

<https://doi.org/10.29001/2073-8552-2023-39-3-32-36>
УДК 616.1-036.82-08:615.85:004.94

Клинические аспекты применения технологий виртуальной реальности в когнитивной реабилитации пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями

И.В. Тарасова, О.А. Трубникова, И.Н. Кухарева

Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний,
650002, Российская Федерация, Кемерово, Сосновый бульвар, 6

Аннотация

В настоящем аналитическом обзоре рассмотрены клинические аспекты применения технологий виртуальной реальности (ВР) в когнитивной реабилитации пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями. Показано, что ВР-тренинги являются одним из активно развивающихся методов реабилитации, и их использование имеет большой потенциал для лечения когнитивных расстройств широкого спектра (инсульт, сосудистые когнитивные расстройства, кардиохирургические пациенты). Перспективным методом при разработке персонализированного подхода в когнитивной реабилитации пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями является оценка изначального уровня когнитивного резерва как показателя возможной активации нейропластических процессов на фоне проведения когнитивных тренингов с использованием виртуальной среды.

Ключевые слова:	когнитивная реабилитация, виртуальная реальность, мультимодальные задачи, ишемия головного мозга, когнитивный резерв, нейропластичность.
Конфликт интересов:	авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Прозрачность финансовой деятельности:	исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-15-00379 (https://rscf.ru/project/23-15-00379/).
Для цитирования:	Тарасова И.В., Трубникова О.А., Кухарева И.Н. Клинические аспекты применения технологий виртуальной реальности в когнитивной реабилитации пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями. <i>Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины</i> . 2023;39(3):32–36. https://doi.org/10.29001/2073-8552-2023-39-3-32-36 .

Clinical aspects of virtual reality technologies application in cognitive rehabilitation of patients with cardiovascular diseases

Irina V. Tarasova, Olga A. Trubnikova, Irina N. Kukhareva

Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases,
6, Sosnoviy blvd., Kemerovo, 650002, Russian Federation

Abstract

This analytical review considers the clinical aspects of the application of virtual reality (VR) technologies in the cognitive rehabilitation of patients with cardiovascular diseases. It is shown that VR-training is one of the actively developing rehabilitation methods. Its use has great potential for the treatment of cognitive disorders of a wide range (stroke, vascular cognitive disorders, cardiac surgery patients). Promising in the development of personalized approach in the cognitive rehabilitation of cardiac patients is the estimation of the initial level of cognitive reserve as an indicator of the possible activation of neuroplastic processes against the background of cognitive training using a virtual environment.

Тарасова Ирина Валерьевна, e-mail: iriz78@mail.ru.

Keywords:	cognitive rehabilitation, virtual reality, multimodal tasks, brain ischemia, cognitive reserve, neuroplasticity.
Conflict of interest:	the authors do not declare a conflict of interest.
Financial disclosure:	the study was supported by a grant from the Russian Science Foundation № 23-15-00379 (https://rscf.ru/project/23-15-00379/).
For citation:	Tarasova I.V., Trubnikova O.A., Kukhareva I.N. Clinical aspects of virtual reality technologies application in cognitive rehabilitation of patients with cardiovascular diseases. <i>The Siberian Journal of Clinical and Experimental Medicine</i> . 2023;38(3):32–36. https://doi.org/10.29001/2073-8552-2023-38-3-32-36 .

Введение

Когнитивные расстройства являются серьезной и нерешенной проблемой общественного здравоохранения во всем мире [1]. Не вызывает сомнения тот факт, что сердечно-сосудистые заболевания являются существенным патофизиологическим фоном для развития ишемического повреждения головного мозга и когнитивных нарушений, что обуславливает их высокую медико-социальную значимость [2–4]. Существуют данные, свидетельствующие о том, что изменения в сосудах приводят к патологии ткани головного мозга задолго до клинических проявлений неврологического дефицита или когнитивного спада [5, 6].

Недавние исследования показали, что частота выявления сосудистых когнитивных расстройств у пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями достигает 40–50%, и ухудшение когнитивных функций может наблюдаться даже в отсутствие клинически значимых неблагоприятных сердечно-сосудистых событий [7, 8]. Даже после активного лечения инсульта или инфаркта большинство пациентов с ишемическим повреждением головного мозга будут иметь когнитивные, моторные и поведенческие нарушения различной степени, сохраняющиеся на протяжении длительного времени [9–11]. Ишемическое повреждение головного мозга ведет не только к низкому качеству жизни, но и к снижению ее продолжительности [7]. Ухудшение когнитивного здоровья способствует снижению приверженности пациента к лечению, что, в свою очередь, может привести к прогрессированию и ухудшению прогноза сердечно-сосудистого заболевания [12].

Пациенты, имеющие когнитивное снижение и подвергающиеся кардиохирургическим вмешательствам, имеют высокий риск усугубления когнитивных расстройств [13, 14]. Проявления послеоперационного когнитивного дефицита осложняют восстановительный процесс, снижают эффективность реабилитационных мероприятий, уменьшают возможность возврата к трудовой деятельности. Все вышеперечисленное увеличивает финансовую нагрузку на систему государственного здравоохранения [15, 16].

Правильно подобранное реабилитационное лечение может способствовать реорганизации мозговых функций, стимулировать пластичность нервной ткани, так что пациенты могут достичь максимального функционального улучшения и повысить способности к самовосстановлению. Поэтому необходимость поиска эффективных реабилитационных программ для восстановления двигательных и когнитивных функций и предотвращения прогрессирования двигательных и когнитивных дефицитов очевидна и не вызывает сомнений.

В настоящее время цифровые технологии играют ключевую роль в реформировании системы охраны психического здоровья во всем мире. Нейротехнологии, такие как виртуальная (ВР) и дополненная реальность, обладают большим потенциалом для медицинских исследований и практики. Кроме того, цифровые технологии благодаря более удобному доступу и более низким издержкам, особенно для лиц с низкими доходами или пожилых людей, могут расширить охват реабилитационных мероприятий. Цифровые инновации в сфере здравоохранения и их активная интеграция в клиническую практику необходимы для предоставления качественной, эффективной и своевременной помощи с акцентом на персональный подход к каждому клиническому случаю.

Восстановительный потенциал технологий виртуальной или дополненной реальности при когнитивных расстройствах

Новые технологии предлагают новые возможности для практикующих врачей, среди них ВР является ценным дополнением в качестве безопасной и контролируемой среды для взаимодействия с пользователем, мониторинга физической активности и выполнения когнитивных задач [17]. Манипулирование экспериментальными параметрами в приложениях ВР имеет большой потенциал для новых форм вмешательства и лечения когнитивных расстройств широкого спектра [18–21]. Созданная с помощью компьютерной графики и 3D-экранов виртуальная среда предлагает потенциальные решения проблем, возникающих в результате традиционных исследований. Последние инновации сделали эту технологию портативной, недорогой, легко доступной. Эта технология безопасна для моделирования и отработки различных навыков, поскольку виртуальная среда состоит из графики, и пользователи не подвергаются физическим рискам. ВР можно использовать как инструмент обучения, обследования и реабилитации [18, 20, 21].

В отличие от реального мира виртуальный мир может быть адаптирован к способностям и потребностям каждого человека, и, таким образом, он обеспечивает большую гибкость тренируемых задач. Анализ и контроль всех виртуальных элементов деятельности тренирующим специалистом дает возможность наблюдать индивидуальный прогресс, что повышает мотивацию и приверженность процессу реабилитации. Показано, что упражнения в среде ВР являются одним из безопасных и неинвазивных методов реабилитации пожилых людей, особенно принимая во внимание ограничения, с которыми сталкиваются пожилые люди,отягощенные сердечно-сосудистыми заболеваниями [21–24].

Y. Liao и соавт. [23] провели 12-недельную программу физических и когнитивных тренировок на основе ВР, которая привела к значительным улучшениям в ходьбе и выполнении двойных задач, что может быть связано с улучшением исполнительного контроля. M. Hassandra и соавт. [21] провели оценку возможностей использования разработанной ими программы VRADA (двойная задача в ВР) среди пожилых людей с легкой формой болезни Альцгеймера. Было продемонстрировано их позитивное отношение к ВР, так как это дает возможность пожилым людям заниматься физическими упражнениями, а высокий уровень новизны, который они испытывают при использовании ВР-программ, позволяет повысить уровень приверженности.

Таким образом, комбинированная реабилитация на основе ВР-технологий может быть ценным подходом к реабилитации пожилых людей для улучшения как двигательных, так и когнитивных функций.

Применение технологий виртуальной или дополненной реальности при восстановлении пациентов с инсультом

Инсульт является ведущей причиной инвалидности во всем мире [25, 26]. Сенсорный и двигательный дефицит, связанный с инсультом, часто лишает выживших пациентов самостоятельной подвижности и равновесия. Следовательно, есть необходимость разрабатывать методы, позволяющие использовать обе ноги во время тренировки равновесия, тем самым поощряя пациентов с гемиплегией к более активному использованию паретичной ноги.

В исследовании D. Kumar и соавт. [26] была разработана программа тренировок баланса на основе виртуальной среды, которая может индивидуально оценивать вклад каждой ноги во время задач по переносу веса. Для смягчения скуки и монотонности при выполнении заданий пациентам в разработанном интерфейсе предлагаются вариации заданий с разным уровнем сложности и мотивационные аудио-визуальные награды. Авторы считают, что использование среды ВР лучше мотивирует пациентов к тренировкам баланса и использованию паретичной ноги, при этом не следует предлагать излишнюю сложность тренировочного процесса, так как это может увеличить когнитивную нагрузку на пациента. В литературе указывается, что мотивация является важным фактором в реабилитации и часто связана с улучшением терапевтических результатов [26, 27].

Виртуальная среда может предложить участнику тренинга сочетание реалистичных изображений и звуковых эффектов, что, как было показано, повышает уровень мотивации лиц, проходящих реабилитацию [28]. Предварительные результаты исследования D. Kumar и соавт. [26] с участием 29 больных инсультом с гемиплегией показали, что разработанная виртуальная система V2BaT способствовала увеличению использования паретической ноги в контроле равновесия. Кроме того, самооценка участников в отношении удобства использования системы и их опыта взаимодействия с ВР, полученная в конце тренировок, продемонстрировала положительные эмоции, а также высокую заинтересованность в последующих тренировках.

В систематическом обзоре S. Saeedi и соавт. [24] было показано, что ВР-тренинги являются одним из активно развивающихся методов физической реабилитации для пациентов, перенесших инсульт. Рассматриваемые тре-

нинги в основном были направлены на тренировку баланса и мобильности конечностей и продемонстрировали свою эффективность. По результатам значительного числа исследований [24, 29–31] было рекомендовано подключение тренировок с использованием ВР в плановое лечение и физиотерапию постинсультных больных, использование их в качестве альтернативных методов лечения традиционными методами, так как отмечено значительное улучшение по исследуемым показателям в данной когорте пациентов.

Применение технологий виртуальной или дополненной реальности при ишемическом повреждении головного мозга, ассоциированном с кардиохирургическим вмешательством

Среди нефармакологических методов лечения когнитивных расстройств комбинированные программы физических и когнитивных тренировок получают все большее распространение [21, 32, 33]. Исследования показывают, что физическое и когнитивное развитие взаимозависимы и тесно связаны [21, 34]. Установлено, что нейрогенез продолжается даже в зрелом возрасте [35], а физические упражнения являются ключевым фактором нейрогенеза, зависимым от интенсивности и системности воздействия [36]. Сообщается об улучшении когнитивных функций после тренинга на основе сочетания физических и когнитивных упражнений по сравнению с любыми из них отдельно [37]. Применение такого подхода, как двойные задачи, сочетающего физический, моторный компонент с различными когнитивными задачами, требует значительного контроля со стороны функций внимания и исполнительных функций [38, 39].

Предварительные данные показывают, что тренирующие вмешательства с использованием мультимодального подхода могут обеспечить эффективное когнитивное восстановление у пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями, оптимизировать когнитивные и физические функции и улучшить качество жизни [32, 40]. Однако изучение влияния ВР на различные физические и психологические факторы у пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями все еще находится в зачаточном состоянии. Особенно это касается восстановления когнитивных функций в послеоперационном периоде хирургических вмешательств.

Ранее был установлен рассеянный характер поражения мозговой ткани при ишемии головного мозга, ассоциированной с кардиохирургическим вмешательством [11, 12]. В связи с этим использование программ восстановления когнитивных функций с применением технологий ВР и мультимодальных задач, подразумевающих воздействие на особенно уязвимые в ходе оперативного вмешательства регионы мозга, может, с одной стороны, расширить когнитивные ресурсы при включении в выполнение разноплановых задач большего объема мозговой ткани, а, с другой, активировать процессы нейропластичности и запустить компенсаторную перестройку ресурсов мозга в ответ на повышенную нагрузку. Благоприятствующим фактором для лучших эффектов воздействия ВР может быть высокий уровень когнитивного резерва.

Известно, что при развитии когнитивных расстройств мозговой или когнитивный резерв является протективным фактором, способствует менее выраженной возрастной и патологической реорганизации когнитивных функций

[41, 42]. Однако исследований, посвященных изучению механизмов активации нейропластических процессов на фоне проведения когнитивных тренингов с использованием виртуальной среды, недостаточно; следовательно, требуется их дальнейшее изучение.

Заключение

Использование виртуальной среды для создания новых подходов когнитивной и моторной реабилитации имеет большой потенциал для лечения когнитивных расстройств широкого спектра. ВР-тренинги являются одним из активно развивающихся методов реабилитации для пациентов, перенесших инсульт, при сосудистых

когнитивных расстройствах. Возможно использование программ восстановления когнитивных функций с применением технологий ВР и мультимодальных задач у кардиохирургических пациентов, подразумевающих воздействие на особенно уязвимые в ходе оперативного вмешательства регионы мозга.

Перспективным при разработке персонализированного подхода в когнитивной реабилитации пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями является оценка изначального уровня когнитивного резерва как показателя возможной активации нейропластических процессов на фоне проведения когнитивных тренингов с использованием виртуальной среды.

Литература / References

1. Tsang H.W.H., Lin J.J. Editorial: Novel technology in psychiatric rehabilitation. *Front. Psychiatry*. 2022;13:979888. DOI: 10.3389/fpsyt.2022.979888.
2. Nilsson P.M. Early vascular aging in hypertension. *Front. Cardiovasc. Med*. 2020;7:6. DOI: 10.3389/fcvm.2020.00006.
3. Timer S.M., Timer E., Yükselen N.P., Gökyiğit M.Ç. The relationship between polyneuropathy and cognitive functions in type 2 diabetes mellitus patients. *Med. Bull. Sisli Etfal Hosp*. 2020;54(1):41–46. DOI: 10.14744/SEMB.2018.37929.
4. Giang K.W., Jeppsson A., Karlsson M., Hansson E.C., Pivodic A., Skoog I. et al. The risk of dementia after coronary artery bypass grafting in relation to age and sex. *Alzheimers. Dement*. 2021;17(6):1042–1050. DOI: 10.1002/alz.12251.
5. Gorelick P.B., Counts S.E., Nyenhuis D. Vascular cognitive impairment and dementia. *Biochim. Biophys. Acta*. 2016;1862(5):860–868. DOI: 10.1016/j.bbdis.2015.12.015.
6. Barbay M., Taillia H., Nedelec-Ciceri C., Arnoux A., Puy L., Wiener E. et al. GRECOVASC Study Group. Vascular cognitive impairment: Advances and trends. *Rev. Neurol. (Paris)*. 2017;173(7–8):473–480. DOI: 10.1016/j.neurol.2017.06.009.
7. Evered L.A., Silbert B.S., Scott D.A., Maruff P., Ames D. Prevalence of dementia 7.5 years after coronary artery bypass graft surgery. *Anesthesiology*. 2016;125(1):62–71. DOI: 10.1097/ALN.0000000000001143.
8. Tarasova I.V., Trubnikova O.A., Barbarash O.L. EEG and clinical factors associated with mild cognitive impairment in coronary artery disease patients. *Dement. Geriatr. Cogn. Disord*. 2018;46(5–6):275–284. DOI: 10.1159/000493787.
9. Yuan S.M., Lin H. Postoperative cognitive dysfunction after coronary artery bypass grafting. *Braz. J. Cardiovasc. Surg*. 2019;34(1):76–84. DOI: 10.21470/1678-9741-2020-0365.
10. Sensenbrenner B., Rouaud O., Graule-Petot A., Guillemin S., Piver A., Giroud M. et al. High prevalence of social cognition disorders and mild cognitive impairment long term after stroke. *Alzheimer Dis. Assoc. Disord*. 2020;34(1):72–78. DOI: 10.1097/WAD.0000000000000355.
11. Tarasova I.V., Trubnikova O.A., Syrova I.D., Barbarash O.L. Long-term neurophysiological outcomes in patients undergoing coronary artery bypass grafting. *Braz. J. Cardiovasc. Surg*. 2021;36(5):629–638. DOI: 10.21470/1678-9741-2020-0390.
12. Трубникова О.А., Тарасова И.В., Малева О.В., Коган Е.С., Барбараш О.Л., Барбараш Л.С. Факторы развития стойкой послеоперационной когнитивной дисфункции у пациентов, перенесших коронарное шунтирование в условиях искусственного кровообращения. *Терапевтический архив*. 2017;89(9):41–47. [Trubnikova O.A., Tarasova I.V., Maleva O.V., Kogan E.S., Barbarash O.L., Barbarash L.S. Factors for the development of persistent postoperative cognitive dysfunction in patients undergoing coronary artery bypass surgery under extracorporeal circulation. *Terapevticheskii Arkhiv*. 2017;89(9):41–47. (In Russ.)]. DOI: 10.17116/terarkh201789941-47.
13. Indja B., Seco M., Seamark R., Kaplan J., Bannon P.G., Grieve S.M. et al. Neurocognitive and psychiatric issues post cardiac surgery. *Heart Lung Circ*. 2017;26(8):779–785. DOI: 10.1016/j.hlc.2016.12.010.
14. Trubnikova O.A., Mamontova A.S., Syrova I.D., Maleva O.V., Barbarash O.L. Does preoperative mild cognitive impairment predict postoperative cognitive dysfunction after on-pump coronary bypass surgery? *J. Alzheimers Dis*. 2014;42, Suppl 3:S45–51. DOI: 10.3233/JAD-132540.
15. Акчурин Р.С., Ширяев А.А., Васильев В.П., Галаяутдинов Д.М., Власова Э.Е. Современные тенденции в коронарной хирургии. *Патология кровообращения и кардиохирургия*. 2017;21(3S):34–44. [Akchurin R.S., Shiryayev A.A., Vasiliev V.P., Galayutdinov D.M., Vlasova E.E. Modern trends in coronary surgery. *Patologiya Krovoobrashcheniya i Kardiokhirurgiya*. 2017;21(3S):34–44. (In Russ.)]. DOI: 10.21688/1681-3472-2017-3S-34-44.
16. Gorelick P.B. Prevention of cognitive impairment: scientific guidance and windows of opportunity. *J. Neurochem*. 2018;144(5):609–616. DOI: 10.1111/jnc.14113.
17. Liu J., Huang K., Zhu B., Zhou B., Ahmad Harb A.K., Liu L. et al. Neuropsychological tests in post-operative cognitive dysfunction: methods and applications. *Front. Psychol*. 2021;12:684307. DOI: 10.3389/fpsyg.2021.684307.
18. Maggio M.G., De Luca R., Molonia F., Porcari B., Destro M., Casella C. et al. Cognitive rehabilitation in patients with traumatic brain injury: A narrative review on the emerging use of virtual reality. *J. Clin. Neurosci*. 2019;61:1–4. DOI: 10.1016/j.jocn.2018.12.020.
19. Levy C.E., Miller D.M., Akande C.A., Lok B., Marsiske M., Halan S. V-Mart, a virtual reality grocery store: A focus group study of a promising intervention for mild traumatic brain injury and posttraumatic stress disorder. *Am. J. Phys. Med. Rehabil*. 2019;98(3):191–198. DOI: 10.1097/PHM.0000000000001041.
20. Amato L., Nanev A., Piantella S., Wilson K.E., Bicknell R., Heckenberg R. et al. Assessing the utility of a virtual-reality neuropsychological test battery, “CONVIRT”, in detecting alcohol-induced cognitive impairment. *Behav. Res. Methods*. 2021;53(3):1115–1123. DOI: 10.3758/s13428-020-01485-2.
21. Hassandra M., Galanis E., Hatzigeorgiadis A., Goudas M., Mouzakidis C., Karathanasi E.M. et al. A virtual reality app for physical and cognitive training of older people with mild cognitive impairment: mixed methods feasibility study. *JMIR Serious Games*. 2021;9(1):e24170. DOI: 10.2196/24170.
22. Valenzuela T., Okubo Y., Woodbury A., Lord S.R., Delbaere K. Adherence to technology-based exercise programs in older adults: a systematic review. *J. Geriatr. Phys. Ther*. 2018;41(1):49–61. DOI: 10.1519/JPT.0000000000000095.
23. 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. *Front. Aging Neurosci*. 2019;11. DOI: 10.3389/fnagi.2019.00162.
24. Saeedi S., Ghazisaeedi M., Rezayi S. Applying game-based approaches for physical rehabilitation of poststroke patients: a systematic review. *J. Healthc. Eng*. 2021;vol. 2021:9928509. DOI: 10.1155/2021/9928509.
25. Johnson W., Onuma O., Owolabi M., Sachdev S. Stroke: a global response is needed. *Bull. World Health Organ*. 2016;94(9):634–634A. DOI: 10.2471/BLT.16.181636.
26. Kumar D., Sinha N., Dutta A., Lahiri U. Virtual reality-based balance training system augmented with operant conditioning paradigm. *Biomed. Eng. Online*. 2019;18(1):90. DOI: 10.1186/s12938-019-0709-3.
27. Hung Y.X., Huang P.C., Chen K.T., Chu W.C. What do stroke patients look for in game-based rehabilitation: a survey study. *Medicine (Baltimore)*. 2016;95(11):e3032. DOI: 10.1097/MD.0000000000003032.
28. Dias P., Silva R., Amorim P., Lains J., Roque E., Pereira I.S.F. et al. Using virtual reality to increase motivation in poststroke rehabilitation. *IEEE Comput. Graph. Appl*. 2019;39(1):64–70. DOI: 10.1109/MCG.2018.2875630.
29. Takeuchi N., Izumi S. Rehabilitation with poststroke motor recovery: a review with a focus on neural plasticity. *Stroke Res. Treat*. 2013;128641. DOI: 10.1155/2013/128641.
30. Corbetta D., Imeri F., Gatti R. Rehabilitation that incorporates virtual reality is more effective than standard rehabilitation for improving walking

- speed, balance and mobility after stroke: a systematic review. *J. Physiother.* 2015;61(3):117–124. DOI: 10.1016/j.jphys.2015.05.017.
31. Sheehy L., Taillon-Hobson A., Sveistrup H., Bilodeau M., Fergusson D., Levac D. et al. Does the addition of virtual reality training to a standard program of inpatient rehabilitation improve sitting balance ability and function after stroke? Protocol for a single-blind randomized controlled trial. *BMC Neurol.* 2016;16:42. DOI: 10.1186/s12883-016-0563-x.
 32. Сырова И.Д., Тарасова И.В., Трубникова О.А., Соснина А.С., Ложкина О.А., Белик Е.В. и др. Возможности когнитивной реабилитации с использованием метода двойных задач у пациентов в раннем послеоперационном периоде коронарного шунтирования. *CardioСоматика.* 2021;12(4):200–205. [Syrova I.D., Tarasova I.V., Trubnikova O.A., Sosnina A.S., Lozhkina O.A., Belik E.V. et al. Possibilities of neurocognitive rehabilitation using the dual tasks method in patients in the early postoperative period of coronary bypass surgery. *CardioSomatics.* 2021;12(4):200–205. (In Russ.). DOI: 10.17816/22217185.2021.4.201298.
 33. Nobari H., Rezaei S., Sheikh M., Fuentes-García J.P., Pérez-Gómez J. Effect of virtual reality exercises on the cognitive status and dual motor task performance of the aging population. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2021;18(15):8005. DOI: 10.3390/ijerph18158005.
 34. Stillman C.M., Esteban-Cornejo I., Brown B., Bender C.M., Erickson K.I. Effects of exercise on brain and cognition across age groups and health states. *Trends Neurosci.* 2020;43(7):533–543. DOI: 10.1016/j.tins.2020.04.010.
 35. Landry T., Huang H. Mini review: The relationship between energy status and adult hippocampal neurogenesis. *Neurosci. Lett.* 2021;765:136261. DOI: 10.1016/j.neulet.2021.136261.
 36. Yu H., Zhang C., Xia J., Xu B. Treadmill exercise ameliorates adult hippocampal neurogenesis possibly by adjusting the APP proteolytic pathway in APP/PS1 transgenic mice. *Int. J. Mol. Sci.* 2021; 22(17):9570. DOI: 10.3390/ijms22179570.
 37. Petrigna L., Thomas E., Gentile A., Paoli A., Pajaujene S., Palma A. et al. The evaluation of dual-task conditions on static postural control in the older adults: a systematic review and meta-analysis protocol. *Syst. Rev.* 2019;8(1):188. DOI: 10.1186/s13643-019-1107-4.
 38. Heath M., Weiler J., Gregory M.A., Gill D.P., Petrella R.J. A six-month cognitive-motor and aerobic exercise program improves executive function in persons with an objective cognitive impairment: a pilot investigation using the anti-saccade task. *J. Alzheimers Dis.* 2016;54(3):923–931. DOI: 10.3233/JAD-160288.
 39. Hsu C.L., Best J.R., Davis J.C., Nagamatsu L.S., Wang S., Boyd L.A. et al. Aerobic exercise promotes executive functions and impacts functional neural activity among older adults with vascular cognitive impairment. *Br. J. Sports Med.* 2018;52(3):184–191. DOI: 10.1136/bjsports-2016-096846.
 40. Тарасова И.В., Трубникова О.А., Кухарева И.Н., Соснина А.С., Куприянова Д.С., Шестернин В.Г. и др. Эффекты когнитивной реабилитации с применением двойной задачи у пациентов в раннем послеоперационном периоде прямой реваскуляризации миокарда. *Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний.* 2021;10(3):15–25. [Tarasova I.V., Trubnikova O.A., Kuhareva I.N., Sosnina A.S., Kupriyanova D.S., Shesternin V.G. et al. Effects of dual-task rehabilitative training in the early postoperative period after direct myocardial revascularization. *Complex Issues of Cardiovascular Diseases.* 2021;10(3):15–25. (In Russ.). DOI: 10.17802/2306-1278-2021-10-3-15-25.
 41. Schwartz C.E., Rapkin B.D., Healy B.C. Reserve and reserve-building activities research: key challenges and future directions. *BMC Neurosci.* 2016;17(1):62. DOI: 10.1186/s12868-016-0297-0.
 42. Moga D.C., Beech B.F., Abner E.L., Schmitt F.A., El Khouli R.H., Martinez A.I., et al. Intervention for cognitive reserve enhancement in delaying the onset of Alzheimer's symptomatic expression [INCREASE], a randomized controlled trial: rationale, study design, and protocol. *Trials.* 2019;20(1):806. DOI: 10.1186/s13063-019-3993-0.

Информация о вкладе авторов

Тарасова И.В., Трубникова О.А. – концепция и дизайн исследования, анализ и интерпретация данных.
Трубникова О.А. – критическая доработка рукописи, руководство исследованием.
Тарасова И.В., Кухарева И.Н. – написание рукописи.
Все авторы внесли свой вклад в работу по статье и одобрили представленную версию.

Information on author contributions

Tarasova I.V., Trubnikova O.A. – study concept and design, data analysis and interpretation.
Trubnikova O.A. – critical revision of the manuscript and study supervision.
Tarasova I.V., Kuhareva I.N. – drafting of the manuscript.
All authors contributed to the article and approved the submitted version.

Сведения об авторах

Тарасова Ирина Валерьевна, д-р мед. наук, ведущий научный сотрудник, лаборатория нейрососудистой патологии, Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний. ORCID 0000-0003-3361-1345.

E-mail: iriz78@mail.ru.

Трубникова Ольга Александровна, д-р мед. наук, заведующий лабораторией нейрососудистой патологии, Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний. ORCID 0000-0001-8260-8033.

E-mail: olgalet17@mail.ru.

Кухарева Ирина Николаевна, канд. мед. наук, врач-невролог, научный сотрудник, лаборатория нейрососудистой патологии, Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний. ORCID 0000-0002-6813-7017.

E-mail: ira-kukhareva77@mail.ru.

✉ **Тарасова Ирина Валерьевна**, e-mail: iriz78@mail.ru.

Information about the authors

Irina V. Tarasova, Dr. Sci. (Med.), Leading Research Scientist, Laboratory of Neurovascular Pathology, Research Institute of Complex Issues of Cardiovascular Diseases. ORCID 0000-0003-3361-1345.
E-mail: iriz78@mail.ru.

Olga A. Trubnikova, Dr. Sci. (Med.), Head of the Laboratory of Neurovascular Pathology, Research Institute of Complex Issues of Cardiovascular Diseases. ORCID 0000-0001-8260-8033.
E-mail: olgalet17@mail.ru.

Irina N. Kuhareva, Cand. Sci. (Med.), Neurologist, Research Scientist, Laboratory of Neurovascular Pathology, Research Institute of Complex Issues of Cardiovascular Diseases. ORCID 0000-0002-6813-7017.
E-mail: ira-kukhareva77@mail.ru.

✉ **Irina V. Tarasova**, e-mail: iriz78@mail.ru.

Received May 25, 2023

Поступила 25.05.2023