

УДК 612.821:615.8

DOI 10.17802/2306-1278-2025-14-6S-193-203

ОСОБЕННОСТИ ТОПОГРАФИИ МОЗГОВОЙ АКТИВНОСТИ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ МНОГОЗАДАЧНОГО КОГНИТИВНОГО ТРЕНИНГА В ПОСЛЕОПЕРАЦИОННОМ ПЕРИОДЕ КОРОНАРНОГО ШУНТИРОВАНИЯ

И.В. Тарасова, Д.С. Куприянова, И.Н. Кухарева, А.С. Соснина, О.А. Трубникова, О.Л. Барбараш

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний», бульвар им. акад. Л.С. Барбараша, 6, Кемерово, Российская Федерация, 650002

Основные положения

- Впервые продемонстрировано, что проведение многозадачного когнитивного тренинга у пациентов после КШ способствует снижению плотности источников тока низкочастотной активности во фронтотемпоральных и медиобазальных отделах мозга, которые отвечают за кодирование памяти и регуляцию общего тонуса.

Цель

Изучить особенности топографии мозговой активности, оцененной с помощью метода standardized low resolution brain electromagnetic tomography (sLORETA) при применении многозадачного когнитивного тренинга после проведения коронарного шунтирования (КШ).

Материалы и методы

В проспективное исследование были включены 100 пациентов, поступившие в стационар для проведения КШ, в возрасте от 45 до 75 лет. Пациенты в произвольном порядке (методом конвертов) были разделены на две группы: многозадачного когнитивного тренинга (МКТ) ($n = 50$) и сравнения, без проведения тренинга ($n = 50$). Протокол МКТ включал постуральную задачу, выполняемую одновременно с когнитивными задачами на умственный счет, вербальную беглость и необычного использования обычного предмета. Курс МКТ проводился ежедневно, начиная с 3–4-го дня после КШ, в течение 5–7 дней. Метод локализации источников – standardized low resolution brain electromagnetic tomography (sLORETA) применялся для оценки топографии изменений электрической активности мозга.

Результаты

Установлено, что после применения МКТ в раннем послеоперационном периоде КШ наблюдалось уменьшение плотности источников тока на частоте 3–5 и 5–7 Гц по сравнению с предоперационными показателями во фронтотемпоральных регионах коры мозга ($t > 3,43$; $p < 0,003$ и $t > 3,53$; $p < 0,007$). Межгрупповые различия наблюдались в медиобазальных регионах мозга, пациенты после МКТ имели более низкую плотность источников активности в диапазоне 3–5 Гц по сравнению с группой без тренинга ($t > -3,48$; $p < 0,04$).

Заключение

Проведение МКТ способствовало снижению низкочастотной активности у пациентов после КШ. Топографические особенности были связаны с передневисочными и медиобазальными отделами мозга, которые отвечают за кодирование памяти и регуляцию общего тонуса. Результаты настоящего исследования подчеркивают важность изучения нейронных механизмов, лежащих в основе эффективности многозадачных вмешательств в когнитивной реабилитации. Полученные данные могут быть полезны при разработке и проведении дальнейших исследований, направленных на улучшение программ когнитивной реабилитации.

Ключевые слова

ПОКД • Когнитивный тренинг • Активность мозга • SLORETA • Коронарное шунтирование

Поступила в редакцию: 29.10.2025; поступила после доработки: 15.11.2025; принята к печати: 09.12.2025

Для корреспонденции: Ирина Валерьевна Тарасова, taraiv@kemcardio.ru; адрес: бульвар им. акад. Л.С. Барбараша, 6, Кемерово, Россия, 650002

Corresponding author: Irina V. Tarasova, taraiv@kemcardio.ru; address: 6, Acad. L.S. Barbarash blvd., Kemerovo, Russia, 650002

THE TOPOLOGICAL FEATURES OF THE BRAIN ACTIVITY DURING MULTITASK COGNITIVE TRAINING IN THE POSTOPERATIVE PERIOD CORONARY ARTERY BYPASS GRAFTING

I.V. Tarasova, D.S. Kupriyanova, I.N. Kukhareva, A.S. Sosnina, O.A. Trubnikova,
O.L. Barbarash

Federal State Budgetary Scientific Institution Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases, 6, Acad. L.S. Barbarash blvd., Kemerovo, Russian Federation, 650002

Highlights

- It has been demonstrated for the first time that multitasking cognitive training reduced the density of low-frequency current sources in the frontal and temporal regions of the brain involved in encoding memories and regulating general brain activity in patients after coronary artery bypass surgery.

Aim	To study the topological features of brain activity assessed using the standardized low-resolution brain electromagnetic tomography (sLORETA) method in patients with multitasking cognitive training after coronary artery bypass grafting (CABG).
Methods	A prospective study enrolled 100 patients admitted to the hospital for CABG, aged 45 to 75 years. All the patients were randomly assigned to a group with multitask cognitive training (MCT) or a comparison group without training (n = 50). The MCT protocol included a postural task performed simultaneously with cognitive tasks involving mental arithmetic, verbal fluency, and the unusual use of a common object. The MCT course was conducted daily, starting 3–4 days after CABG, and lasted 5–7 days. Standardized low-resolution brain electromagnetic tomography (sLORETA) was used to localize current density sources to assess the topography of changes in brain electrical activity.
Results	It was found that there was a decrease in the frontotemporal density of current sources at frequencies of 3–5 and 5–7 Hz after MCT during the early postoperative period CABG, compared to preoperative values ($t > 3.43$; $p < 0.003$ and $t > 3.53$; $p < 0.007$). Between-group differences were observed in the mediobasal regions of the brain; patients after MCT had a lower density of activity sources in the 3–5 Hz range compared to the group without training ($t > -3.48$; $p < 0.04$).
Conclusion	The MCT helped to reduce low-frequency activity in patients after coronary artery bypass grafting (CABG). Topographic features were associated with the frontotemporal and medial basal regions of the brain, which are involved in memory encoding and regulating general brain activity. These findings emphasize the significance of investigating neural mechanisms underlying the effectiveness of multitasking interventions in cognitive rehabilitation. The data obtained can be utilized to develop and conduct future research aimed at enhancing cognitive rehabilitation programs.
Keywords	POCD • Cognitive training • Brain activity • SLORETA • Coronary surgery

Received: 29.10.2025; received in revised form: 15.11.2025; accepted: 09.12.2025

Список сокращений

LORETA – low resolution brain electromagnetic tomography (электромагнитная томография мозга низкого разрешения)	ИБС – ишемическая болезнь сердца
MNI – Montreal Neurological Institute (Монреальский институт неврологии)	ИК – искусственное кровообращение
MoCA – Montreal Cognitive Assessment (Монреальская шкала когнитивной оценки)	КШ – коронарное шунтирование
	МКТ – многозадачный когнитивный тренинг
	ПОКД – послеоперационная когнитивная дисфункция
	ХСН – хроническая сердечная недостаточность
	ЭЭГ – электроэнцефалография

Введение

В настоящее время активно развивается сфера исследований, которая направлена на изучение

нейрофизиологических процессов, связанных с восстановлением нарушенных когнитивных функций [1, 2]. Одним широко применяемых методов

исследования функционирования мозга в норме и при различных патологиях является электроэнцефалография (ЭЭГ). ЭЭГ позволяет регистрировать биоэлектрическую активность мозга в различные моменты времени и при различных функциональных состояниях пациента, таких как спокойное бодрствование, выполнение нагрузочных проб, сон, до и после медицинских вмешательств [3].

Метод локализации источников или электромагнитная томография мозга низкого разрешения (low resolution brain electromagnetic tomography – LORETA) [4] позволяет оценивать электрическую активность в глубинных структурах головного мозга на основе регистрации с электродов на поверхности скальпа. Данный метод основан на предположении, что соседние нейроны активируются одновременно и синхронно, что позволяет решить «обратную задачу», то есть локализовать электрическую нейронную активность на основе экстракраниальных измерений [5].

В проведенных ранее исследованиях было продемонстрировано, что LORETA анализ может быть полезным для выявления специфических паттернов активности мозга, характерных для различных когнитивных процессов и развития неврологических заболеваний [6, 7]. Однако нейрофизиологические исследования, направленные на изучение процесса восстановления нарушенных когнитивных функций, особенно с использованием метода LORETA, ограничены и их результаты противоречивы.

Поскольку проведение кардиохирургических вмешательств может осложниться развитием осложнений, таких как делирий или послеоперационная когнитивная дисфункция (ПОКД) [8], вопрос о способах и подходах к модификации когнитивного статуса у этой категории пациентов является предметом активного обсуждения. В некоторых исследованиях указывается, что многозадачный когнитивный тренинг (МКТ) может снизить риск развития делирия и улучшить состояние когнитивных функций в послеоперационном периоде кардиохирургических вмешательств [9, 10]. При этом необходимо отслеживать функциональные изменения в мозге на различных этапах восстановительного процесса. Применение ЭЭГ высокого разрешения в комплексе с LORETA анализом дает возможность более точно локализовать источники электрической активности в мозговой ткани, стимулируемые когнитивным тренингом.

Принимая во внимание вышесказанное, целью настоящего исследования явилось изучение особенности топографии мозговой активности, оцененной с помощью метода standardized low resolution brain electromagnetic tomography (sLORETA) при применении многозадачного когнитивного тренинга (МКТ) после проведения коронарного шунтирования (КШ).

Материалы и методы

Пациенты

В исследовании приняли участие пациенты, которые соответствовали критериям включения и исключения и были госпитализированы для проведения плановой операции КШ. Протокол проспективного рандомизированного исследования был одобрен локальным этическим комитетом учреждения (№ 11/1 от 22.11.2021). Исследование выполнено в соответствии с принципами надлежащей клинической практики (приказ Министерства здравоохранения РФ № 200н от 01.04.2016) и Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (2013 г.). Перед тем как пациенты были включены в исследование, они прошли прескрининг согласно Монреальской шкале когнитивной оценки (MoCA) и опроснику депрессии Бека (BDII). Все пациенты, включенные в исследование, подписали информированное добровольное согласие.

Критериями включения в исследования явились: мужской пол, возраст 45–75 лет, плановое коронарное шунтирование (КШ) в условиях искусственного кровообращения (ИК), наличие послеоперационной когнитивной дисфункции (ПОКД) на 2–3-и сутки после операции, добровольное информированное согласие.

Критерии исключения: хроническая обструктивная болезнь легких, онкопатология, воспалительные заболевания и травмы головного мозга в анамнезе, эпизоды нарушений мозгового кровообращения, наличие алкогольной или наркотической зависимости, показатель Монреальской шкалы оценки когнитивных функций (MoCA) ≤ 18 баллов, сочетание ишемической болезни сердца и пороков клапанов сердца, повторное или сочетанное КШ, гибридное вмешательство, тяжелые нарушения ритма и проводимости сердца, показатель шкалы депрессии Бека II (BDII) ≥ 16 баллов, отказ от участия в исследовании.

Пациенты в произвольном порядке (методом конвертов) были разделены на две группы: МКТ ($n = 50$) и сравнения, без проведения тренинга ($n = 50$). Группы были сопоставимы по основным клиникоанамнестическим показателям (табл. 1).

В рамках подготовки к хирургическому вмешательству всем пациентам был проведён комплекс стандартных клинических исследований, а также неврологический осмотр. Была назначена терапия, соответствовавшая актуальным национальным и европейским протоколам ведения пациентов с ишемической болезнью сердца (ИБС), хронической сердечной недостаточностью (ХСН) и артериальной гипертензией. Коронарное шунтирование было выполнено согласно стандартным протоколам анестезии и ИК с нормотермией.

Психометрическое тестирование

Расширенное психометрическое тестирование с помощью программноаппаратного комплекса «Status PF» (свидетельство № 2001610233 Роспатента от 05.03.2001) оценивало функции внимания, исполнительного контроля и психомоторной скорости, а также кратковременной памяти до операции, на 2–3 и 11–12-е сутки после операции. Для диагностики ПОКД на 2–3 сутки после КШ, а также после завершения когнитивного тренинга на 11–12-й день или перед выпиской пациентов группы без тренинга, использовался ранее установленный критерий 20%-го снижения в 20% тестов из всей тестовой батареи (всего тестов – 12). Индивидуальный анализ относительных изменений когнитивных показателей проводился с применением следующей формулы:

((исходное значение – послеоперационное значение показателя) / исходное значение) × 100% [11].

Многозадачный когнитивный тренинг

Курс реабилитации начинался через 3–4 дня после операции КШ, количество ежедневных занятий варьировалось в зависимости от срока пребывания пациента в стационаре. Среднее количество тренировок составило 6,2. Сеансы МКТ проводил квалифицированный специалист, который давал пациентам инструкции по тренировочным заданиям перед началом сеанса. Тренировочная сессия продолжительностью 15–20 минут включала выполнение двойных заданий, предполагающих одновременное выполнение одной моторной

и одной из трех когнитивной задачи, последовательно сменяемых в течение сеанса МКТ. Подробное описание данного метода было представлено ранее [12].

ЭЭГ исследование и sLORETA анализ

Монопольная ЭЭГ регистрировалась в состоянии покоя в положении сидя с закрытыми глазами на усилителе Neuvo SynAmps2 (Compumedics, США) в 62 стандартных отведениях системы 10–10 в условиях света и шумоизолированного помещения. Все ЭЭГ исследования проводились до операции и после завершения когнитивного тренинга на 11–12-й день или перед выпиской пациентов группы без МКТ. Оцифровка ЭЭГ данных осуществлялась с частотой 1 000 Гц при полосе пропускания усилителя 1,0–50,0 Гц.

Предобработка данных для sLORETA анализа ЭЭГ покоя осуществлялась с использованием программных алгоритмов EEGLab, разработанного на основе MATLAB (MathWorks, США). Далее с помощью программы LORETAkey 2017.11.01 (free academic software) рассчитывали динамический кроссспектр в 4-х частотных диапазонах (3–5 Гц, 5–7 Гц, 7–9 Гц и 9–11 Гц) и для каждого из 6 239 вокселей рассчитывали плотность источников тока. В программе «Scan 4.5» были автоматически определены частотные диапазоны на основе среднего значения частоты максимальной спектральной мощности в альфа-диапазоне, которая для данной группы пациентов составила 9,3 Гц.

Таблица 1. Клинико-anamnestические и интраоперационные показатели в группах пациентов с наличием и отсутствием многозадачного когнитивного тренинга (МКТ)

Table 1. Clinical, anamnestic and intraoperative parameters in groups of patients with and without multitasking cognitive training (MCT)

Показатель / Variable	МКТ / MCT (n = 50)	Без МКТ / Without MCT (n = 50)	p
Возраст, лет / Age, years, Me [25; 75]	64,5 [60,5; 68,5]	63,0 [57,0; 67,0]	0,21
Образование, лет / Education, years, Me [25; 75]	12,0 [11; 15]	12 [11; 15]	0,57
MoCA, баллы / scores, Me [25; 75]	27 [26; 28]	26 [24,5; 27,5]	0,22
BDI-II, баллы / scores, Me [25; 75]	2 [1; 5,0]	1 [1; 4]	0,053
Функциональный класс стенокардии / Angina functional class, n (%) I–II III	45 (90) 5 (10)	40 (80) 10 (20)	0,26
Функциональный класс ХСН / Heart failure functional class (NYHA), n (%) I–II III	48 (96) 2 (4)	47 (94) 3 (6)	0,96
Фракция выброса левого желудочка / Left ventriculi ejection fraction, %, Me [25; 75]	63 [56; 68]	62,5 [48; 66]	0,12
Стенозы сонных артерий / Carotid artery stenoses ≤ 50%, n (%)	25 (50)	20 (40)	0,42
Сахарный диабет 2 типа / Type 2 diabetes, n (%)	15 (30)	18 (36)	0,67
Длительность ИК, мин / Cardiopulmonary bypass time, min, Me [25; 75]	91 [78; 102]	78 [59; 105]	0,31
Длительность ишемии миокарда, мин / Myocardial ischemia time, min, Me [25; 75]	54 [47; 67]	52 [40; 62]	0,28

Примечание: MoCA – Монреальская шкала когнитивной оценки, BDI-II – опросник депрессии Бека, ИК – искусственное кровообращение, NYHA – New York Heart Association, ХСН – хроническая сердечная недостаточность.

Note: MoCA – Montreal Cognitive Assessment Scale, BDI-II – Beck Depression Inventory, CPB – cardiopulmonary bypass, NYHA – New York Heart Association, CHF – chronic heart failure.

Статистический анализ

Анализ клиникоanamнестических показателей проводился с помощью Statistica 10.0 (StatSoft, США, SN: BXXR210F562022FAA). Распределение переменных было оценено в тесте Шапиро–Уилкса. Большинство клинических показателей не соответствовали нормальному распределению и были представлены в виде медианы с межквартильным размахом [25; 75] или количества наблюдений (n, %). Межгрупповые сравнения непрерывных переменных проводились с помощью критерия Манна–Уитни. Сравнение качественных переменных проводилось с помощью теста χ^2 с поправкой Йетса.

Анализ показателей плотности источников тока проводили с помощью метода статистического непараметрического картирования (statistical nonparametrical mapping) с использованием 5 000 рандомизаций в пакете LORETAkey. Был рассчитан контраст плотности источников тока до КШ и после проведения МКТ в группе тренинга и до и после КШ – у пациентов группы сравнения, а также межгрупповые контрасты.

Статистическая достоверность всех полученных различий была определена при уровне $p = 0,05$.

Результаты

sLORETA в группе МКТ

Как показали результаты sLORETA анализа, пациенты группы МКТ продемонстрировали уменьшение плотности источников тока на частоте 3–5 и 5–7 Гц после проведения когнитивного тренинга, на 11–12-е сутки после КШ, по сравнению с предоперационными показателями ($t > 3,43$; $p < 0,003$ и $t > 3,53$; $p < 0,007$). Локализация различий была связана с полями Бродмана 21 и 38, темпоральной долей, а также верхней и средней темпоральной извилиной (рис. 1А, В).

Координаты, стандартизованные согласно правилам Montreal Neurological Institute (MNI) для областей головного мозга, показывающие самые большие различия между предоперационными и послеоперационными данными, представлены в табл. 2.

На частоте 7–9 Гц sLORETA анализ показал, что после проведения МКТ у пациентов наблюдалось увеличение плотности источников тока по сравнению с предоперационными показателями ($t > 3,98$; $p < 0,02$). Локализация различий была связана с полями Бродмана 1, 2 и 3, париетальной долей, постцентральной извилиной (рис. 2А). Уменьшение плотности источников тока в темпоральных регионах не достигло статистической значимости ($p > 0,05$).

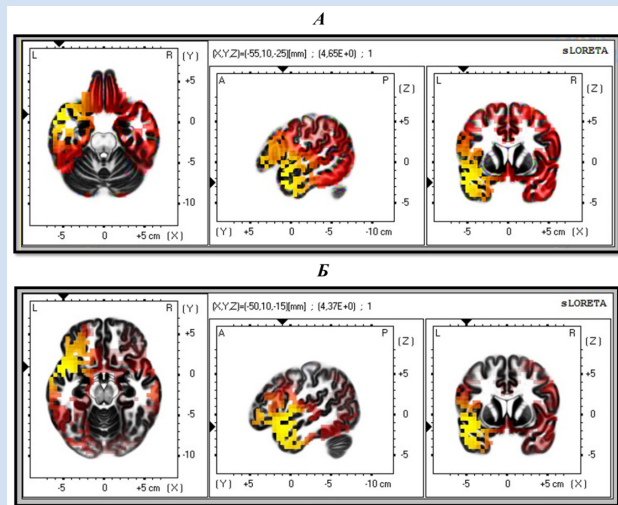


Рисунок 1. Плотность источников тока на частоте 3–5 (А) и 5–7 (В) Гц на 11–12-е сутки после КШ по сравнению с предоперационными показателями у пациентов, прошедших МКТ (n = 50). Желтые участки, где активность перед операцией была выше, чем после тренинга

Figure 1. Current source density in frequency band 3–5 (A) and 5–7 (B) Hz at 11–12 days after CABG compared with preoperative values in patients with MCT (n = 50). Yellow blobs indicate higher activity before surgery than after training

Таблица 2. Координаты MNI для областей мозга, показывающие пять наибольших различий между предоперационными и послеоперационными показателями плотности источников тока на частоте 3–7 Гц у пациентов с МКТ (n = 50)

Table 2. MNI coordinates for brain regions showing the five largest differences between pre-operative and postoperative current source density in frequency band 3–7 Hz in MCT patients (n = 50)

№	t-value	MNI координаты / coordinates			Поле Бродмана / Brodman's area	Структуры мозга / Brain structures	p-value
		X	Y	Z			
Частотный диапазон 3–5 Гц / frequency band 3–5 Hz							
1	4,65	–55	10	–25	21	Temporal Lobe, Middle Temporal Gyrus	< 0,05
2	4,64	–55	10	–15	38	Temporal Lobe, Superior Temporal Gyrus	< 0,05
3	4,63	–55	5	–25	21	Temporal Lobe, Middle Temporal Gyrus	< 0,05
4	4,62	–50	5	–20	21	Temporal Lobe, Middle Temporal Gyrus	< 0,05
5	4,61	–55	5	–15	21	Temporal Lobe, Middle Temporal Gyrus	< 0,05
Частотный диапазон 5–7 Гц / frequency band 5–7 Hz							
1	4,37	–50	10	–15	38	Temporal Lobe, Superior Temporal Gyrus	< 0,05
2	4,37	–45	5	–10	38	Temporal Lobe, Superior Temporal Gyrus	< 0,05
3	4,36	–45	10	–10	38	Temporal Lobe, Superior Temporal Gyrus	< 0,05
4	4,36	–55	5	–10	38	Temporal Lobe, Superior Temporal Gyrus	< 0,05
5	4,35	–45	10	–15	38	Temporal Lobe, Superior Temporal Gyrus	< 0,05

Для частотного диапазона 9–11 Гц получены разнонаправленные статистически значимые различия между предоперационными и послеоперационными показателями плотности источников тока. Для полей Бродмана 6, 22 и 44 наблюдалось уменьшение ($t > 3,99$; $p < 0,008$), а для 1, 2, 3 и 40 – увеличение плотности источников тока ($t > -3,97$; $p < 0,025$). (рис. 2B).

В табл. 3 представлены MNI координаты для областей головного мозга, показывающие самые большие различия между предоперационными и послеоперационными данными в частотных диапазонах 7–9 и 9–11 Гц.

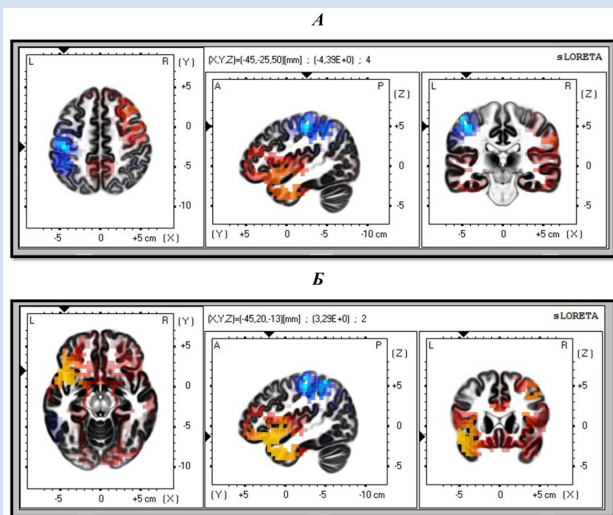


Рисунок 2. Плотность источников тока на частоте 7–9 (A) и 9–11 (B) Гц на 11–12-е сутки после КШ по сравнению с предоперационными показателями у пациентов, прошедших МКТ (n = 50). Синие участки, где активность перед операцией была ниже, чем после тренинга, желтые – наоборот
Figure 2. Current source density in frequency band 7–9 (A) and 9–11 (B) Hz at 11–12 days af-ter CABG compared with preoperative values in patients with MCT (n = 50). Blue blobs indicate lower activity before surgery than after training; yellow blobs – via versa

sLORETA в группе без тренинга

Анализ показателей плотности источников тока в группе сравнения выявил, что для всего анализируемого диапазона частот (3–11 Гц) было характерно увеличение плотности источников тока на 11–12-е сутки послеоперационного периода КШ по сравнению с предоперационными данными. Наиболее выраженным увеличением активности было на частоте 3–5 Гц ($t > -3,67$; $p < 0,0006$), 5–7 Гц ($t > -3,81$; $p < 0,0001$) и 7–9 Гц ($t > -4,03$; $p < 0,0002$). Локализация изменений смещалась от затылочных и париетальных регионов на частоте 3–5 Гц до фронтальных и прецентральных отделов коры на частоте 7–11 Гц (см. рис. 3).

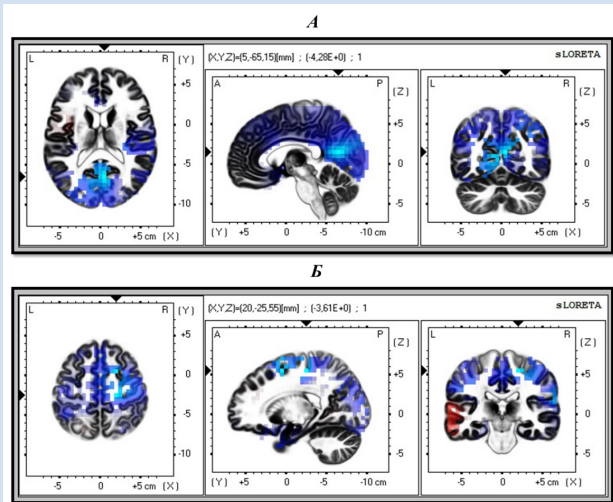


Рисунок 3. Плотность источников тока на частоте 3–5 (A) и 9–11 (B) Гц на 11–12-е сутки после КШ по сравнению с предоперационными показателями у пациентов, не прошедших МКТ (n = 50). Синие участки, где активность перед операцией была ниже, чем в послеоперационном периоде
Figure 3. Current source density in frequency band 3–5 (A) and 9–11 (B) Hz at 11–12 days af-ter CABG compared with preoperative values in patients without MCT (n = 50). Blue blobs indicate lower activity before surgery than after CABG

Таблица 3. Координаты MNI для областей мозга, показывающие пять наибольших различий между предоперационными и послеоперационными показателями плотности источников тока на частоте 7–11 Гц у пациентов с МКТ (n = 50)

Table 3. MNI coordinates for brain regions showing the five largest differences between preoperative and postoperative current source density in frequency band 7–11 Hz in MCT patients (n = 50)

№	t-value	MNI координаты / coordinates			Поле Брод-мана / Brodman's area	Структуры мозга / Brain structures	p-value
		X	Y	Z			
Частотный диапазон 7–9 Гц / frequency band 7–9 Hz							
1	-4,39	-45	-25	50	2	Parietal Lobe, Postcentral Gyrus	< 0,05
2	-4,28	-50	-25	60	1	Parietal Lobe, Postcentral Gyrus	< 0,05
3	-3,96	-40	-25	45	3	Parietal Lobe, Postcentral Gyrus	< 0,05
4	-3,93	-40	-25	50	3	Parietal Lobe, Postcentral Gyrus	< 0,05
5	-3,89	-50	-25	55	1	Parietal Lobe, Postcentral Gyrus	< 0,05
Частотный диапазон 9–11 Гц / frequency band 9–11 Hz							
1	5,63	-50	0	10	44	Frontal Lobe, Precentral Gyrus	< 0,05
2	5,58	-55	0	10	6	Frontal Lobe, Precentral Gyrus	< 0,05
3	5,40	-55	0	5	22	Temporal Lobe, Superior Temporal Gyrus	< 0,05
4	-3,70	-45	-25	50	2	Parietal Lobe, Postcentral Gyrus	< 0,05
5	-3,57	-40	-50	55	40	Parietal Lobe, Inferior Parietal Lobule	< 0,05

Табл. 4 представляет MNI координаты для областей головного мозга, показывающие максимальные различия между предоперационными и послеоперационными данными в частотных диапазонах 3–5, 5–7, 7–9 и 9–11 Гц.

Межгрупповые контрасты sLORETA

До операции пациенты были сопоставимы по плотности источников тока на частотах 3–5 и 5–7 Гц, однако имели статистически значимые различия в диапазоне активности 7–11 Гц ($t > -3,39$; $p < 0,02$ и $t > -3,38$; $p < 0,04$, соответственно). Пациенты, которым был проведен курс МКТ в раннем послеоперационном периоде КШ, имели более высокие показатели плотности источников тока в полях Бродмана 1–3, а также 17 и 18 (см. табл. 5).

На 11–12-е сутки после операции КШ статистически значимые межгрупповые различия были выявлены только в частотном диапазоне 3–5 Гц, пациенты после МКТ имели меньшую плотность источников тока ($t > -3,48$; $p < 0,04$), в темпоральных и

медиабазальных регионах коры (поля Бродмана 19 и 30), см. рис. 4.

Обсуждение

В результате проведенного исследования было установлено, что после применения курса МКТ в раннем послеоперационном периоде КШ наблю-

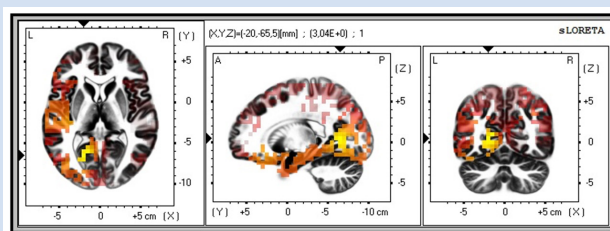


Рисунок 4. Различия в показателях плотности источников тока на частоте 3–5 Гц на 11–12-е сутки после КШ между группами МКТ и сравнения. Желтые участки, где активность в группе МКТ была ниже, чем в группе сравнения

Figure 4. Differences in 3–5 Hz current source density at 11–12 days after CABG between MCT and without MCT patients. Yellow blobs indicate lower activity in MCT than in the group without training

Таблица 4. Координаты MNI для областей мозга, показывающие наибольшие различия между предоперационными и послеоперационными показателями плотности источников тока на частоте 3–11 Гц у пациентов без тренинга (n = 50)
Table 4. MNI coordinates for brain regions showing the largest differences between preoperative and postoperative current source density values at 3–11 Hz in patients without training (n = 50)

№	t-value	MNI координаты / coordinates			Поле Бродмана / Brodman's area	Структуры мозга / Brain structures	p-value
		X	Y	Z			
Частотный диапазон 3–5 Гц / frequency band 3–5 Hz							
1	-4,28	5	-65	15	23	Limbic Lobe, Posterior Cingulate	< 0,05
2	-3,91	5	-65	5	30	Occipital Lobe, Cuneus	< 0,05
Частотный диапазон 5–7 Гц / frequency band 5–7 Hz							
3	-4,63	20	-45	25	31	Limbic Lobe, Cingulate Gyrus	< 0,05
4	-4,62	20	-45	30	31	Parietal Lobe, Precuneus	< 0,05
Частотный диапазон 7–9 Гц / frequency band 7–9 Hz							
5	-5,20	-5	20	20	33	Limbic Lobe, Anterior Cingulate	< 0,05
6	-5,15	0	25	20	24	Limbic Lobe, Anterior Cingulate	< 0,05
Частотный диапазон 9–11 Гц / frequency band 9–11 Hz							
7	-4,96	25	-25	55	4	Frontal Lobe, Precentral Gyrus	< 0,05
8	-4,92	25	-20	55	6	Frontal Lobe, Precentral Gyrus	< 0,05

Таблица 5. Координаты MNI для областей мозга, показывающие наибольшие различия между группами МКТ и сравнения по показателям плотности источников тока на частоте 7–11 Гц
Table 5. MNI coordinates for brain regions showing the largest differences of current source density values in frequency band 7–11 Hz between MCT and without MCT patients

№	t-value	MNI координаты / coordinates			Поле Бродмана / Brodman's area	Структуры мозга / Brain structures	p-value
		X	Y	Z			
Частотный диапазон 7–9 Гц / frequency band 7–9 Hz							
1	-3,05	-15	-90	0	17	Occipital Lobe, Lingual Gyrus	< 0,05
2	-3,02	-20	-100	-10	18	Occipital Lobe, Lingual Gyrus	< 0,05
3	-3,01	-15	-95	0	17	Occipital Lobe, Cuneus	< 0,05
Частотный диапазон 9–11 Гц / frequency band 9–11 Hz							
1	-3,51	60	-20	30	2	Parietal Lobe, Postcentral Gyrus	< 0,05
2	-3,48	65	-20	30	1	Parietal Lobe, Postcentral Gyrus	< 0,05
3	-3,41	60	-20	35	3	Parietal Lobe, Postcentral Gyrus	< 0,05

далось уменьшение плотности источников тока на частоте 3–5 и 5–7 Гц по сравнению с предоперационными показателями во фронтотемпоральных регионах коры мозга. Также для частоты 3–5 Гц получены межгрупповые различия в медиобазальных регионах мозга, согласно которым пациенты после МКТ имели более низкую плотность источников низкочастотной активности по сравнению с группой без тренинга. При этом пациенты, не прошедшие тренинг, демонстрировали регионарно распространенное в направлении «затылоклоб» увеличение низкочастотной мозговой активности.

Известно, что в состоянии спокойного бодрствования мощность ритмов ЭЭГ отражает базовую активность нейронных сетей, связанную с синхронизацией и десинхронизацией таламокортикальной системы, а также как взаимодействием восходящих и нисходящих систем регуляции информационных процессов [13]. При этом увеличение представленности низкочастотной активности (3–7 Гц) может быть отражением нарушения регулирующих систем в форме так называемой таламокортикальной дизритмии [14]. Кроме того, увеличение медленноволновой активности в состоянии покоя может быть интерпретировано как разобщение связей между отделами дефолт-системы, что негативно влияет на обработку информации внутри нейронной сети [15].

Префронтальные, фронтальные и темпоральные отделы головного мозга считаются наиболее уязвимыми к ишемическому повреждению даже при кратковременных нарушениях церебральной перфузии в ходе кардиохирургических вмешательств [16]. Нарушение кровотока в этих структурах, ответственных за регуляцию памяти и исполнительных функций, оказывает прямое влияние на когнитивное состояние пациентов [17]. Установлено, что у пациентов после кардиохирургических вмешательств снижение мозгового кровотока в префронтальной коре и медиальной темпоральной доле связано с ухудшением эпизодической памяти и снижением исполнительных функций – одних из наиболее частых когнитивных нарушений после операции, что подчеркивает ключевую роль указанных структур в развитии ПОКД [18, 19].

Таким образом, результаты, полученные в настоящем исследовании, можно считать нейрофизиологическим обоснованием результативности МКТ подхода к когнитивной реабилитации в первые дни после кардиохирургических операций. Тщательное

исследование электрофизических механизмов развития ПОКД, в том числе, с применением сложных методов компьютерного анализа ЭЭГ, позволит улучшить результаты лечения кардиохирургических пациентов.

Вопрос о методах и подходах к улучшению когнитивных функций и мозгового резерва у пациентов с ПОКД все еще остается предметом активного обсуждения. Это подчеркивает важность разработки и внедрения специализированных подходов к когнитивной реабилитации и исследования патофизиологических механизмов неврологических осложнений после кардиохирургических операций.

Заключение

Проведение МКТ способствовало снижению низкочастотной активности у пациентов после КШ. Топографические особенности были связаны с фронтотемпоральными и медиобазальными отделами мозга, которые отвечают за кодирование памяти и регуляцию общего тонуса. Результаты настоящего исследования подчёркивают важность изучения нейронных механизмов, лежащих в основе эффективности многозадачных вмешательств в когнитивной реабилитации. Полученные данные могут быть полезны при разработке и проведении дальнейших исследований, направленных на улучшение программ стимуляции и восстановления когнитивных функций.

Конфликт интересов

И.В. Тарасова заявляет об отсутствии конфликта интересов. Д.С. Куприянова заявляет об отсутствии конфликта интересов. И.Н. Кухарева заявляет об отсутствии конфликта интересов. А.С. Соснина заявляет об отсутствии конфликта интересов. О.А. Трубникова заявляет об отсутствии конфликта интересов. О.Л. Барбараш заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках поискового научного исследования «Управление рисками, ассоциированными с коморбидностью, у пациентов с болезнями системы кровообращения на основе применения инновационных лечебнодиагностических и реабилитационных медицинских технологий» (номер государственной регистрации 1230330000273 от 30.03.2023).

Информация об авторах

Тарасова Ирина Валерьевна, ведущий научный сотрудник лаборатории нейрососудистой патологии отдела клинической кардиологии федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний», Кемерово, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0002-6391-0170

Author Information Form

Tarasova Irina V., Leading Researcher at 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** 0000-0002-6391-0170

Куприянова Дарья Сергеевна, научный сотрудник лаборатории нейрососудистой патологии отдела клинической кардиологии федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний», Кемерово, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0002-9750-5536

Кухарева Ирина Николаевна, кандидат медицинских наук, врач-невролог, старший научный сотрудник лаборатории нейрососудистой патологии отдела клинической кардиологии федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний», Кемерово, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0002-6813-7017

Соснина Анастасия Сергеевна, кандидат медицинских наук, врач-кардиолог, научный сотрудник лаборатории нейрососудистой патологии отдела клинической кардиологии федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний», Кемерово, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0001-8908-2070

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

Барбараш Ольга Леонидовна, академик РАН, профессор, директор федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний», Кемерово, Российская Федерация; **ORCID** 0000-0002-4642-3610

Kupriyanova Darya S., Researcher at 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** 0000-0002-9750-5536

Kukhareva Irina N., PhD, Neurologist, Senior Researcher at 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** 0000-0002-6813-7017

Sosnina Anastasia S., PhD, Cardiologist, Researcher at 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** 0000-0001-8908-2070

Trubnikova Olga A., 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

Barbarash Olga L., PhD, Academician of the Russian Academy of Sciences, Professor, Director of the Federal State Budgetary Institution “Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases”, Kemerovo, Russian Federation; **ORCID** 0000-0002-4642-3610

Вклад авторов в статью

ТИБ – вклад в концепцию и дизайн исследования, корректура статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание.

КДС – вклад в концепцию и дизайн исследования, корректура статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание.

КИН – вклад в концепцию и дизайн исследования, корректура статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание.

САС – вклад в концепцию и дизайн исследования, корректура статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание.

ТОА – вклад в концепцию и дизайн исследования, корректура статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание.

БОЛ – вклад в концепцию и дизайн исследования, корректура статьи, утверждение окончательной версии для публикации, полная ответственность за содержание.

Author Contribution Statement

TIV – contribution to the concept and design of the study, editing, approval of the final version, fully responsible for the content.

KDS – contribution to the concept and design of the study, editing, approval of the final version, fully responsible for the content.

KIN – contribution to the concept and design of the study, editing, approval of the final version, fully responsible for the content.

SAS – contribution to the concept and design of the study, editing, approval of the final version, fully responsible for the content.

TOA – contribution to the concept and design of the study, editing, approval of the final version, fully responsible for the content.

BOL – contribution to the concept and design of the study, editing, approval of the final version, fully responsible for the content.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cao P, Guo S, Zhang G, Zan X, Wang J, Zhang F, Muñoz J, Lucke-Wold B, Cheng R. Brain-computer interface training for multimodal functional recovery in patients with brain injury: a case series. *Quant Imaging Med Surg.* 2025 Oct 1;15(10):9277-9293. doi: 10.21037/qims-2025-1136.
2. Gkintoni E, Vassilopoulos SP, Nikolaou G, Vantarakis

- A. Neurotechnological Approaches to Cognitive Rehabilitation in Mild Cognitive Impairment: A Systematic Review of Neuromodulation, EEG, Virtual Reality, and Emerging AI Applications. *Brain Sci.* 2025 May 28;15(6):582. doi: 10.3390/brainsci15060582.

3. Ewen JB, Babiloni C, Collins GS, Ethridge LE, Gotman

J, Ikeda A, Karoly PJ, Potter WZ, Rampp S, Seeck M, Beniczky S. The GREENBEAN checklist for reporting studies evaluating the effectiveness of EEG-based biomarkers. *Clin Neurophysiol.* 2025;176:2110777. doi: 10.1016/j.clinph.2025.2110777.

4. Pascual-Marqui RD, Michel CM, Lehmann D. Low resolution electromagnetic tomography: a new method for localizing electrical activity in the brain. *Int J Psychophysiol.* 1994;18(1):49-65. doi: 10.1016/0167-8760(84)90014-x.

5. Frühwirth W, Mairhofer M, Hahn A, Garn H, Waser M, Schmidt R, Benke T, Dal-Bianco P, Ransmayr G, Grossegger D, Roberts S, Dorffner G. Standardized low-resolution brain electromagnetic tomography does not improve EEG Alzheimer's disease assessment. *Neuroimage.* 2025 Apr 15;310:121144. doi: 10.1016/j.neuroimage.2025.121144.

6. Dattola S., Morabito F.C., Mammone N., La Foresta F. Findings about LORETA applied to high-density EEG - a review. *Electronics* 2020, 9, 660. doi:10.3390/electronics9040660.

7. Hasan MA, Vuckovic A, Qazi SA, Yousuf Z, Shahab S, Fraser M. Immediate effect of neurofeedback training on the pain matrix and cortical areas involved in processing neuropsychological functions. *Neurol Sci.* 2021 Nov;42(11):4551-4561. doi: 10.1007/s10072-021-05125-1.

8. Greaves D, Psaltis PJ, Ross TJ, Davis D, Smith AE, Boord MS, Keage HAD. Cognitive outcomes following coronary artery bypass grafting: A systematic review and meta-analysis of 91,829 patients. *Int J Cardiol.* 2019;289:43-49. doi: 10.1016/j.ijcard.2019.04.065.

9. O'Gara BP, Mueller A, Gasangwa DVI, Patxot M, Shaefi S, Khabbaz K, Banner-Goodspeed V, Pascal-Leone A, Marcantonio ER, Subramaniam B. Prevention of Early Postoperative Decline: A Randomized, Controlled Feasibility Trial of Perioperative Cognitive Training. *Anesth Analg.* 2020;130(3):586-595. doi: 10.1213/ANE.0000000000004469.

10. Трубникова О.А., Тарасова И.В., Барбараш О.Л. Нейрофизиологические механизмы и перспективы использования двойных задач в восстановлении когнитивных функций у кардиохирургических пациентов. *Фундаментальная и клиническая медицина.* 2020;5(2):101-111. doi:10.23946/2500-0764-2020-5-1-101-111].

11. Тарасова И.В., Трубникова О.А., Куприянова Т.В., Соснина А.С., Сырова И.Д., Ложкин И.С., Барбараш О.Л. Влияние стойкой послеоперационной когнитивной дисфункции на показатели качества жизни у пациентов в отдаленном послеоперационном периоде коронарного шунтирования. *Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия.* 2020;13(6):489-496. doi:10.17116/kardio202013061489.

12. Тарасова И.В., Трубникова О.А., Кухарева И.Н. 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. doi:10.17802/2306-1278-2021-10-3-15-25.

13. Babiloni C, Blinowska K, Bonanni L, Cichocki A, De Haan W, Del Percio C, Dubois B, Escudero J, Fernández A, Frisoni G, Guntekin B, Hajos M, Hampel H, Ifeachor E, Kilborn K, Kumar S, Johnsen K, Johannsson M, Jeong J, LeBeau F, Lizio R, Lopes da Silva F, Maestú F, McGeown WJ, McKeith I, Moretti DV, Nobili F, Olichney J, Onofij M, Palop JJ, Rowan M, Stocchi F, Struzik ZM, Tanila H, Teipel S, Taylor JP, Weiergräber M, Yener G, Young-Pearse T, Drinkenburg WH, Randall F. What electrophysiology tells us about Alzheimer's disease: a window into the synchronization and connectivity of brain neurons. *Neurobiol Aging.* 2020 Jan;85:58-73. doi: 10.1016/j.neurobiolaging.2019.09.008. Epub 2019 Sep 19. PMID: 31739167.

14. Vanneste S, Song JJ, De Ridder D. Thalamocortical dysrhythmia detected by machine learning. *Nat Commun.* 2018;9(1):1103. doi: 10.1038/s41467-018-02820-0.

15. González-López M, Gonzalez-Moreira E, Areces-González A, Paz-Linares D, Fernández T. Who's driving? The default mode network in healthy elderly individuals at risk of cognitive decline. *Front Neurol.* 2022;13:1009574. doi: 10.3389/fneur.2022.1009574.

16. Bhushan S, Li Y, Huang X, Cheng H, Gao K, Xiao Z. Progress of research in postoperative cognitive dysfunction in cardiac surgery patients: A review article. *Int J Surg.* 2021 Nov;95:106163. doi: 10.1016/j.ijssu.2021.106163.

17. Relander K, Hietanen M, Rämö J, Vento A, Tikka I, Roine RO, Lindsberg PJ, Soenne L. Differential Cognitive Functioning and Benefit From Surgery in Patients Undergoing Coronary Artery Bypass Grafting and Carotid Endarterectomy. *Front Neurol.* 2022 Mar 8;13:824486. doi: 10.3389/fneur.2022.824486.

18. Badgaiyan RD, Weise S, Wack DS, Vidal Melo MF. Attenuation of regional cerebral blood flow during memory processing after coronary artery bypass surgery. *Anesth Analg.* 2014 Sep;119(3):550-553. doi: 10.1213/ANE.0000000000000334.

19. Ebina K, Matsui M, Kinoshita M, Saito D, Nakada M. The effect of damage to the white matter network and pre-morbid intellectual ability on postoperative verbal short-term memory and functional outcome in patients with brain lesions. *PLoS One.* 2023 Jan 20;18(1):e0280580. doi: 10.1371/journal.pone.0280580.

REFERENCES

1. Cao P, Guo S, Zhang G, Zan X, Wang J, Zhang F, Muñoz J, Lucke-Wold B, Cheng R. Brain-computer interface training for multimodal functional recovery in patients with brain injury: a case series. *Quant Imaging Med Surg.* 2025 Oct 1;15(10):9277-9293. doi: 10.21037/qims-2025-1136.

2. Gkintoni E, Vassilopoulos SP, Nikolaou G, Vantarakis A. Neurotechnological Approaches to Cognitive Rehabilitation in Mild Cognitive Impairment: A Systematic Review of Neuromodulation, EEG, Virtual Reality, and Emerging AI Applications. *Brain Sci.* 2025 May 28;15(6):582. doi: 10.3390/brainsci15060582.

3. Ewen JB, Babiloni C, Collins GS, Ethridge LE, Gotman J, Ikeda A, Karoly PJ, Potter WZ, Rampp S, Seeck M, Beniczky S. The GREENBEAN checklist for reporting studies evaluating the effectiveness of EEG-based biomarkers. *Clin Neurophysiol.* 2025;176:2110777. doi: 10.1016/j.clinph.2025.2110777.

4. Pascual-Marqui RD, Michel CM, Lehmann D. Low resolution electromagnetic tomography: a new method for localizing electrical activity in the brain. *Int J Psychophysiol.* 1994;18(1):49-65. doi: 10.1016/0167-8760(84)90014-x.

5. Frühwirth W, Mairhofer M, Hahn A, Garn H, Waser M,

Schmidt R, Benke T, Dal-Bianco P, Ransmayr G, Grossegger D, Roberts S, Dorffner G. Standardized low-resolution brain electromagnetic tomography does not improve EEG Alzheimer's disease assessment. *Neuroimage.* 2025 Apr 15;310:121144. doi: 10.1016/j.neuroimage.2025.121144.

6. Dattola S., Morabito F.C., Mammone N., La Foresta F. Findings about LORETA applied to high-density EEG - a review. *Electronics* 2020, 9, 660. doi:10.3390/electronics9040660.

7. Hasan MA, Vuckovic A, Qazi SA, Yousuf Z, Shahab S, Fraser M. Immediate effect of neurofeedback training on the pain matrix and cortical areas involved in processing neuropsychological functions. *Neurol Sci.* 2021 Nov;42(11):4551-4561. doi: 10.1007/s10072-021-05125-1.

8. Greaves D, Psaltis PJ, Ross TJ, Davis D, Smith AE, Boord MS, Keage HAD. Cognitive outcomes following coronary artery bypass grafting: A systematic review and meta-analysis of 91,829 patients. *Int J Cardiol.* 2019;289:43-49. doi: 10.1016/j.ijcard.2019.04.065.

9. O'Gara BP, Mueller A, Gasangwa DVI, Patxot M, Shaefi S, Khabbaz K, Banner-Goodspeed V, Pascal-Leone A, Marcantonio ER, Subramaniam B. Prevention of Early

Postoperative Decline: A Randomized, Controlled Feasibility Trial of Perioperative Cognitive Training. *Anesth Analg.* 2020;130(3):586-595. doi: 10.1213/ANE.0000000000004469.

10. Trubnikova O.A., Tarasova I.V., Barbarash O.L. Neurophysiological mechanisms and perspective for the use of dual tasks in recovering cognitive function after cardiac surgery. *Fundamental and Clinical Medicine.* 2020;5(2):101-111. (In Russ.) doi:10.23946/2500-0764-2020-5-1-101-111

11. Tarasova IV, Trubnikova OA, Kupriyanova TV, Sosnina AS, Syrova ID, Lozhkin IS, Barbarash OL. Impact of persistent postoperative cognitive dysfunction on quality of life in long-term postoperative period after coronary artery bypass grafting. *Russian Journal of Cardiology and Cardiovascular Surgery.* 2020;13(6):489-496. (In Russ.) doi:10.17116/kardio202013061489

12. Tarasova IV, Trubnikova OA, Kuhareva IN, 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

13. Babiloni C, Blinowska K, Bonanni L, Cichocki A, De Haan W, Del Percio C, Dubois B, Escudero J, Fernández A, Frisoni G, Guntekin B, Hajos M, Hampel H, Ifeagher E, Kilborn K, Kumar S, Johnsen K, Johannsson M, Jeong J, LeBeau F, Lizio R, Lopes da Silva F, Maestú F, McGeown WJ, McKeith I, Moretti DV, Nobili F, Olichney J, Onofri M, Palop JJ, Rowan M, Stocchi F, Struzik ZM, Tanila H, Teipel S, Taylor JP, Weiergräber M, Yener G, Young-Pearse T, Drinkenburg WH, Randall F. What electrophysiology tells us about Alzheimer's disease: a window into the synchronization and connectivity of brain neurons. *Neurobiol Aging.* 2020 Jan;85:58-73. doi:

10.1016/j.neurobiolaging.2019.09.008. Epub 2019 Sep 19. PMID: 31739167.

14. Vanneste S, Song JJ, De Ridder D. Thalamocortical dysrhythmia detected by machine learning. *Nat Commun.* 2018;9(1):1103. doi: 10.1038/s41467-018-02820-0.

15. González-López M, Gonzalez-Moreira E, Areces-González A, Paz-Linares D, Fernández T. Who's driving? The default mode network in healthy elderly individuals at risk of cognitive decline. *Front Neurol.* 2022;13:1009574. doi: 10.3389/fneur.2022.1009574.

16. Bhushan S, Li Y, Huang X, Cheng H, Gao K, Xiao Z. Progress of research in postoperative cognitive dysfunction in cardiac surgery patients: A review article. *Int J Surg.* 2021 Nov;95:106163. doi: 10.1016/j.ijssu.2021.106163.

17. Relander K, Hietanen M, Rämö J, Vento A, Tikkala I, Roine RO, Lindsberg PJ, Soenne L. Differential Cognitive Functioning and Benefit From Surgery in Patients Undergoing Coronary Artery Bypass Grafting and Carotid Endarterectomy. *Front Neurol.* 2022 Mar 8;13:824486. doi: 10.3389/fneur.2022.824486.

18. Badgaiyan RD, Weise S, Wack DS, Vidal Melo MF. Attenuation of regional cerebral blood flow during memory processing after coronary artery bypass surgery. *Anesth Analg.* 2014 Sep;119(3):550-553. doi: 10.1213/ANE.0000000000000334.

19. Ebina K, Matsui M, Kinoshita M, Saito D, Nakada M. The effect of damage to the white matter network and premorbid intellectual ability on postoperative verbal short-term memory and functional outcome in patients with brain lesions. *PLoS One.* 2023 Jan 20;18(1):e0280580. doi: 10.1371/journal.pone.0280580.

Для цитирования: Тарасова И.В., Куприянова Д.С., Кухарева И.Н., Соснина А.С., Трубникова О.А., Барбараш О.Л. Особенности топографии мозговой активности при применении многозадачного когнитивного тренинга в послеоперационном периоде коронарного шунтирования. *Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний.* 2025;14(6S): 193-203. DOI: 10.17802/2306-1278-2025-14-6S-193-203

To cite: Tarasova I.V., Kupriyanova D.S., Kuhareva I.N., Sosnina A.S., Trubnikova O.A., Barbarash O.L. The topological features of the brain activity during multitask cognitive training in the postoperative period coronary artery bypass grafting. *Complex Issues of Cardiovascular Diseases.* 2025;14(6S): 193-203. DOI: 10.17802/2306-1278-2025-14-6S-193-203