



Check for updates

Экспериментальные статьи

УДК 616.12-089-06:616.89-008.4-08:004.8

EDN JRPMPD

<https://www.doi.org/10.33910/2687-1270-2024-5-4-345-356>

Изменения тета- и альфа-активности у пациентов с сосудистым когнитивным расстройством, прошедших когнитивную реабилитацию после коронарного шунтирования

И. В. Тарасова¹, Д. С. Куприянова^{✉1}, И. Н. Кухарева¹, А. С. Соснина¹,
О. А. Трубникова¹, О. Л. Барбараш¹

¹ Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний, 650002, Россия, г. Кемерово, бульвар им. акад. А. С. Барбараша, д. 6

Сведения об авторах

Ирина Валерьевна Тарасова, SPIN-код: 7043-1340, Scopus AuthorID: 15849277200, ResearcherID: K-6756-2017, ORCID: 0000-0002-6391-0170, e-mail: iriz78@mail.ru

Дарья Сергеевна Куприянова, SPIN-код: 3129-4318, Scopus AuthorID: 57219610420, ResearcherID: AAW-2170-2021, ORCID: 0000-0002-9750-5536, e-mail: kuprds@bk.ru

Ирина Николаевна Кухарева, SPIN-код: 2514-3931, Scopus AuthorID: 57088815100, ResearcherID: N-5429-2015, ORCID: 0000-0002-6813-7017, e-mail: ira-kukhareva77@mail.ru

Анастасия Сергеевна Соснина, SPIN-код: 4410-8880, Scopus AuthorID: 5553762600, ResearcherID: G-2886-2016, ORCID: 0000-0001-8908-2070, e-mail: mamontova_1984@mail.ru

Ольга Александровна Трубникова, SPIN-код: 9174-6197, Scopus AuthorID: 25947882300, ResearcherID: N-5437-2015, ORCID: 0000-0001-8260-8033, e-mail: olgalet17@mail.ru

Ольга Леонидовна Барбараш, SPIN-код: 5373-7620, Scopus AuthorID: 56699731800, ResearcherID: A-4834-2017, ORCID: 0000-0002-4642-3610, e-mail: olb61@mail.ru

Для цитирования: Тарасова, И. В., Куприянова, Д. С., Кухарева, И. Н., Соснина, А. С., Трубникова, О. А., Барбараш, О. Л. (2024) Изменения тета- и альфа-активности у пациентов с сосудистым когнитивным расстройством, прошедших когнитивную реабилитацию после коронарного шунтирования. *Интегративная физиология*, т. 5, № 4, с. 345–356. <https://www.doi.org/10.33910/2687-1270-2024-5-4-345-356> EDN JRPMPD

Получена 22 октября 2024; прошла рецензирование 17 декабря 2024; принята 18 декабря 2024.

Финансирование: Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и образования Российской Федерации (тема фундаментального исследования № 122012000364-5 от 20 января 2022 г.). Спонсор не участвовал в разработке дизайна исследования, сборе, анализе, интерпретации данных, написании этой статьи или решении представить ее для публикации.

Права: © И. В. Тарасова, Д. С. Куприянова, И. Н. Кухарева, А. С. Соснина, О. А. Трубникова, О. Л. Барбараш (2024). Опубликовано Российским государственным педагогическим университетом им. А. И. Герцена. Открытый доступ на условиях лицензии CC BY-NC 4.0.

Аннотация. Нарушения мозговой перфузии, вызванные атеросклерозом или кардиохирургическим вмешательством, ассоциированы с когнитивными расстройствами (КР). Поиск и внедрение эффективных методов профилактики КР требуют контроля нейрофизиологических изменений, которые сопровождают реабилитационный процесс. В работе изучены изменения тета- и альфа-активности коры головного мозга у пациентов с наличием и отсутствием сосудистого когнитивного расстройства (СКР), прошедших в раннем послеоперационном периоде коронарного шунтирования (КШ) когнитивную реабилитацию. В исследовании принимали участие 104 пациента, 51 из них в раннем послеоперационном периоде КШ прошли курс комбинированного мультизадачного тренинга, 53 пациента составили группу сравнения. Признаки СКР у пациентов обеих групп выявляли перед проведением КШ с использованием модифицированной русскоязычной версии Монреальской шкалы когнитивной оценки (Montreal Cognitive Assessment (MoCA). Электроэнцефалографическое (ЭЭГ) исследование проводили в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми глазами за три–пять дней до КШ и на 11–12-е сутки после операции. Установлено, что у пациентов без СКР, прошедших тренинг, отсутствует увеличение тета-активности после КШ по сравнению с пациентами с наличием СКР ($p = 0,017$). В группе контроля

увеличение тета-активности после КШ наблюдается вне зависимости от наличия СКР. В работе продемонстрировано неблагоприятное влияние СКР на изменения мозговой активности в процессе когнитивной реабилитации. Необходимо продолжить исследования для изучения нейрофизиологических механизмов восстановления когнитивных функций после кардиохирургических операций.

Ключевые слова: сосудистые когнитивные расстройства, когнитивный тренинг, ЭЭГ, тета-ритм, альфа-ритм, коронарное шунтирование

Theta and alpha activity changes in patients with vascular cognitive disorder following cognitive rehabilitation after coronary artery bypass grafting

I. V. Tarasova¹, D. S. Kupriyanova^{✉1}, I. N. Kukhareva¹, A. S. Sosnina¹,
O. A. Trubnikova¹, O. L. Barbarash¹

¹ Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases,
6 Imeni Akademika L. S. Barbarasha Ave., Kemerovo 650002, Russia

Authors

Irina V. Tarasova, SPIN: 7043-1340, Scopus AuthorID: 15849277200, ResearcherID: K-6756-2017, ORCID: 0000-0002-6391-0170, e-mail: iriz78@mail.ru

Dariya S. Kupriyanova, SPIN: 3129-4318, Scopus AuthorID: 57219610420, ResearcherID: AAW-2170-2021, ORCID: 0000-0002-9750-5536, e-mail: kuprds@bk.ru

Irina N. Kukhareva, SPIN: 2514-3931, Scopus AuthorID: 57088815100, ResearcherID: N-5429-2015, ORCID: 0000-0002-6813-7017, e-mail: ira-kukhareva77@mail.ru

Anastasia S. Sosnina, SPIN: 4410-8880, Scopus AuthorID: 55553762600, ResearcherID: G-2886-2016, ORCID: 0000-0001-8908-2070, e-mail: mamontova_1984@mail.ru

Olga A. Trubnikova, SPIN: 9174-6197, Scopus AuthorID: 25947882300, ResearcherID: N-5437-2015, ORCID: 0000-0001-8260-8033, e-mail: olgalet17@mail.ru

Olga L. Barbarash, SPIN: 5373-7620, Scopus AuthorID: 56699731800, ResearcherID: A-4834-2017, ORCID: 0000-0002-4642-3610, e-mail: olb61@mail.ru

For citation: Tarasova, I. V., Kupriyanova, D. S., Kukhareva, I. N., Sosnina, A. S., Trubnikova, O. A., Barbarash, O. L. (2024) Theta and alpha activity changes in patients with vascular cognitive disorder following cognitive rehabilitation after coronary artery bypass grafting. *Integrative Physiology*, vol. 5, no. 4, pp. 345–356. <https://www.doi.org/10.33910/2687-1270-2024-5-4-345-346> EDN JRPMPD

Received 22 October 2024; reviewed 17 December 2024; accepted 18 December 2024.

Funding: The research was carried out with the support of the Ministry of Science and Education of the Russian Federation (topic of fundamental research No. 122012000364-5 dated January 20, 2022). The sponsor was not involved in the design of the study, the collection, analysis, interpretation of data, the writing of this article or the decision to submit it for publication.

Copyright: © I. V. Tarasova, D. S. Kupriyanova, I. N. Kukhareva, A. S. Sosnina, O. A. Trubnikova, O. L. Barbarash (2024). Published by Herzen State Pedagogical University of Russia. Open access under [CC BY-NC License 4.0](#).

Abstract. Disruption of cerebral circulation, caused by atherosclerosis or cardiac surgery, is often associated with cognitive disorders (CD). The identification and implementation of effective strategies for CD prevention require monitoring of neurophysiological changes that accompany rehabilitation. The study aimed to investigate the changes in theta and alpha brain activity in patients with and without vascular cognitive disorder (VCD) who underwent cognitive rehabilitation in the early postoperative period following coronary artery bypass grafting (CABG). The study involved 104 patients, 51 of whom participated in a combined multitasking training program during the early postoperative phase. A comparison group of 53 patients was also included. VCD symptoms were identified in patients from both groups prior to CABG using a modified version of the Montreal Cognitive Assessment (MoCA) test. Electroencephalographic (EEG) recordings were taken in a resting state with closed eyes, 3–5 days prior to CABG and at 11–12 days post-surgery. It was found that patients without VCD who underwent training exhibited no increase in theta activity after CABG compared to patients with VCD ($p=0.017$). In contrast, the control group demonstrated an increase in theta activity post-CABG, irrespective of the VCD status. These findings highlight the negative adverse impact of VCD on brain activity during cognitive rehabilitation. Further research is needed to explore the neurophysiological mechanisms underlying cognitive function recovery following cardiac surgery.

Keywords: vascular cognitive disorder, cognitive training, EEG, theta rhythm, alpha rhythm, coronary artery bypass grafting

Введение

Нарушение мозговой перфузии, вызванное атеросклерозом, ассоциировано с когнитивными расстройствами (КР) различной степени выраженности (Brain et al. 2023; Zhao et al. 2024). Эти состояния способны привести к неблагоприятному течению заболевания в долгосрочной перспективе, плохой подверженности лечению, а также высокому риску смертности (Brain et al. 2023) и представлены целым комплексом дисфункций: расстройством памяти, исполнительных функций, мышления, внимания, зрительно-пространственного восприятия по сравнению с индивидуальными нормами, такие пациенты испытывают сложности в долгосрочном планировании и осознании своих потребностей (Локшина и др. 2023; Тарасова и др. 2020а). Показано, что когнитивные изменения, связанные с сердечно-сосудистыми заболеваниями, начинают формироваться задолго до появления клинических симптомов, причем их прогрессирование наиболее выражено в пожилом возрасте (Wang et al. 2023). Сосудистые КР — термин, предложенный в 1994 г. канадским ангионеврологом В. Хачински для обозначения ухудшения высших мозговых функций — одного из важных клинических симптомов хронической ишемии мозга (Hachinski 1994). СКР часто предшествует тяжелым атрофическим процессам головного мозга и обуславливает смешанную деменцию, в большинстве случаев альцгеймеровского типа (Парфенов 2017; Chang Wong et al. 2022). Ранее установлено, что ишемические, геморрагические и гипоперфузионные состояния непосредственно влияют на стратегически важные зоны головного мозга, которые задействованы в когнитивной деятельности, такие как префронтальная, париетальная кора и структуры гиппокампа (Катунина 2015; Тарасова и др. 2020b). Развитием мозговой гипоперфузии сопровождаются сложные хирургические вмешательства, например коронарное шунтирование (КШ) с использованием искусственного кровообращения (ИК), что может также привести к значительному послеоперационному ухудшению когнитивных функций у кардиохирургических пациентов, особенно если у них уже есть когнитивный дефицит до операции.

Потенциальная обратимость СКР обуславливает поиск и внедрение эффективных методов лечения и профилактики таких состояний. Лекарственные препараты показали свою ограниченную эффективность в восстановлении когнитивных функций (Локшина и др. 2023). Это стало толчком для развития целого ряда

реабилитационных программ и технологий, которые способствуют реорганизации нервной ткани, стимуляции нейронов головного мозга и могли бы помочь функциональному улучшению когнитивных функций (Трубникова и др. 2020). Использование компьютеризированных тренингов, особенно мультимодальных, с одновременным выполнением когнитивных и моторных задач может быть перспективным для когнитивной реабилитации. Например, результаты исследования Advanced Cognitive Training for Independent and Vital Elderly (ACTIVE) позволяют предположить, что использование компьютеризированных игр для тренировки когнитивных функций может уменьшить проявления возрастного снижения когнитивных функций и уменьшить частоту заболеваемости деменцией (Steinberg et al. 2023). Есть предварительные данные, демонстрирующие, что мультизадачные когнитивные тренинги могут улучшить состояние когнитивных функций у кардиохирургических пациентов (Tarasova et al. 2023).

Для изучения фундаментальных механизмов работы мозга, а также для контроля его активности при различных патологических и функциональных состояниях, используется цифровая электроэнцефалография (ЭЭГ) (Тарасова и др. 2020b; Fernández et al. 2022; Jafari et al. 2020). Анализ ЭЭГ в состоянии покоя широко используется при изучении когнитивных нарушений, которые ассоциированы с возрастом или нейродегенеративными заболеваниями (Fernández et al. 2022; Iliadou et al. 2021; Jafari et al. 2020). В ряде исследований сообщалось об увеличении мощности тета-ритма у лиц с когнитивными нарушениями и его отрицательной корреляции с показателями шкалы оценки когнитивного статуса (Mini-Mental State Examination — MMSE) (Estarellas et al. 2024; Hamilton et al. 2021; Iliadou et al. 2021; Tarasova et al. 2018). Исследования также показали увеличение мощности тета-волн у пациентов с MCI (mild cognitive impairment, умеренное когнитивное расстройство) по сравнению со здоровыми контрольными лицами, коррелирующее с накоплением тау-белка, что указывает на возможную связь между тета-ритмом и нейродегенерацией (Musaeus et al. 2018). Установлено также, что колебания в альфа-диапазоне существенно зависят от потери кортико-кортикальных синапсов (Prieto Del Val et al. 2016). Средняя мощность альфа- и тета-диапазонов была значительно выше у лиц с умеренным когнитивным расстройством по сравнению с лицами с субъективным нарушением когнитивных функций (Iliadou et al. 2021). Таким

образом, ранее продемонстрировано, что наиболее информативными маркерами когнитивного дефицита являются показатели тета- и альфа-активности. Между тем, достаточно мало изучены нейрофизиологические изменения, которые сопровождают нейрореабилитационный процесс (Tarasova et al. 2024). Это направление нейрофизиологии находится в стадии интенсивного развития и полученные сведения могут помочь определить персонифицированные стратегии восстановления когнитивных функций.

Принимая во внимание вышесказанное, целью настоящего исследования явилось изучение изменений показателей ЭЭГ-активности на частоте тета- и альфа-ритма у пациентов с сосудистым когнитивным расстройством, прошедших когнитивную реабилитацию после коронарного шунтирования.

Материалы и методы исследования

Пациенты

В когортное выборочное проспективное исследование были отобраны согласно критериям включения и исключения 104 пациента из общего числа поступивших в клинику для проведения планового КШ. Всем пациентам перед включением в исследование проводили нейропсихологический скрининг с использованием Монреальской шкалы когнитивной оценки (MoCA) и опросника BDI-II (Beck Depression Inventory). Критерии включения на предоперационном этапе были следующие: возраст 45 лет и старше, плановое КШ в условиях ИК, праворукость для исключения влияния полушарной асимметрии на электроэнцефалографические (ЭЭГ) данные, сумма баллов по шкале MoCA более или равна 18. Критериями исключения служили: признаки депрессии (сумма баллов по шкале BDI-II более 16), деменция, желудочковые нарушения ритма, IV функциональный класс NYHA, хроническая обструктивная болезнь легких, злокачественные новообразования, алкогольная и/или наркотическая зависимость, травмы и воспалительные заболевания центральной нервной системы, а также физическая невозможность осуществлять когнитивные и постуральные тренировки. Все исследования проводили в соответствии с принципами биомедицинской этики, изложенными в Хельсинкской декларации 1964 г. и последующих поправках к ней. Они также были одобрены локальным биоэтическим комитетом НИИ комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний (Кемерово), протокол № 10 от 10.12.2020 г. Все участники дали письменное информированное согласие перед включением в исследование.

Плановое КШ проводили для всех участников исследования в стандартных условиях (Трубникова и др. 2022). У пациентов не было выявлено значимых негативных кардиоваскулярных событий и психотических расстройств в период до выписки из стационара. В раннем послеоперационном периоде пациенты были псевдослучайным образом (методом конвертов) разделены на две группы: с когнитивной реабилитацией ($n = 51$) и стандартного послеоперационного сопровождения ($n = 53$) — группа сравнения.

По результатам шкалы MoCA пациенты групп тренинга и сравнения были разделены каждая на две подгруппы: с наличием СКР (26–18 баллов по шкале MoCA) и его отсутствием (сумма баллов по шкале MoCA более или равна 27). Клинико-анамнестические показатели групп и подгрупп представлены в таблице 1.

ЭЭГ исследование

Все ЭЭГ исследования проводили в первой половине дня, в условиях свето- и шумоизоляции, в положении сидя в покое, при закрытых глазах. ЭЭГ регистрировали с помощью системы Neuvo SynAmps2 (Compumedics, Charlotte, NC, USA) в 62 стандартных каналах с частотой дискретизации 1000 Гц. Использовали 64-канальный шлем с Ag/AgCl электродами, расположенными в соответствии с международной системой 10–10 (QuikCap; Neurosoft, El Paso, TX, USA). Для референтного отведения был использован электрод, закрепленный на переносице, для заземления — лобный электрод. Сопротивление на активных электродах не превышало 10 кОм. Был проведен полуавтоматический анализ сегментов ЭЭГ в состоянии покоя с закрытыми глазами, с удалением артефактов, таких как глазодвигательная, мышечная и другая активность. С использованием преобразования Фурье на 30 безартефактных эпохах ЭЭГ длительностью 2000 мс был произведен расчет показателей суммарной мощности биопотенциалов в тета (4–8 Гц) и альфа (8–13 Гц) частотных диапазонах ЭЭГ. Полученные показатели были подвергнуты десятичному логарифмированию для нормализации их распределения (Тарасова и др. 2020а).

Мультизадачный тренинг (одномоментное выполнение постуральной и когнитивной задачи)

Мультизадачный тренинг (МТ) пациентов начинался на третьи–четвертые сутки после КШ и продолжался до их выписки из стационара в течение пяти–семи дней. Тренировочная

Табл. 1. Исходная клинико-anamnestическая характеристика пациентов

Показатель	Пациенты с когнитивным тренингом, n = 51		Пациенты группы сравнения, n = 53		p-value
	С СКР, n = 25	Без СКР, n = 26	С СКР, n = 35	Без СКР, n = 18	
Возраст, лет, Me [Q 25; Q75]	65 [60,0; 70,0]	63 [61,0; 66,0]	63 [60,0; 67,0]	57 [52,0; 64,0]	0,06
МоСА, баллы, Me [Q 25; Q75]	24 [24,0; 26,0]	28 [27,0; 28,5]	24 [23,0; 26,0]	28 [27,0; 29,0]	≥ 0,001
BDI-II, баллы Me [Q 25; Q75]	4,9 [2,0; 6,0]	2,2 [1,0; 3,0]	2,6 [0,0; 3,0]	2,7 [1,0; 4,0]	0,02
Образование, лет, Me [Q 25; Q75]	12,5 [11,0; 14,0]	12,7 [10,5; 15,5]	12,1 [11,0; 14,0]	13,0 [12,0; 15,0]	0,54
ФК стенокардии, n (%)					0,41
0–I	3 (14,0)	0 (0,0)	7 (20,5)	3 (19,0)	
II	16 (77,0)	20 (91,0)	20 (69,0)	10 (62,0)	
III–IV	2 (9,0)	2 (9,0)	7 (20,5)	3 (19,0)	
Постинфарктный кардиосклероз, n (%)	9 (37,5)	9 (41,0)	24 (69,0)	10 (55,0)	0,05
Артериальная гипертензия, n (%)	24 (96)	23 (88)	35 (100)	15 (83)	0,62
ХСН (ФК по NYHA), n (%)					0,11
I	2 (9,0)	0 (0,0)	1 (3,0)	0 (0,0)	
II	17 (77,0)	24 (100,0)	30 (86,0)	18 (100,0)	
III–IV	3 (14,0)	0 (0,0)	4 (11,0)	0 (0,0)	
Наличие СД 2 типа, n (%)	8 (36,0)	6 (25,0)	17 (49,0)	7 (39,0)	0,44
Стенозы ВСА < 50%, n (%)	15 (68,0)	7 (29,0)	12 (34,0)	4 (22,0)	0,01
Фракция выброса левого желудочка, %, Me [Q 25; Q75]	59,4 [51,0; 68,0]	64,2 [61,5; 67,5]	59,4 [55,0; 65,0]	60,4 [50,0; 67,0]	0,24

Примечание: МоСА — Монреальская шкала когнитивной оценки; ФК — функциональный класс; ХСН — хроническая сердечная недостаточность; NYHA — Нью-Йоркская кардиологическая ассоциация; СД — сахарный диабет; ВСА — внутренняя сонная артерия.

Table 1. Baseline clinical and anamnestic characteristics of patients

Variable	Patients with cognitive training, n = 51		Patients in the control group, n = 53		p-value
	With VCD, n = 25	Without VCD, n = 26	With VCD, n = 35	Without VCD, n = 18	
Age, years, Me [Q 25; Q75]	65 [60.0; 70.0]	63 [61.0; 66.0]	63 [60.0; 67.0]	57 [52.0; 64.0]	0.06
MoCA, scores, Me [Q 25; Q75]	24 [24.0; 26.0]	28 [27.0; 28.5]	24 [23.0; 26.0]	28 [27.0; 29.0]	≥0.001
BDI-II, scores Me [Q 25; Q75]	4.9 [2.0; 6.0]	2.2 [1.0; 3.0]	2.6 [0.0; 3.0]	2.7 [1.0; 4.0]	0.02
Education, years, Me [Q 25; Q75]	12.5 [11.0; 14.0]	12.7 [10.5; 15.5]	12.1 [11.0; 14.0]	13.0 [12.0; 15.0]	0.54
Angina FC, n (%)					0.41
0–I	3 (14.0)	0 (0.0)	7 (20.5)	3 (19.0)	
II	16 (77.0)	20 (91.0)	20 (69.0)	10 (62.0)	
III–IV	2 (9.0)	2 (9.0)	7 (20.5)	3 (19.0)	
Post MI cardiosclerosis, n (%)	9 (37.5)	9 (41.0)	24 (69.0)	10 (55.0)	0.05
Arterial hypertension, n (%)	24 (96)	23 (88)	35 (100)	15 (83)	0.62
NYHA HF FC, n (%)					0.11
I	2 (9.0)	0 (0.0)	1 (3.0)	0 (0.0)	
II	17 (77.0)	24 (100.0)	30 (86.0)	18 (100.0)	
III–IV	3 (14.0)	0 (0.0)	4 (11.0)	0 (0.0)	
Type 2 DM, n (%)	8 (36.0)	6 (25.0)	17 (49.0)	7 (39.0)	0.44
ICA stenosis < 50%, n (%)	15 (68.0)	7 (29.0)	12 (34.0)	4 (22.0)	0.01
Left ventricular ejection fraction, %, Me [Q 25; Q75]	59.4 [51.0; 68.0]	64.2 [61.5; 67.5]	59.4 [55.0; 65.0]	60.4 [50.0; 67.0]	0.24

Note: MoCA — Montreal Cognitive Assessment; FC — functional class; HF — heart failure; NYHA — New-York Heart Association; DM — diabetes mellitus; ICA — internal carotid artery.

сессия проводилась утром один раз в день, в специально оборудованном помещении, согласно оригинальному протоколу (Tarasova et al. 2023). В качестве моторной подзадачи использовали поддержание устойчивой позы на стабиллоплатформе, а когнитивные подзадачи включали в себя обратный счет, вербальную беглость и задачу открытого типа «Необычное использование предмета». В течение одной сессии тренинга пациенты стояли на стабиллоплатформе, поддерживая положение центра давления (ЦД) в одной и той же точке с помощью визуальной обратной связи. На экране монитора ЦД испытуемого был представлен в виде маркера, который должен был быть совмещен с целью, расположенной в центре монитора. Одновременно с выполнением задачи на поддержание постурального баланса последовательно выполнялось одно из трех когнитивных заданий. Задача на устный арифметический счет включала последовательное вычитание 7 из 100. В задаче на вербальную беглость главной целью было произнести как можно больше слов, начинающихся в заданное время (60 с). Для дивергентной задачи участников просили придумать необычные способы использования обычных предметов (например, кирпичей, ножей и газет). Каждое из когнитивных заданий выполнялось последовательно с периодами отдыха и выхода из балансировочной платформы. Продолжительность тренинга увеличивалась постепенно, начиная с 5–7-ми минут в первые дни, и достигала 20-ти минут к концу проведения курса тренинга. По завершении курса пациентов опрашивали в отношении удобства и переносимости тренинга, а также заинтересованности.

Статистический анализ

Для статистического анализа использовали программный пакет Statistica 10.0 (StatSoft, USA, SN: BXXR210F562022FA-A). По критерию Шапиро — Уилкса была проведена оценка нормальности распределения клинико-анамнестических показателей, большинство из них имели ненормальное распределение и были представлены как медиана с IQR [25; 75] или числом наблюдений (n, %). Для последующего анализа показателей были использованы непараметрические критерии. Качественные показатели в двух независимых группах анализировали при помощи критерия χ^2 Пирсона с поправкой Йетса. Выявление различий между независимыми переменными проводили с помощью критерия Фридмана и Крускала — Уоллеса. Для анализа показателей суммарной мощности

биопотенциалов ЭЭГ проводили дисперсионный анализ (ANOVA) с поправкой Гринхауза — Гейсера. Статистическая значимость различий была $\leq 0,05$.

Результаты исследования

Отдельно для суммарных показателей мощности биопотенциалов тета- и альфа-ритмов ЭЭГ были проведены ANOVA с повторными измерениями с включением в анализ следующих факторов: ГРУППА (два уровня: МТ и сравнения), СКР (два уровня: СКР/без СКР) и ВРЕМЯ ИССЛЕДОВАНИЯ (два уровня: до и после операции).

В тета-диапазоне была обнаружена статистическая значимость взаимодействия факторов ГРУППА $\times$ СКР $\times$ ВРЕМЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ($F_{1,100} = 4,35$, $p = 0,039$, $\eta = 0,04$). Установлено, что перед КШ показатели тета-активности были сопоставимы у пациентов всех сравниваемых групп. При сравнении пациентов с наличием СКР, прошедших тренинг и без тренинга, различия в послеоперационной динамике показателей мощности биопотенциалов тета-ритма отсутствовали, у обеих групп наблюдалось возрастание тета-активности на 11–12-й день после КШ. Тогда как в группе без СКР только у пациентов, не прошедших тренинг, отмечен такой же эффект, у пациентов с МТ увеличение тета-активности отсутствовало ($p = 0,014$) (рис. 1).

Также выявлено, что на 11–12-й день КШ в группе МТ у пациентов с СКР наблюдались более высокие значения мощности тета1-ритма по сравнению с пациентами без СКР ($p = 0,01$).

Для показателей альфа-активности была обнаружена статистическая значимость взаимодействия факторов ГРУППА $\times$ СКР ($F_{1,100} = 5,21$, $p = 0,025$, $\eta = 0,05$). Независимо от времени исследования, показатели мощности биопотенциалов альфа-ритма у пациентов с СКР, прошедших МТ, были выше, чем у пациентов с СКР в группе сравнения ($p = 0,009$) (рис. 2).

Установлено также, что в группе сравнения у пациентов с СКР альфа-активность была ниже, чем у лиц без СКР, независимо от времени исследования ($p = 0,034$).

Также значимым было взаимодействие факторов ГРУППА $\times$ ВРЕМЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ($F_{1,100} = 4,58$, $p = 0,034$, $\eta = 0,045$). Независимо от наличия СКР, у пациентов группы сравнения возросла мощность биопотенциалов альфа-ритма после КШ относительно предоперационных показателей ($p = 0,04$), тогда как в группе МТ такого эффекта не наблюдалось.

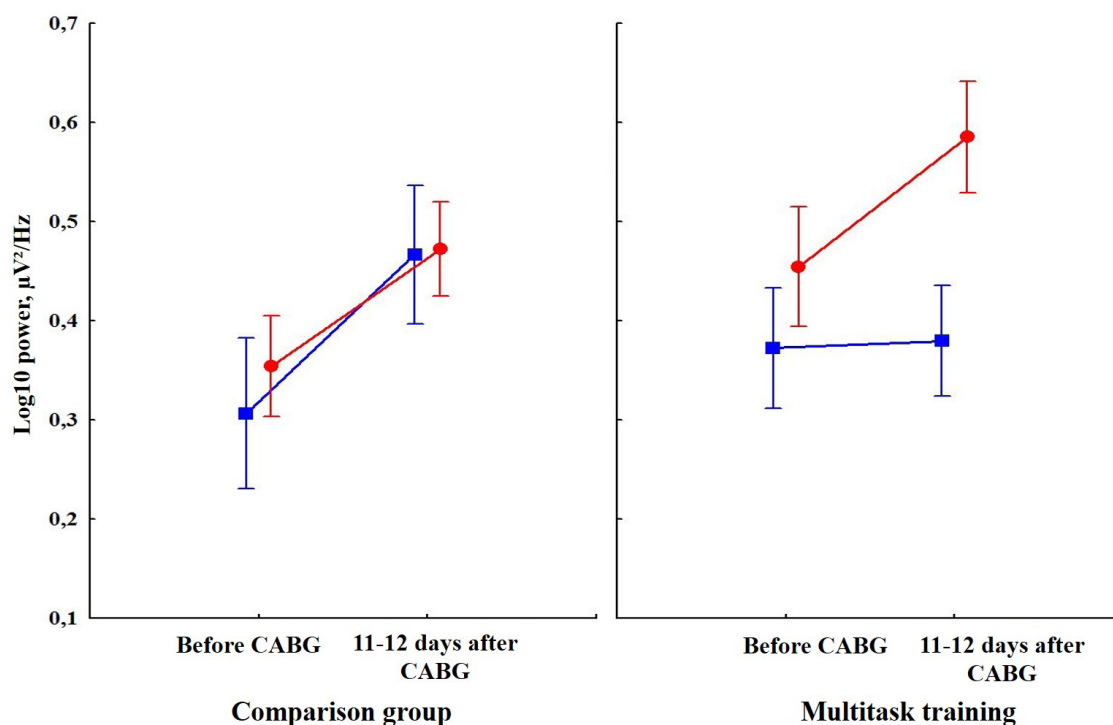


Рис. 1. Изменения тета-активности у пациентов после коронарного шунтирования с наличием и отсутствием сосудистого когнитивного расстройства в группах мультизадачного тренинга и сравнения. Синяя линия — пациенты без СКР; красная линия — пациенты с СКР

Fig. 1. Changes in theta activity in patients following coronary surgery, with and without vascular cognitive disorder (VCD), and with and without multitasking training. The blue line represents patients without VCD; the red line represents patients with VCD

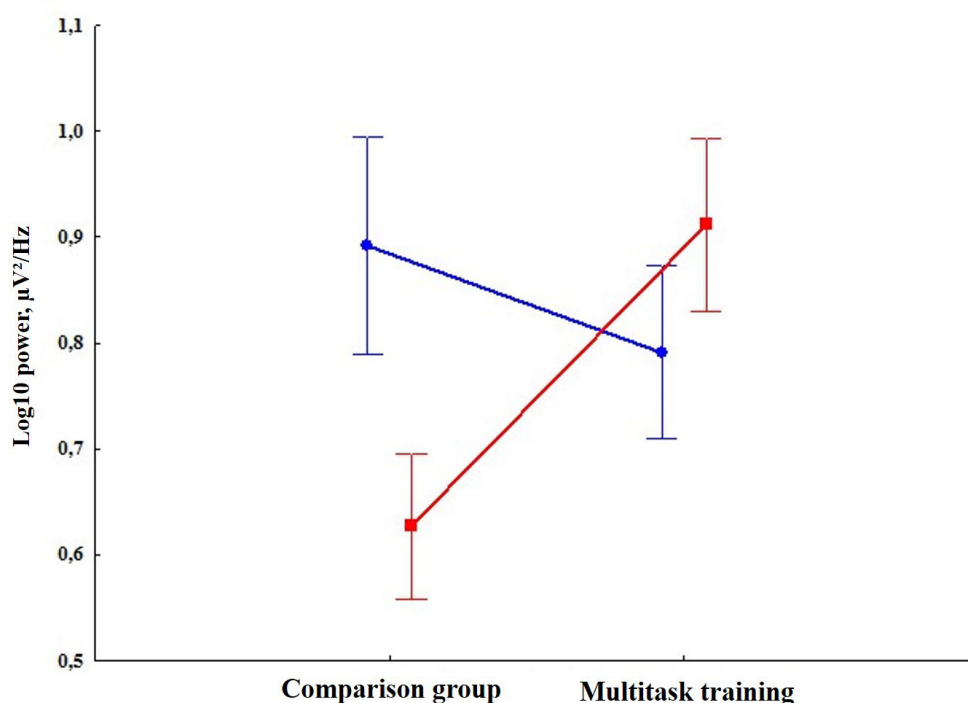


Рис. 2. Альфа-активность у пациентов с наличием и отсутствием сосудистого когнитивного расстройства в группах мультизадачного тренинга и сравнения. Синяя линия — пациенты без СКР; красная линия — пациенты с СКР

Fig. 2. Changes in alpha activity in patients with and without vascular cognitive disorder (VCD), with and without multitasking training. The blue line represents patients without VCD; the red line represents patients with VCD

Обсуждение полученных результатов

Согласно полученным результатам, у пациентов группы тренинга с наличием СКР, так же, как и в группе сравнения, выявлено увеличение тета-активности на 11–12-е сутки КШ по сравнению с предоперационными показателями. У пациентов с СКР, прошедших МТ, наблюдались более высокие значения мощности тета-ритма на 11–12-й день после КШ по сравнению с пациентами без СКР. Таким образом, наличие СКР негативно повлияло на нейрофизиологические показатели пациентов, прошедших когнитивную реабилитацию после коронарного шунтирования, что может требовать особого внимания при разработке персонализированных подходов к когнитивной реабилитации.

Функциональное значение мощности ритмов ЭЭГ в состоянии спокойного бодрствования состоит в отражении базовой активности нейронных сетей и позволяет раскрыть механизмы синхронизации / десинхронизации таламокортикальной системы, а также восходящей-нисходящей системы регуляции информационных процессов (Babiloni et al. 2020). При нормальном когнитивном старении для ЭЭГ в состоянии покоя характерна выраженная альфа-активность на частотах (8–12 Гц) в задних областях коры и низкий уровень пространственно распределенных дельта- (<4 Гц) и тета-ритмов (4–7 Гц) (Тарасова и др. 2020а; Babiloni et al. 2020; Park et al. 2024).

Реорганизация активности коры при патологическом старении и когнитивных нарушениях ассоциирована с увеличением мощности биопотенциалов тета-ритма ЭЭГ в состоянии покоя (Babiloni et al. 2020; Sheorajpanday et al. 2013; Torres-Simón et al. 2022). Высказана гипотеза, что это отражает повреждение подкорковых и таламокортикальных нейронных сетей (Babiloni et al. 2020). Увеличение тета-активности в состоянии покоя связано с церебральной ишемией различного генеза (Babiloni et al. 2020; Tarasova et al. 2023). Ранее также было показано, что у пациентов в подостром периоде ишемического инсульта более высокий уровень альфа-активности ассоциирован с благоприятным течением заболевания, в отличие от более высокого уровня дельта- и тета-активности, который был связан с негативными клиническими исходами, при этом полученные различия не были связаны с возрастом пациентов (Rollnik et al. 2019). В работе Заппасоди и коллег показано, что у пациентов с острым односторонним инсультом, у которых наблюдается увеличение низкочастотной активности и снижение асим-

метрии полушарий, выше вероятность худших функциональных результатов (Zappasodi et al. 2019).

Церебральная гипоперфузия является значимым фактором риска послеоперационного повреждения головного мозга, при этом снижение сердечного выброса и системного артериального давления может усугублять гипоперфузию мозга и гипоксию тканей (Ивкин и др. 2021). Колебания церебральной перфузии во время кардиохирургических операций могут снижаться до уровней, недостаточных для поддержания ауторегуляции головного мозга (Kasputytė et al. 2023). Предполагается также, что нарушение регуляции мозгового кровотока и/или усиление таких метаболических изменений, как накопление токсичных белков, увеличение выработки провоспалительных молекул и цитокинов, а также и повышение эксайтотоксичности приводит к нарушению нейрональной проводимости и ухудшению взаимодействий между корой и подкорковыми структурами (Torres-Simón et al. 2022). Следствием этих процессов являются изменения в частотно-пространственных характеристиках активности мозга, в частности, таких как доминирование низкочастотных ритмов в ЭЭГ покоя (Тарасова и др. 2020b; Tarasova et al. 2024).

Изменения альфа-активности, полученные в настоящей работе, характеризовались большими значениями мощности биопотенциалов у пациентов с СКР в группе, проходившей тренинг, по сравнению с пациентами без тренинга, и этот эффект не зависел от времени обследования (до или после операции). Данные литературы, сообщающие о связи альфа-активности ЭЭГ покоя при закрытых глазах с когнитивными нарушениями, неоднозначны. В работах Бабилони и коллег доминирует мнение, что нейродегенеративные процессы связаны с уменьшением мощности и амплитуды альфа-ритма (Babiloni et al. 2020; 2021). Другие авторы приводят доказательства того, что «гиперсинхронизация» или увеличение фоновой альфа-активности, наряду с увеличением тета- и дельта-активности может являться компенсаторным механизмом или быть вызвана возможной потерей ингибиторных нейронов у пациентов с когнитивным дефицитом (Iliadou et al. 2021; Moretti et al. 2015).

Таким образом, полученные в настоящей работе результаты могут быть использованы в качестве доказательной базы эффективности когнитивной реабилитации в раннем послеоперационном периоде кардиохирургических вмешательств. Понимая нейронные механизмы,

лежащие в основе эффектов многозадачного тренинга, дальнейшие исследования могут быть сосредоточены на оптимизации программ когнитивной реабилитации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии потенциального или явного конфликта интересов.

Conflict of Interest

The authors declare that there is no conflict of interest, either existing or potential.

Соответствие принципам этики

Все исследования проводили в соответствии с принципами биомедицинской этики, изложенными в Хельсинкской декларации 1964 г. и последующих поправках к ней. Они также были одобрены локальным биоэтическим комитетом НИИ комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний (Кемерово), протокол № 10 от 10.12.2020 г.

Ethics Approval

All studies were conducted in accordance with the principles of biomedical ethics outlined in the 1964 Declaration of Helsinki and its subsequent amendments. The study was also approved by the local bioethical committee of the Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases (Kemerovo, Russia), protocol No. 10, dated 10 December 2020.

Вклад авторов

- а. Тарасова Ирина Валерьевна — концепция и дизайн исследования, статистическая обработка, написание и редактирование статьи;
- б. Куприянова Дарья Сергеевна — написание статьи, сбор и обработка материала, статистическая обработка;
- в. Кухарева Ирина Николаевна — сбор и обработка материала;
- г. Соснина Анастасия Сергеевна — сбор и обработка материала;
- д. Трубникова Ольга Александровна — концепция и дизайн исследования, утверждение окончательной версии публикации;
- е. Барбараш Ольга Леонидовна — критический анализ интеллектуального содержимого, утверждение окончательной версии публикации.

Author Contributions

- a. Irina V. Tarasova — the study concept and design, statistical processing, article writing and editing;
- b. Dariya S. Kupriyanova — article writing, data collection and processing, statistical processing;
- c. Irina N. Kukhareva — data collection and processing;
- d. Anastasia S. Sosnina — data collection and processing;
- e. Olga A. Trubnikova — the study concept and design, approval of the final version of the manuscript;
- f. Olga L. Barbarash — critical analysis of intellectual content, approval of the final version of the manuscript.

Литература

- Ивкин, А. А., Григорьев, Е. В., Шукевич, Д. Л. (2021) Роль искусственного кровообращения в развитии послеоперационной когнитивной дисфункции. *Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия*, т. 14, № 2, с. 168–174. <https://doi.org/10.17116/kardio202114021168>
- Катунина, Е. А. (2015) Гетерогенность сосудистых когнитивных нарушений и вопросы терапии. *Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика*, т. 7, № 3, с. 62–69. <https://doi.org/10.14412/2074-2711-2015-3-62-69>
- Локшина, А. Б., Гришина, Д. А., Захаров, В. В. (2023) Сосудистые когнитивные нарушения: вопросы диагностики и лечения. *Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика*, т. 15, № 2, с. 106–113. <https://doi.org/10.14412/2074-2711-2023-2-106-113>
- Парфенов, В. А. (2017) Сосудистые когнитивные нарушения. В кн.: *Дисциркуляторная энцефалопатия и сосудистые когнитивные расстройства*. М.: ИМА-ПРЕСС, с. 23–26.
- Тарасова, И. В., Тарасов, Р. С., Трубникова, О. А. и др. (2020а) Изменения электрической активности головного мозга у пациентов с различной тяжестью поражения коронарного русла через один год после коронарного шунтирования. *Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний*, т. 9, № 1, с. 6–14. <https://doi.org/10.17802/2306-1278-2020-9-1-6-14>
- Тарасова, И. В., Трубникова, О. А., Разумникова, О. М. (2020б) Пластичность функциональных систем мозга как компенсаторный ресурс при нормальном и патологическом старении, ассоциированном с атеросклерозом. *Атеросклероз*, т. 16, № 1, с. 59–67. <https://doi.org/10.15372/ATER20200108>

- Трубникова, О. А., Тарасова, И. В., Барбараш, О. Л. (2020) Нейрофизиологические механизмы и перспективы использования двойных задач в восстановлении когнитивных функций у кардиохирургических пациентов. *Фундаментальная и клиническая медицина*, т. 5, № 2, с. 101–111. <https://doi.org/10.23946/2500-0764-2020-5-1-101-111>
- Трубникова, О. А., Тарасова, И. В., Кухарева, И. Н. и др. (2022) Эффективность компьютеризированных когнитивных тренингов методом двойных задач в профилактике послеоперационных когнитивных дисфункций при коронарном шунтировании. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*, т. 21, № 8, статья 3320. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2022-3320>
- Babiloni, C., Blinowska, K., Bonanni, L. et al. (2020) What electrophysiology tells us about Alzheimer's disease: A window into the synchronization and connectivity of brain neurons. *Neurobiology of Aging*, vol. 85, pp. 58–73. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2019.09.008>
- Babiloni, C., Ferri, R., Noce, G. et al. (2021) Resting state alpha electroencephalographic rhythms are differently related to aging in cognitively unimpaired seniors and patients with Alzheimer's Disease and amnesic mild cognitive impairment. *Journal of Alzheimer's Disease*, vol. 82, no. 3, pp. 1085–1114. <https://doi.org/10.3233/JAD-201271>
- Brain, J., Greene, L., Tang, E. Y. H. et al. (2023) Cardiovascular disease, associated risk factors, and risk of dementia: An umbrella review of meta-analyses. *Frontiers in Epidemiology*, vol. 3, article 1095236. <https://doi.org/10.3389/fepid.2023.1095236>
- Chang Wong, E., Chang Chui, H. (2022) Vascular cognitive impairment and dementia. *Continuum: Lifelong Learning in Neurology*, vol. 28, no. 3, pp. 750–780. <https://doi.org/10.1212/CON.0000000000001124>
- Estarellas, M., Huntley, J., Bor, D. (2024) Neural markers of reduced arousal and consciousness in mild cognitive impairment. *International Journal of Geriatric Psychiatry*, vol. 39, no. 6, article e6112. <https://doi.org/10.1002/gps.6112>
- Fernández, A., Noce, G., Del Percio, C. et al. (2022) Resting state electroencephalographic rhythms are affected by immediately preceding memory demands in cognitively unimpaired elderly and patients with mild cognitive impairment. *Frontiers in Aging Neuroscience*, vol. 14, article 907130. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2022.907130>
- Hachinski, V. (1994) Vascular dementia: A radical redefinition. *Dementia*, vol. 5, no. 3-4, pp. 130–132. <https://doi.org/10.1159/000106709>
- Hamilton, C. A., Schumacher, J., Matthews, F. et al. (2021) Slowing on quantitative EEG is associated with transition to dementia in mild cognitive impairment. *International Psychogeriatrics*, vol. 33, no. 12, pp. 1321–1325. <https://doi.org/10.1017/S1041610221001083>
- Iliadou, P., Paliokas, I., Zygouris, S. et al. (2021) A comparison of traditional and serious game-based digital markers of cognition in older adults with mild cognitive impairment and healthy controls. *Journal of Alzheimer's Disease*, vol. 79, no. 4, pp. 1747–1759. <https://doi.org/10.3233/JAD-201300>
- Jafari, Z., Kolb, B. E., Mohajerani, M. H. (2020) Neural oscillations and brain stimulation in Alzheimer's disease. *Progress in Neurobiology*, vol. 194, article 101878. <https://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2020.101878>
- Kasputytė, G., Bukauskienė, R., Širvinskas, E. et al. (2023) The effect of relative cerebral hyperperfusion during cardiac surgery with cardiopulmonary bypass to delayed neurocognitive recovery. *Perfusion*, vol. 38, no. 8, pp. 1688–1696. <https://doi.org/10.1177/02676591221129737>
- Moretti, D. V. (2015) Theta and alpha EEG frequency interplay in subjects with mild cognitive impairment: Evidence from EEG, MRI, and SPECT brain modifications. *Frontiers in Aging Neuroscience*, vol. 7, article 31. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2015.00031>
- Musaeus, C. S., Engedal, K., Høgh, P. et al. (2018) EEG theta power is an early marker of cognitive decline in dementia due to Alzheimer's disease. *Journal of Alzheimer's Disease*, vol. 64, no. 4, pp. 1359–1371. <https://doi.org/10.3233/JAD-180300>
- Park, J., Ho, R. L. M., Wang, W.-E. et al. (2024) The effect of age on alpha rhythms in the human brain derived from source localized resting-state electroencephalography. *NeuroImage*, vol. 292, article 120614. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2024.120614>
- Prieto Del Val, L., Cantero, J. L., Atienza, M. (2016) Atrophy of amygdala and abnormal memory-related alpha oscillations over posterior cingulate predict conversion to Alzheimer's disease. *Scientific Reports*, vol. 6, article 31859. <https://doi.org/10.1038/srep31859>
- Rollnik, J. D. (2019) Clinical neurophysiology of neurologic rehabilitation. *Handbook of Clinical Neurology*, vol. 161, pp. 187–194. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64142-7.00048-5>
- Sheorajpanday, R. V. A., Marien, P., Weeren, A. J. T. M. et al. (2013) EEG in silent small vessel disease: SLORETA mapping reveals cortical sources of vascular cognitive impairment no dementia in the default mode network. *Journal of Clinical Neurophysiology*, vol. 30, no. 2, pp. 178–187. <https://doi.org/10.1097/WNP.0b013e3182767d15>
- Steinberg, N., Parisi, J. M., Feger, D. M. et al. (2023) Rural-urban differences in cognition: Findings from the advanced cognitive training for independent and vital elderly trial. *Journal of Aging and Health*, vol. 35, no. 9, suppl., pp. 107S–118S. <https://doi.org/10.1177/08982643221102718>
- Tarasova, I. V., Kухарева, I. N., Kupriyanova, D. S. et al. (2024) Electrical activity changes and neurovascular unit markers in the brains of patients after cardiac surgery: Effects of multi-task cognitive training. *Biomedicines*, vol. 12, no. 4, article 756. <https://doi.org/10.3390/biomedicines12040756>

- Tarasova, I. V., Trubnikova, O. A., Barbarash, O. L. (2018) EEG and clinical factors associated with mild cognitive impairment in coronary artery disease patients. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders*, vol. 46, no. 5-6, pp. 275–284. <https://doi.org/10.1159/000493787>
- Tarasova, I. V., Trubnikova, O. A., Kukhareva, I. N. et al. (2023) A comparison of two multi-tasking approaches to cognitive training in cardiac surgery patients. *Biomedicines*, vol. 11, no. 10, article 2823. <https://doi.org/10.3390/biomedicines11102823>
- Torres-Simón, L., Doval, S., Nebreda, A. et al. (2022) Understanding brain function in vascular cognitive impairment and dementia with EEG and MEG: A systematic review. *NeuroImage. Clinical*, vol. 35, article 103040. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2022.103040>
- Wang, Y., Zhang, H., Liu, L. et al. (2023) Cognitive function and cardiovascular health in the elderly: Network analysis based on hypertension, diabetes, cerebrovascular disease, and coronary heart disease. *Frontiers in Aging Neuroscience*, vol. 15, article 1229559. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2023.1229559>
- Zappasodi, F., Pasqualetti, P., Rossini, P. M., Tecchio, F. (2019) Acute phase neuronal activity for the prognosis of stroke recovery. *Neural Plasticity*, vol. 2019, article 1971875. <https://doi.org/10.1155/2019/1971875>
- Zhao, Q., Wan, H., Pan, H., Xu, Y. (2024) Postoperative cognitive dysfunction — current research progress. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, vol. 18, article 1328790. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2024.1328790>

References

- Babiloni, C., Blinowska, K., Bonanni, L. et al. (2020) What electrophysiology tells us about Alzheimer's disease: A window into the synchronization and connectivity of brain neurons. *Neurobiology of Aging*, vol. 85, pp. 58–73. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2019.09.008> (In English)
- Babiloni, C., Ferri, R., Noce, G. et al. (2021) Resting state alpha electroencephalographic rhythms are differently related to aging in cognitively unimpaired seniors and patients with Alzheimer's Disease and amnesic mild cognitive impairment. *Journal of Alzheimer's Disease*, vol. 82, no. 3, pp. 1085–1114. <https://doi.org/10.3233/JAD-201271> (In English)
- Brain, J., Greene, L., Tang, E. Y. H. et al. (2023) Cardiovascular disease, associated risk factors, and risk of dementia: An umbrella review of meta-analyses. *Frontiers in Epidemiology*, vol. 3, article 1095236. <https://doi.org/10.3389/fepid.2023.1095236> (In English)
- Chang Wong, E., Chang Chui, H. (2022) Vascular cognitive impairment and dementia. *Continuum: Lifelong Learning in Neurology*, vol. 28, no. 3, pp. 750–780. <https://doi.org/10.1212/CON.0000000000001124> (In English)
- Estarellas, M., Huntley, J., Bor, D. (2024) Neural markers of reduced arousal and consciousness in mild cognitive impairment. *International Journal of Geriatric Psychiatry*, vol. 39, no. 6, article e6112. <https://doi.org/10.1002/gps.6112> (In English)
- Fernández, A., Noce, G., Del Percio, C. et al. (2022) Resting state electroencephalographic rhythms are affected by immediately preceding memory demands in cognitively unimpaired elderly and patients with mild cognitive impairment. *Frontiers in Aging Neuroscience*, vol. 14, article 907130. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2022.907130> (In English)
- Hachinski, V. (1994) Vascular dementia: A radical redefinition. *Dementia*, vol. 5, no. 3-4, pp. 130–132. <https://doi.org/10.1159/000106709> (In English)
- Hamilton, C. A., Schumacher, J., Matthews, F. et al. (2021) Slowing on quantitative EEG is associated with transition to dementia in mild cognitive impairment. *International Psychogeriatrics*, vol. 33, no. 12, pp. 1321–1325. <https://doi.org/10.1017/S1041610221001083> (In English)
- Iliadou, P., Paliokas, I., Zygoris, S. et al. (2021) A comparison of traditional and serious game-based digital markers of cognition in older adults with mild cognitive impairment and healthy controls. *Journal of Alzheimer's Disease*, vol. 79, no. 4, pp. 1747–1759. <https://doi.org/10.3233/JAD-201300> (In English)
- Ivkin, A. A., Grigoriyev, E. V., Shukevich, D. L. (2021) Rol' iskusstvennogo krovoobrashcheniya v razvitiy posleoperatsionnoj kognitivnoj disfunktsii [Influence of cardiopulmonary bypass on postoperative cognitive dysfunction]. *Kardiologiya i serdechno-sosudistaya khirurgiya — Russian Journal of Cardiology and Cardiovascular Surgery*, vol. 14, no. 2, pp. 168–174. <https://doi.org/10.17116/kardio202114021168> (In Russian)
- Jafari, Z., Kolb, B. E., Mohajerani, M. H. (2020) Neural oscillations and brain stimulation in Alzheimer's disease. *Progress in Neurobiology*, vol. 194, article 101878. <https://doi.org/10.1016/j.pneurobio.2020.101878> (In English)
- Kasputytė, G., Bukauskienė, R., Širvinskis, E. et al. (2023) The effect of relative cerebral hyperperfusion during cardiac surgery with cardiopulmonary bypass to delayed neurocognitive recovery. *Perfusion*, vol. 38, no. 8, pp. 1688–1696. <https://doi.org/10.1177/02676591221129737> (In English)
- Katunina, E. A. (2015) Geterogenost' sosudistyx kognitivnykh narushenij i voprosy terapii [The heterogeneity of vascular cognitive impairments and the issues of therapy]. *Nevrologiya, neyropsikhiatriya, psikhosomatika — Neurology, Neuropsychiatry, Psychosomatics*, vol. 7, no. 3, pp. 62–69. <https://doi.org/10.14412/2074-2711-2015-3-62-69> (In Russian)
- Lokshina, A. B., Grishina, D. A., Zakharov, V. V. (2023) Sosudistye kognitivnye narusheniya: voprosy diagnostiki i lecheniya [Vascular cognitive impairment: Issues of diagnosis and treatment]. *Nevrologiya, neyropsikhiatriya, psikhosomatika — Neurology, Neuropsychiatry, Psychosomatics*, vol. 15, no. 2, pp. 106–113. <https://doi.org/10.14412/2074-2711-2023-2-106-113> (In Russian)

- Moretti, D. V. (2015) Theta and alpha EEG frequency interplay in subjects with mild cognitive impairment: Evidence from EEG, MRI, and SPECT brain modifications. *Frontiers in Aging Neuroscience*, vol. 7, article 31. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2015.00031> (In English)
- Musaeus, C. S., Engedal, K., Høgh, P. et al. (2018) EEG theta power is an early marker of cognitive decline in dementia due to Alzheimer's disease. *Journal of Alzheimer's Disease*, vol. 64, no. 4, pp. 1359–1371. <https://doi.org/10.3233/JAD-180300> (In English)
- Parfenov, V. A. (2017) Sosudistye kognitivnye narusheniya [Vascular cognitive impairment]. In: *Disttsirkulyatornaya entsefalopatiya i sosudistye kognitivnye rasstrojstva [Dyscirculatory encephalopathy and vascular cognitive disorders]*. Moscow: IMA-PRESS Publ., pp. 23–26. (In Russian)
- Park, J., Ho, R. L. M., Wang, W.-E. et al. (2024) The effect of age on alpha rhythms in the human brain derived from source localized resting-state electroencephalography. *NeuroImage*, vol. 292, article 120614. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2024.120614> (In English)
- Prieto Del Val, L., Cantero, J. L., Atienza, M. (2016) Atrophy of amygdala and abnormal memory-related alpha oscillations over posterior cingulate predict conversion to Alzheimer's disease. *Scientific Reports*, vol. 6, article 31859. <https://doi.org/10.1038/srep31859> (In English)
- Rollnik, J. D. (2019) Clinical neurophysiology of neurologic rehabilitation. *Handbook of Clinical Neurology*, vol. 161, pp. 187–194. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64142-7.00048-5> (In English)
- Sheorajpanday, R. V. A., Marien, P., Weeren, A. J. T. M. et al. (2013) EEG in silent small vessel disease: SLORETA mapping reveals cortical sources of vascular cognitive impairment no dementia in the default mode network. *Journal of Clinical Neurophysiology*, vol. 30, no. 2, pp. 178–187. <https://doi.org/10.1097/WNP.0b013e3182767d15> (In English)
- Steinberg, N., Parisi, J. M., Feger, D. M. et al. (2023) Rural-urban differences in cognition: Findings from the advanced cognitive training for independent and vital elderly trial. *Journal of Aging and Health*, vol. 35, no. 9, suppl., pp. 107S–118S. <https://doi.org/10.1177/08982643221102718> (In English)
- Tarasova, I. V., Kukhareva, I. N., Kupriyanova, D. S. et al. (2024) Electrical activity changes and neurovascular unit markers in the brains of patients after cardiac surgery: Effects of multi-task cognitive training. *Biomedicines*, vol. 12, no. 4, article 756. <https://doi.org/10.3390/biomedicines12040756> (In English)
- Tarasova, I. V., Tarasov, R. S., Trubnikova, O. A. et al. (2020a) Izmeneniya elektricheskoy aktivnosti golovnogo mozga u patsientov s razlichnoj tyazhest'yu porazheniya koronarnogo rusla cherez odin god posle koronarnogo shuntirovaniya [The changes of brain electric activity in patients with different severity of coronary atherosclerosis one-year after coronary artery bypass grafting]. *Kompleksnye problemy serdechno-sosudistyykh zabolevanij — Complex Issues of Cardiovascular Diseases*, vol. 9, no. 1, pp. 6–14. <https://doi.org/10.17802/2306-1278-2020-9-1-6-14> (In Russian)
- Tarasova, I. V., Trubnikova, O. A., Razumnikova, O. M. (2020b) Plastichnost' funktsional'nykh sistem mozga kak kompensatornyy resurs pri normal'nom i patologicheskom starenii, assotsiirovannom s aterosklerozom [Plasticity of brain functional systems as a compensator resource in normal and pathological aging associated with atherosclerosis]. *Ateroskleroz*, vol. 16, no. 1, pp. 59–67. <https://doi.org/10.15372/ATER20200108> (In Russian)
- Tarasova, I. V., Trubnikova, O. A., Barbarash, O. L. (2018) EEG and clinical factors associated with mild cognitive impairment in coronary artery disease patients. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders*, vol. 46, no. 5-6, pp. 275–284. <https://doi.org/10.1159/000493787> (In English)
- Tarasova, I. V., Trubnikova, O. A., Kukhareva, I. N. et al. (2023) A comparison of two multi-tasking approaches to cognitive training in cardiac surgery patients. *Biomedicines*, vol. 11, no. 10, article 2823. <https://doi.org/10.3390/biomedicines11102823> (In English)
- Torres-Simón, L., Doval, S., Nebreda, A. et al. (2022) Understanding brain function in vascular cognitive impairment and dementia with EEG and MEG: A systematic review. *NeuroImage. Clinical*, vol. 35, article 103040. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2022.103040> (In English)
- Trubnikova, O. A., Tarasova, I. V., Barbarash, O. L. (2020) Nejrofiziologicheskie mekhanizmy i perspektivy ispol'zovaniya dvojnykh zadach v vosstanovlenii kognitivnykh funktsij u kardiokhirurgicheskikh patsientov [Neurophysiological mechanisms and perspective for the use of dual tasks in recovering cognitive function after cardiac surgery]. *Fundamental'naya i klinicheskaya meditsina — Fundamental and Clinical Medicine*, vol. 5, no. 2, pp. 101–111. <https://doi.org/10.23946/2500-0764-2020-5-1-101-111> (In Russian)
- Trubnikova, O. A., Tarasova, I. V., Kukhareva, I. N. et al. (2022) Effektivnost' komp'yuterizirovannykh kognitivnykh treningov metodom dvojnykh zadach v profilaktike posleoperatsionnykh kognitivnykh disfunktsij pri koronarnom shuntirovanii [Effectiveness of dual-task computerized cognitive training in the prevention of postoperative cognitive dysfunction in coronary bypass surgery]. *Kardiovaskulyarnaya terapiya i profilaktika — Cardiovascular Therapy and Prevention*, vol. 21, no. 8, article 3320. <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2022-3320> (In Russian)
- Wang, Y., Zhang, H., Liu, L. et al. (2023) Cognitive function and cardiovascular health in the elderly: Network analysis based on hypertension, diabetes, cerebrovascular disease, and coronary heart disease. *Frontiers in Aging Neuroscience*, vol. 15, article 1229559. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2023.1229559> (In English)
- Zappasodi, F., Pasqualetti, P., Rossini, P. M., Tecchio, F. (2019) Acute phase neuronal activity for the prognosis of stroke recovery. *Neural Plasticity*, vol. 2019, article 1971875. <https://doi.org/10.1155/2019/1971875> (In English)
- Zhao, Q., Wan, H., Pan, H., Xu, Y. (2024) Postoperative cognitive dysfunction — current research progress. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, vol. 18, article 1328790. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2024.1328790> (In English)