-Fuentes G. Feasibility and effects of an immersive virtual reality exergame program on physical functions in institutionalized older adults: A randomized clinical trial. *Sensors*. 2022; 22: 6742. doi.org/10.3390/s22186742
26. Chang E., Kim H.T., Yoo B. Virtual reality sickness: A review of causes and measurements. *International Journal of Human–Computer Interaction*. 2020; 36(17):1658–82.
27. Coyle H., Traynor V., Solowij N. Computerized and virtual reality cognitive training for individuals at high risk of cognitive decline: systematic review of the literature. *Am. J. Geriatr. Psychiatry*. 2015; 23: 335–359. doi: 10.1016/j.jagp.2014.04.009
28. Baragash R.S., Aldowah H., Ghazal S. Virtual and augmented reality applications to improve older adults' quality of life: A systematic mapping review and future directions. *Digit Health*. 2022; 8: 20552076221132099. doi: 10.1177/20552076221132099.
29. Plechatá A., Nekovářová T., Fajnerová I. What is the future for immersive virtual reality in memory rehabilitation? A systematic review. *NeuroRehabilitation* 2021; 48: 389–412. doi: 10.3233/NRE-201534.
30. Despoti A., Karatzanos E., Patsaki I., Tzoumi D., Roussou G., Leventakis N., Papanthanasidou A., Nanas S., Dimitriadi N. Immersive virtual reality in cognitive rehabilitation: A systematic Review. *Health & Research Journal*. 2022; 8(3) 225–241. doi:10.12681/healthresj.2887272-178.
31. Penn I.W., Chuang E., Chuang T.Y., Yang C.Y. Effects of virtual-reality-augmented cardiopulmonary rehabilitation programs for patients with cardiovascular diseases: A systemic review. *Neuropsychiatry*. 2018; doi: 10.4172/NEUROPSYCHIATRY.1000499
32. García-Bravo S., Cuesta-Gómez A., Campuzano-Ruiz R., López-Navas M.J., Domínguez-Paniagua J., Araújo-Narváez A., Barreñada-Copete E., García-Bravo C., Flórez-García M.T., Botas-Rodríguez J., Cano-de-la-Cuerda R. Virtual reality and video games in cardiac rehabilitation programs. A systematic review. *Disabil Rehabil*. 2021; 43(4): 448–457. doi: 10.1080/09638288.2019.1631892
33. Chen Y., Cao L., Xu Y., Zhu M., Guan B., Ming W.K. Effectiveness of virtual reality in cardiac rehabilitation: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Int J Nurs Stud*. 2022; 133:104323. doi: 10.1016/j.ijnurstu.2022.104323
34. Chuang T.Y., Sung W.H., Lin C.Y. Application of a virtual reality-enhanced exercise protocol in patients after coronary bypass. *Arch Phys Med Rehabil*. 2005; 86(10): 1929–32. doi: 10.1016/j.apmr.2005.05.003.
35. Cacao Lde A., Oliveira G.U., Maynard L.G., Araújo Filho A.A., Silva W.M.Jr., Cerqueira Neto M.L., Antonioli A.R., Santana-Filho V.J. The use of the virtual reality as intervention tool in the postoperative of cardiac surgery. *Rev Bras Cir Cardiovasc*. 2013; 28(2): 281–9. doi: 10.5935/1678-9741.20130039.
36. Tarasova I.V., Trubnikova O.A., Razumnikova O.M. Plasticity of brain functional systems as a compensator resource in normal and pathological aging associated with atherosclerosis. *Atherosclerosis*. 2020; 16(1):59–67. doi: 10.15372/ATER20200108. (In Russian)
37. Pressler S.J., Jung M., Haedtke C. Interventions transformed through technology to improve cognitive function in heart failure. *J Cardiovasc Nurs*. 2019; 34(6): 430–432. doi: 10.1097/JCN.0000000000000609
38. Tarasova I.V., Razumnikova O.A., Trubnikova O.A., Mezentsev Yu.A., Kupriyana DS, Barbarash OL. Neurophysiological correlates of postoperative cognitive disorders. *Zhurnal Nevrologii i Psikiatrii imeni S.S. Korsakova*. 2021;121(2):18–23. doi:10.17116/jnevro202112102118 (In Russian)
39. Jung M., Apostolova L.G., Moser D.K., Gradus-Pizlo I., Gao S., Rogers J.L., Pressler S.J. Virtual reality cognitive intervention for heart failure: CORE study protocol. *Alzheimers Dement (NY)*. 2022; 8(1):e12230. doi: 10.1002/trc2.12230.
40. Pressler S.J. Cognitive functioning and chronic heart failure: a review of the literature (2002–July 2007). *J Cardiovasc Nurs*. 2008; 23(3): 239–249. doi: 10.1097/01.JCN.0000305096.09710.ec.
41. Gamito P., Oliveira J., Alves C., Santos N., Coelho C., Brito R. Virtual reality-based cognitive stimulation to improve cognitive functioning in community elderly: A controlled study. *Cyberpsychol Behav Soc Netw*. 2020; 23(3):150–156. doi: 10.1089/cyber.2019.0271.
42. Gamito P., Oliveira J., Morais D., Coelho C., Santos N., Alves C., Galamba A., Soeiro M., Yerra M., French H., Talmers L., Gomes T., Brito R. Cognitive stimulation of elderly individuals with instrumental virtual reality-based activities of daily life:

pre-post treatment study. *Cyberpsychol Behav Soc Netw* 2019; 22(1):69-75. doi: 10.1089/cyber.2017.0679

43. Huang K-T. Exergaming executive functions: An immersive virtual reality-based cognitive training for adults aged 50 and older. *Cyberpsychol Behav Soc Netw*. 2020 Mar;23(3):143-149. doi: 10.1089/cyber.2019.0269.

44. Trubnikova O.A., Tarasova I.V., Artamonova A.I., Syrova I.D., Barbarash O.L. Age as a risk factor for cognitive impairment in patients undergoing coronary bypass surgery *Zhurnal Nevrologii I Psikhiiayrii imeni S.S. Korsakova*. 2011; 111(8):46-49. (In Russian)

45. Optale G., Urgesi C., Busato V., Marin S., Piron L., Priftis K., Gamberini L., Capodiceci S., Bordin A. Controlling memory impairment in elderly adults using virtual reality memory training: a randomized controlled pilot study. *Neurorehabil Neural Repair*. 2010; 24(4): 348-357. doi: 10.1177/1545968309353328

46. Sakhare A.R., Yang V., Stradford J., Tsang I., Ravichandran R., Pa J. Cycling and spatial navigation in an enriched, immersive 3D virtual park environment: A feasibility study in younger and older adults. *Frontiers in Aging Neuroscience*. 2019; 11:218. doi: 10.3389/fnagi.2019.00218.

47. Howett D., Castegnaro A., Krzywicka K., Hagman J., Marchment D., Henson R., Rio M., King J.A., Burgess N., Chan D. Differentiation of mild cognitive impairment using an entorhinal cortex-based test of virtual reality navigation. *Brain*. 2019; 142(6):1751-1766. doi: 10.1093/brain/awz116

48. Zając-Lamparska L., Wiłkość-Dębczyńska M., Wojciechowski A., Podhorecka M., Polak-Szabela A., Warchoń Ł., Kędziora-Kornatowska K., Araszkiewicz A., Izdebski P. 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. doi: 10.1186/s13104-019-4810-2.

49. Borgnis F., Baglio F., Pedroli E., Rossetto F., Uccellatore L., Oliveira J.A.G., Riva G., Cipresso P. Available virtual reality-based tools for executive functions: A systematic review. *Front Psychol*. 2022; 13:833136. doi: 10.3389/fpsyg.2022.833136.

50. Manera V., Petit P.D., Derreumaux A., Orvieto I., Romagnoli M., Lyttle G., David R., Robert P. "Kitchen and cooking", a serious game for mild cognitive impairment and alzheimer's disease: A pilot study. *Front. Aging Neurosci*. 2015; 7: 24. doi: 10.3389/fnagi.2015.00024

51. Corriveau Lecavalier N., Ouellet É., Boller B., Belleville S. Use of immersive virtual reality to assess episodic memory: A validation study in older adults. *Neuropsychol. Rehabil*. 2020; 30: 462-480. doi: 10.1080/09602011.2018.1477684.

52. Ouellet É., Boller B., Corriveau-Lecavalier N., Cloutier S., Belleville S. The virtual shop: A new immersive virtual reality environment and scenario for the assessment of everyday memory. *J. Neurosci. Methods*. 2018; 303: 126-135. doi: 10.1016/j.jneumeth.2018.03.010.

53. Zygouris S., Segkouli S., Triantafyllidis A., Giakoumis D., Tsolaki M., Votis K., Tzouvaras D. Usability of the virtual supermarket test for older adults with and without cognitive impairment. *J Alzheimers Dis Rep*. 2022; 6(1): 229-234. doi: 10.3233/ADR-210064

54. Zygouris S., Iliadou P., Lazarou E., Giakoumis D., Votis K., Alexiadis A., Triantafyllidis A., Segkouli S., Tzouvaras D., Tsiatsos T., Papagianopoulos S., Tsolaki M. Detection of Mild Cognitive Impairment in an at-risk group of older adults: Can a novel self-administered serious game-based screening test improve diagnostic

accuracy? *J Alzheimers Dis*. 2020; 78(1): 405-412. doi: 10.3233/JAD-200880

55. Iliadou P., Paliokas I., Zygouris S., Lazarou E., Votis K., Tzouvaras D., Tsolaki M. A comparison of traditional and serious game-based digital markers of cognition in older adults with mild cognitive impairment and healthy controls. *J Alzheimers Dis*. 2021; 79(4):1747-1759. doi: 10.3233/JAD-201300.

56. Voinescu A., Petrini K., Fraser D. S., Lazarovicz R. A., Papav I., Fodor L. A., David D. The effectiveness of a virtual reality attention task to predict depression and anxiety in comparison with current clinical measures. *Virtual Reality*. 2021; 1-22. doi: 10.1007/s10055-021-00520-7

57. Summers J.K., Vivian D.N. Ecotherapy - A forgotten ecosystem service: A review. *Front Psychol*. 2018; 9:1389. doi: 10.3389/fpsyg.2018.01389

58. Appel L., Appel E., Bogler O., Wiseman M., Cohen L., Ein N., Abrams H.B., Campos J.L. Older adults with cognitive and/or physical impairments can benefit from immersive virtual reality experiences: A feasibility study. *Front. Med*. 2020; 6:329. doi: 10.3389/fmed.2019.00329

59. Mrakic-Spota S., Di Santo S.G., Franchini F., Arlati S., Zangiacomi A., Greci L., Moretti S., Jesuthasan N., Marzorati M., Rizzo G., Sacco M., Vezzoli A. Effects of combined physical and cognitive virtual reality-based training on cognitive impairment and oxidative network in MCI Patients: A Pilot Study. *Front Aging Neurosci*. 2018; 10: 282. doi: 10.3389/fnagi.2018.00282.

60. Cacciata M., Stromberg A., Lee J.A., Sorkin D., Lombardo D., Clancy S., Nyamathi A., Evangelista L.S. Effect of exergaming on health-related quality of life in older adults: A systematic review. *Int J Nurs Stud*. 2019; 93:30-40. doi: 10.1016/j.ijnurstu.2019.01.010.

61. Ruiuvo J.A. Exergames and cardiac rehabilitation: a review. *J Cardiopulm Rehabil Prev*. 2014; 34(1): 2-20. doi: 10.1097/HCR.0000000000000037.

62. Klompstra L., Jaarsma T., Mårtensson J., Strömberg A. Exergaming Through the eyes of patients with heart failure: A qualitative content analysis study. *Games Health J*. 2017; 6(3):152-158. doi: 10.1089/g4h.2016.0087

63. Blasco-Peris C., Fuertes-Kenneally L., Vetrovsky T., Sarabia J.M., Climent-Paya V., Manresa-Rocamora A. Effects of exergaming in patients with cardiovascular disease compared to conventional cardiac rehabilitation: A systematic review and meta-analysis. *Int J Environ Res Public Health*. 2022; 19(6): 3492. doi: 10.3390/ijerph19063492.

64. Vieira Á., Melo C., Machado J., Gabriel J. Virtual reality exercise on a home-based phase III cardiac rehabilitation program, effect on executive function, quality of life and depression, anxiety and stress: a randomized controlled trial. *Disabil Rehabil Assist Technol*. 2018; 13(2): 112-123. doi: 10.1080/17483107.2017.1297858

65. Anguera J.A., Boccanfuso J., Rintoul J.L., Al-Hashimi O., Faraji F., Janowich J., Kong E., Larraburo Y., Rolle C., Johnston E., Gazzaley A. Video game training enhances cognitive control in older adults. *Nature*. 2013; 501(7465): 97-101 doi: 10.1038/nature12486.

66. Liao Y., Chen I., Lin Y., Chen Y., Hsu W. Effects of virtual reality-based physical and cognitive training on executive function and dual-task gait performance in older adults with mild cognitive impairment: A randomized control trial. *Frontiers in Aging Neuroscience*. 2019; 11:162. doi: 10.3389/fnagi.2019.00162

Для цитирования: Разумникова О.М., Трубникова О.А. Технологии виртуальной реальности для восстановления когнитивных функций и качества жизни: применение для кардиологических пациентов с ишемией мозга. *Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний*. 2023;12(4): 133-148. DOI: 10.17802/2306-1278-2023-12-4-133-148

To cite: Razumnikova O.M., Trubnikova O.A. Use of virtual reality technologies to restore cognitive functions and quality of life: an application for cardiac patients with brain ischemia. *Complex Issues of Cardiovascular Diseases*. 2023;12(4): 133-148. DOI: 10.17802/2306-1278-2023-12-4-133-148