

УДК: 616.127-089.844-06:616.89-008.4]: 615.84

СРАВНЕНИЕ ДВУХ МНОГОЗАДАЧНЫХ ПОДХОДОВ К КОГНИТИВНОМУ ТРЕНИНГУ У ПАЦИЕНТОВ ПОСЛЕ КОРОНАРНОГО ШУНТИРОВАНИЯ ПО ДАННЫМ ИЗМЕНЕНИЙ ТЕТА-АКТИВНОСТИ И *sLORETA*-АНАЛИЗА

© 2024 г. Д. С. Куприянова*, И. В. Тарасова, И. Н. Кухарева, И. Д. Сырова,
А. С. Соснина, О. А. Трубникова, О. Л. Барбараш

ФГБНУ НИИ комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний, Кемерово, Россия

*E-mail: kuprds@bk.ru

Поступила в редакцию 25.09.2023 г.

После доработки 04.03.2024 г.

Принята к публикации 12.04.2024 г.

В данной работе изучались изменения θ -активности и локализация ее источников методом *standardized low resolution brain electromagnetic tomography (sLORETA)* у пациентов, которые прошли два варианта многозадачного когнитивного тренинга (КТ) в раннем послеоперационном периоде коронарного шунтирования (КШ). Псевдослучайным образом были сформированы две группы, которые отличались по типу используемой моторной задачи: КТ I ($n = 27$) — стабилотренинг и КТ II ($n = 27$) — простая зрительно-моторная реакция. Когнитивные задачи были одинаковыми у обеих групп (обратный счет, вербальная беглость и придумывание способов необычного использования обычного предмета). Ежедневные сессии КТ проводились, начиная с 3–4-го дня после КШ, с продолжительностью от 5 мин в 1-й день тренинга и до 20 мин к 6–7 дню тренинга. Установлена меньшая плотность источников тока θ -ритма до операции по сравнению с послеоперационными данными только у группы, прошедшей КТ II. Наиболее сильные различия отмечены в поле Бродмана 31, теменно-затылочных долях головного мозга и предклинье, что может свидетельствовать об их повреждении, ассоциированном с кардиохирургическим вмешательством. При этом в группе, прошедшей КТ I, такого эффекта не наблюдалось. Результаты исследования демонстрируют информативность показателей *sLORETA* для определения эффективного варианта когнитивного восстановления после КШ. Показано снижение выраженности повреждающих эффектов КШ при выполнении тренинга с использованием когнитивных задач и постурального тренинга. Необходимы дальнейшие исследования для определения оптимальных режима и продолжительности когнитивного тренинга для максимальной активации функциональных резервов таких пациентов.

Ключевые слова: ЭЭГ, *sLORETA*, томография низкого разрешения, ишемия мозга, когнитивные нарушения, когнитивная реабилитация, многозадачный подход, коронарное шунтирование.

DOI: 10.31857/S0131164624040028 **EDN:** ВТРАМГ

Коронарное шунтирование (КШ) является сложной инвазивной процедурой, которая может приводить к периоперационному ишемическому повреждению головного мозга [1]. Одним из неблагоприятных последствий КШ может быть послеоперационная когнитивная дисфункция (ПОКД) [2, 3]. ПОКД характеризуется ухудшением познавательных функций, таких как память, внимание, исполнительный контроль и мышление, что можно диагностировать с помощью нейропсихологического тестирования в послеоперационном периоде [4, 5]. В отличие от делирия, который является легко диагностируемым синдромом, ПОКД клинически менее выражена, однако имеет большую

распространенность (до 70–80%), а ее симптомы могут сохраняться и усиливаться после выписки из стационара [6, 7].

Предполагаемые патофизиологические механизмы развития ПОКД включают одновременное влияние нескольких факторов на ее формирование, а именно: аритмия, влияние анестетиков, глобальная или локальная гипоперфузия, окислительный стресс и системная воспалительная реакция, а также церебральная микро- и макроэмболизация с последующей ишемией, реперфузионное повреждение и последующая дисфункция гематоэнцефалического барьера [8, 9].

Мультифакториальный патогенез ПОКД существенно осложняет поиск как стандартов лечения, так и универсальных средств ее профилактики и реабилитации [10, 11].

В настоящее время перспективы медикаментозной коррекции ПОКД противоречивы, в большинстве своём они так и остаются на стадии пилотных исследований [10, 12, 13]. Поэтому в настоящее время внимание исследователей обращено на применение специализированных программ и тренингов, которые можно модифицировать для воздействия на одну или несколько когнитивных функций [14–16]. Продемонстрировано, что проведение когнитивного тренинга способствует активации когнитивных ресурсов и усилению процессов нейропластичности, что может смягчить негативные последствия оперативного вмешательства [17, 18]. Перспективным является многозадачный подход к когнитивному восстановлению, предполагающий одновременное выполнение двигательных и когнитивных задач [17]. Предварительные данные показали, что такой вид тренинга запускает активацию различных когнитивных доменов, таких как внимание, тормозной контроль и исполнительные функции [19], что может обеспечить эффективное когнитивное восстановление у кардиохирургических пациентов. Несмотря на имеющиеся данные, многозадачный подход еще не получил достаточного распространения в клинической практике. Существует необходимость определения оптимального сочетания когнитивных и моторных задач для максимальной активации функциональных резервов пациентов, а также режима и продолжительности проводимых тренингов.

При этом специалисты сталкиваются с проблемой отслеживания функциональных изменений мозга на разных этапах периоперационного сопровождения пациентов, перенесших сложные, инвазивные вмешательства. Данных структурной нейровизуализации может быть недостаточно, поскольку "мягкое", диффузное повреждение различных регионов мозга, характерное для ПОКД, а также функциональную организацию мозга при восстановлении нарушенных когнитивных функций лучше рассматривать с помощью методов с высоким временным разрешением [11, 20]. Количественный анализ электроэнцефалографических (ЭЭГ) показателей является хорошим диагностическим инструментом для отслеживания потенциальных изменений активности мозга под воздействием тренирующих процедур вследствие его относительной дешевизны, неинвазивности и безопасности [21, 22]. Тем не менее, несмотря на преимущества данного метода, ЭЭГ имеет существенный недостаток — низкое пространственное разрешение [23, 24].

Применение ЭЭГ в тандеме со стандартизованной электромагнитной томографией низкого

разрешения *sLORETA* (*standardized low resolution brain electromagnetic tomography*) способно более точно идентифицировать плотность источников электрической активности в головном мозге, что затруднительно при использовании стандартной ЭЭГ [25–27]. Ранее анализ *sLORETA* успешно применялся для выявления ЭЭГ-паттернов мозговой активности при прогрессировании нейродегенеративных заболеваний [28–31]. Однако известны лишь единичные исследования с использованием *sLORETA*, проведенные у пациентов, перенесших кардиохирургическое вмешательство [24]. Технические преимущества алгоритмов *sLORETA* при локализации плотности источников тока мозговой активности могут быть полезны для оценки эффективности проведенного когнитивного тренинга и получения информации об областях мозга, активируемых после когнитивного тренинга, что приведет к новым подходам к изучению когнитивной и церебральной нейропластичности.

Целью исследования явился сравнительный анализ изменений θ -активности и локализации источников ритма, оцененных методом *sLORETA* у пациентов, которые прошли два варианта многозадачного когнитивного тренинга в раннем послеоперационном периоде КШ.

МЕТОДИКА

Для участия в настоящем исследовании были отобраны 54 пациента в возрасте от 45 до 75 лет со стабильной ишемической болезнью сердца (ИБС), перенесшие плановое первичное КШ. Критерии исключения были следующие: инсульт в анамнезе, эпилепсия, черепно-мозговая травма, сумма баллов по Монреальской шкале когнитивной оценки (*MoCA*) ≤ 18 (из 30), шкала оценки депрессии Бека (*BDI-II*) ≥ 8 (из 31), а также декомпенсированные сопутствующие заболевания. При поступлении в стационар пациентам проводили клинично-инструментальное и неврологическое обследование, включавшее скрининговую оценку базового когнитивного статуса и выраженность депрессивной симптоматики. Клиницисты, проводившие обследование, не были осведомлены об участии пациентов в исследовании.

Нейропсихологическое исследование. Расширенное нейропсихологическое тестирование с оценкой функций кратковременной памяти, селективного внимания, психомоторных и исполнительных функций все пациенты прошли за 3–5 дней до операции, на 2–3-и и на 11–12-е сут после КШ. ПОКД диагностировали на 2–3-и сут послеоперационного периода КШ, а также после завершения когнитивного тренинга (11–12-е сут) с использованием ранее принятого критерия «20–20». Изменения когнитивных показателей оценивали согласно формуле:

Таблица 1. Клинические и анамнестические показатели пациентов, перенесших коронарное шунтирование (КШ), которым проводился курс мультизадачного когнитивного тренинга (КТ)

Показатель	КТ I (n = 27)	КТ II (n = 27)	p-value
Возраст, лет, Ме [25; 75]	64.0 [60.0; 69,0]	67.0 [63.0; 73.0]	0,13
Образование, лет, Ме [25; 75]	12.0 [11; 15]	11 [10; 15]	0,23
МоСА, баллы, Ме [25; 75]	26 [24; 28]	25 [24; 27]	0,15
BDI-II, баллы, Ме [25; 75]	4 [1; 7.0]	4 [2; 4]	0,40
Функциональный класс стенокардии, n (%) I–II III	22 (81) 5 (19)	20 (74) 7 (26)	0.51
Функциональный класс ХСН по NYHA, n (%) I–II III	24 (89) 3 (11)	25 (92.5) 2 (7.5)	0.68
Фракция выброса левого желудочка, Ме [25; 75]	65 [55; 69]	64 [54; 65]	0.24
Стенозы сонных артерий ≤ 50%, n (%)	14 (52)	13 (48)	0.67
Сахарный диабет 2 типа или нарушение толерантности к углеводам, n (%)	8 (30)	7 (26)	0.73
Длительность ИК, мин, Ме [25; 75]	91 [75; 105]	81 [65; 98]	0.29

Примечание: ИБС — ишемическая болезнь сердца, ХСН — хроническая сердечная недостаточность, ФК — функциональный класс, ИК — искусственное кровообращение.

((исходное значение — послеоперационное значение показателя)/исходное значение) × 100% [32].

Оперативное вмешательство. Первичное плановое КШ было проведено всем пациентам в условиях нормотермического непульсирующего искусственного кровообращения со стандартными процедурами эндотрахеальной анестезии и инфузии. Оксигенацию коры головного мозга (rSO₂) контролировали в онлайн-режиме (INVOS-3100), показатели не отклонялись от нормы. Послеоперационный период КШ у всех пациентов протекал без развития жизнеугрожающих осложнений, они были выписаны на 11–12-е сут после вмешательства.

Проведение когнитивного тренинга. После выявления у пациентов ПОКД на –3-и сут после операции псевдослучайным образом были сформированы две группы когнитивного тренинга (КТ), которые отличались по типу используемой моторной задачи: КТ I (n = 30) — удержание статичной позы с помощью аппаратно-программного стабилографического комплекса "Стабилан-01-2" (Россия)

и КТ II (n = 30) — выполнение простой зрительно-моторной реакции с помощью программного комплекса "Статус ПФ". Когнитивные задачи были одинаковыми у обеих групп и были представлены чередующимися в произвольном порядке заданиями на обратный счет, вербальную беглость и придумыванием способов необычного использования обычного предмета (кирпич, линейка, газета). Группы были сопоставимы по основным клинико-анамнестическим показателям (табл. 1).

Для пациентов групп I и II ежедневные сессии КТ проводили, начиная с 3–4-го дня после КШ, в первой половине дня, в условиях специализированного шумоизолированного помещения. Продолжительность тренирующей сессии варьировалась от 5 мин в 1-й день тренинга и достигала 20 мин к 6–7 дню тренинга.

ЭЭГ-исследование и sLORETA-анализ. Регистрацию монополярной ЭЭГ осуществляли в состоянии покоя в положении сидя с закрытыми глазами с использованием усилителя *Neuvo SynAmps2* (Compumedics, США) в 62 отведениях

модифицированной системы 10–10 в условиях свето- и шумоизолированной комнаты за 3–5 дней до операции и на 11–12-е сут после КШ. Полоса пропускания усилителя составила 1.0–50.0 Гц, оцифровку ЭЭГ осуществляли при 1000 Гц. Каждую запись ЭЭГ визуально оценивали, а затем редактировали для удаления артефактов с помощью программы "Scan 4.5" (Compumedics, США). Безартефактные фрагменты ЭЭГ были разделены на эпохи продолжительностью 2 с и подвергнуты преобразованиям Фурье. Подробно используемые нейрофизиологические методы были описаны в работе [24]. Из-за большого количества возможных комбинаций нейронных областей и частотных диапазонов ЭЭГ мы ограничили это исследование θ -диапазоном (3–7 Гц). Значимость оценки параметров фоновой θ -(3–7 Гц) активности показана в предыдущих исследованиях, связанных с когнитивными расстройствами различного генеза [28, 29]. Также показано, что θ -активность ЭЭГ является чувствительным индикатором периоперационного повреждения головного мозга [11]. Расчет диапазона был выполнен автоматически в программе "Scan 4.5" на основании среднего показателя частоты наибольшего значения спектральной мощности в α -диапазоне, которая составила 9.5 Гц. Для суммарных показателей спектральной мощности биопотенциалов θ -ритма был рассчитан показатель относительных изменений (Δ) по формуле: (предоперационное значение – послеоперационное значение) / предоперационное значение $\times 100\%$. Положительные значения этого показателя свидетельствовали об уменьшении мощности биопотенциалов ритма после операции по сравнению с предоперационными значениями, отрицательные – об увеличении.

Предобработку данных для *sLORETA* анализа ЭЭГ покоя осуществляли с использованием программных алгоритмов *EEGLab*, разработанного на основе *MATLAB* (MathWorks, США). Далее с помощью программы *LORETAkey* 2017.11.01 (*free academic software*) рассчитывали динамический кросс-спектр и для каждого из 6239 вокселей рассчитывали плотность источников тока в анализируемом частотном диапазоне.

Статистический анализ. Программный пакет "Statistica 10.0" (StatSoft Inc., США), использовали для анализа клинико-анамнестических и когнитивных показателей, а также суммарных показателей спектральной мощности биопотенциалов θ -ритма. Нормальность распределения данных проверяли по методу Шапиро-Уилка. В связи с ненормальным распределением большинства показателей для межгрупповых сравнений количественных клинико-анамнестических и когнитивных переменных использовали непараметрический критерий Манна-Уитни. Качественный анализ частоты ПОКД в

группах КТ I и КТ II выполняли с помощью критерия χ^2 с поправкой Йетса.

Межгрупповые различия для показателя относительных изменений (Δ) спектральной мощности биопотенциалов θ -ритма оценивали с использованием *t*-критерия для независимых выборок.

Анализ показателей плотности источников тока проводили с помощью метода статистического непараметрического картирования (*statistical non-parametrical mapping*) с использованием 5000 рандомизаций в пакете *LORETAkey*. Был рассчитан контраст плотности источников тока перед оперативным вмешательством и после проведения мультизадачного когнитивного тренинга отдельно в группах пациентов КТ I и II, а также межгрупповые контрасты. Различия считали статистически значимыми при $p < 0.05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При анализе самоотчетов участников исследования как группы КТ I, так и КТ II выявлена приемлемая субъективная трудность одновременного выполнения моторной задачи и любого из трех когнитивных заданий. Среднее количество тренировок составило 5.4 у пациентов с КТ I, а в группе КТ II – 5.2.

По данным расширенного нейропсихологического тестирования на 2–3-и сут после КШ наличие ПОКД установлено в 100% случаев в обеих группах пациентов, тогда как после завершения когнитивного тренинга (11–12-е сут) в группе КТ I снижение когнитивных функций по сравнению с предоперационным уровнем наблюдалось у 60% пациентов, а в группе КТ II – у 65%.

Анализ межгрупповых различий для показателя относительных изменений (Δ) спектральной мощности биопотенциалов θ -ритма позволил установить, что у пациентов КТ II наблюдалось большее увеличение θ -активности (–43.2%) по сравнению с КТ I (–14.3%), $p = 0.04$.

Согласно данным *sLORETA*-анализа, на предоперационном этапе межгрупповые различия были статистически незначимы. После проведения когнитивного тренинга, на 11–12-е сут после КШ, межгрупповые различия также были незначимы.

Далее был произведен расчет внутригрупповых контрастов отдельно для каждой группы тренинга. Установлено, что только у группы КТ II наблюдаются достоверные различия показателей плотности источников тока θ -диапазона до операции по сравнению с послеоперационными данными. В дооперационном периоде обнаружена меньшая плотность источников тока θ -ритма ($t < -4.03$; $p < 0.003$) с локализацией наиболее сильных различий

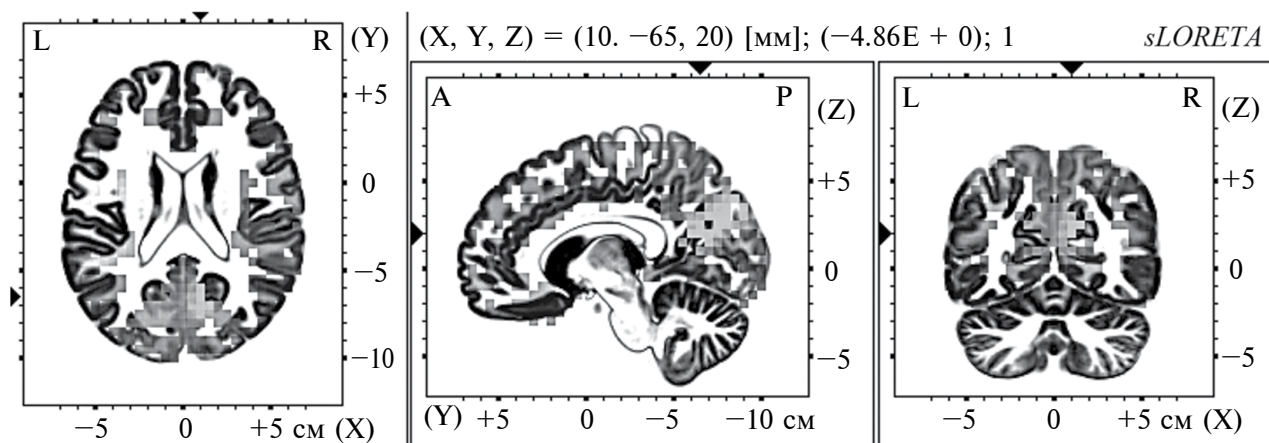


Рис. 1. Плотность источников тока θ -ритма после проведения тренинга по сравнению с предоперационными показателями в группе когнитивного тренинга II.

Светлые участки обозначают отрицательные значения Т-критерия (индикаторы ниже в предоперационном периоде коронарного шунтирования (КШ), чем в послеоперационном).

в поле Бродмана 31, теменно-затылочных долях головного мозга и предклинья (рис. 1).

У пациентов, прошедших тренинг КТ I, не выявлено статистически значимого увеличения плотности источников тока θ -ритма в раннем послеоперационном периоде по сравнению с предоперационными данными.

Увеличение θ -активности в ЭЭГ покоя в большинстве исследований рассматривают как свидетельство нейрональной дисфункции и функционального разобщения коры и подкорковых регионов [11, 33, 34]. Ишемия мозга, ассоциированная с гипоперфузией и системной воспалительной реакцией, возникающими при искусственном кровообращении у кардиохирургических пациентов, ведет к нейрональному повреждению, разрыву связей между нейронами. С другой стороны, увеличение плотности источников медленной активности (Δ - и θ -) обнаруживается при нейродегенеративной патологии [35].

Известно, что лобная и теменно-затылочная области мозга особенно уязвимы к церебральной гипоперфузии и микроэмболии при кардиохирургических операциях, особенно проводимых с участием искусственного кровообращения [36]. Причиной этому, главным образом, является то, что они находятся в зоне "смежного" кровоснабжения, осуществляемого дистальными ветвями двух крупных мозговых артерий [37].

Стоит отметить также, что структуры теменно-затылочных долей головного мозга и предклинья, где наблюдалось увеличение θ -активности у пациентов КТ II, относятся к задним узлам дефолт-системы мозга, которые в наибольшей степени подвержены патологическим изменениям при старении [38]. Известно, что дефолтная система

играет важную роль в процессах восприятия и обеспечения регуляции внимания, поэтому согласованность в работе узлов сети покоя мозга необходима для успешного взаимодействия организма с внешней средой — переключения внимания от одной когнитивной деятельности к другой, а увеличение медленноволновой активности может быть интерпретировано как разобщение связей между отделами дефолт-системы, что может повлиять на обработку информации внутри его сети [39, 40]. Также важно, что структуры задних узлов более подвержены нарушению функциональной связанности и накоплению β -амилоида при нейродегенерации, так как они являются важной транзитной областью между гиппокампом и поясной корой, участвующими в ряде когнитивных функций [41, 42]. Согласно результатам исследования *Y. Zhu*, у кардиохирургических пациентов в раннем послеоперационном периоде наблюдалось уменьшение функциональной связанности в верхней теменной области головного мозга и нарушение связей сети покоя, включая кору угловой и задней поясной извилин, что положительно коррелировало с повышенной концентрацией маркеров системного воспаления как предиктора ПОКД [43]. Кроме того, структуры предклинья, являющиеся центральным метаболическим и соединительным узлом, наиболее чувствительны к нарушению церебральной перфузии при кардиохирургическом вмешательстве, что может быть обусловлено их расположением в пограничной зоне между двумя основными мозговыми артериями [44, 45].

Ограничением настоящего исследования, прежде всего, является малый объем выборки, который не позволил установить методом *sLORETA* межгрупповые различия на послеоперационном

этапе. Однако пилотные результаты сравнительного анализа изменений ЭЭГ-активности при использовании двух подходов к мультизадачному тренингу все же дают обоснование для дальнейших исследований, которые смогут определить более эффективный метод когнитивного восстановления у кардиохирургических пациентов.

Также результаты настоящего исследования продемонстрировали локализацию патологических изменений в головном мозге, ассоциированных с кардиохирургическим вмешательством. Наиболее уязвимыми оказались задние узлы дефолт-системы мозга (теменно-затылочные отделы, область Бродмана 31, также известная как дорсальная задняя поясная извилина и предклинье).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты настоящего исследования демонстрируют информативность показателей *sLORETA* для определения эффективного варианта когнитивного восстановления после КШ. Показано снижение выраженности повреждающих эффектов КШ при выполнении тренинга с использованием когнитивных задач и постурального тренинга. Данные *sLORETA*-анализа могут быть интегрированы в разрабатываемые в настоящее время диагностические алгоритмы для обеспечения надежной оценки когнитивных нарушений у пациентов с сердечно-сосудистой патологией и прогнозирования эффективности методов когнитивного восстановления.

Финансирование работы. Исследование выполнено при финансовой поддержке министерства науки и образования РФ (фундаментальная тема № 122012000364-5 от 20.01.2022). Спонсор не участвовал в разработке дизайна исследования, сборе, анализе, интерпретации данных, написании этой статьи или решении представить ее для публикации.

Соблюдение этических стандартов. Все исследования проводились 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.

Каждый участник исследования дал добровольное письменное информированное согласие после получения разъяснений о потенциальных рисках и преимуществах, а также о характере предстоящего исследования.

Конфликт интересов. Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Вклад авторов в публикацию. Д.С. Куприянова — написание статьи, сбор и обработка материала,

статистическая обработка. И.В. Тарасова — концепция и дизайн исследования, статистическая обработка, написание и редактирование статьи. И.Н. Кухарева — сбор и обработка материала. И.Д. Сырова — сбор и обработка материала. А.С. Соснина — сбор и обработка материала. О.А. Трубникова — концепция и дизайн исследования, утверждение окончательной версии публикации. О.Л. Барбараш — критический анализ интеллектуального содержания, утверждение окончательной версии публикации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Indja B., Woldendorp K., Vallely M.P., Grieve S.M.* Silent brain infarcts following cardiac procedures: A systematic review and meta-analysis // *J. Am. Heart Assoc.* 2019. V. 8. № 9. P. e010920.
2. *Боголенова А.Н.* Послеоперационная когнитивная дисфункция // *Ж. неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова.* 2022. Т. 122. № 8. С. 7.
3. *Осипова О.А., Шевцов Р.Ю., Плаксина К.Г., Мезенцев Ю.А.* Влияние продолжительности операции коронарного шунтирования на формирование послеоперационной когнитивной дисфункции у пациентов пожилого возраста // *Современные проблемы здравоохранения и медицинской статистики.* 2023. № 1. С. 252.
4. *Evered L., Atkins K., Silbert B., Scott D.A.* Acute perioperative neurocognitive disorders: a narrative review // *Anaesthesia.* 2022. V. 77. P. 34.
5. *Liu J., Huang K., Zhu B. et al.* Neuropsychological tests in post-operative cognitive dysfunction: Methods and applications // *Front. Psychol.* 2021. V. 12. P. 684307.
6. *Tasbihgou S.R., Absalom A.R.* Postoperative neurocognitive disorders // *Korean J. Anesthesiol.* 2021. V. 74. № 1. P. 15.
7. *Trubnikova O.A., Tarasova I.V., Moskin E.G. et al.* Beneficial effects of a short course of physical prehabilitation on neurophysiological functioning and neurovascular biomarkers in patients undergoing coronary artery bypass grafting // *Front. Aging Neurosci.* 2021. V. 13. P. 699259.
8. *Urits I., Orhurhu V., Jones M. et al.* Current perspectives on postoperative cognitive dysfunction in the ageing population // *Turk. J. Anaesthesiol. Reanim.* 2019. V. 47. № 6. P. 439.
9. *Rots M.L., Fasseraert L.M.M., Kappelle L.J. et al.* Intraoperative hypotension is a risk factor for post-operative silent brain ischaemia in patients with pre-operative hypertension undergoing carotid endarterectomy // *Eur. J. Vasc. Endovasc. Surg.* 2020. V. 59. № 4. P. 526.
10. *Неймарк М.И., Шмелев В.В., Рахмонов А.А., Титова З.А.* Этиология и патогенез послеоперационной когнитивной дисфункции (обзор) // *Общая реаниматология.* 2023. Т. 19. № 1. С. 60.

11. *Tarasova I.V., Trubnikova O.A., Kupriyanova D.S. et al.* Cognitive functions and patterns of brain activity in patients after simultaneous coronary and carotid artery revascularization // *Front. Hum. Neurosci.* 2023. V. 17. P. 996359.
12. *Garrone B., Durando L., Prenderville J. et al.* Paracetamol (acetaminophen) rescues cognitive decline, neuroinflammation and cytoskeletal alterations in a model of post-operative cognitive decline (POCD) in middle-aged rats // *Sci. Rep.* 2021. V. 11. № 1. P. 10139.
13. *Балан А.В.* Феномен послеоперационной когнитивной дисфункции (ПОКД) в современной анестезиологической практике у пациентов пожилого возраста (обзор литературы): сборник трудов конференции / Научное и образовательное пространство: перспективы развития: материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. Чебоксары: Центр научного сотрудничества "Интерактив плюс", 2018. С. 33.
14. *Butz M., El Shazly J., Sammer G. et al.* Decreasing postoperative cognitive deficits after heart surgery: protocol for a randomized controlled trial on cognitive training // *Trials.* 2019. V. 20. № 1. P. 733.
15. *Ishizawa Y.* Does preoperative cognitive optimization improve postoperative outcomes in the elderly? // *J. Clin. Med.* 2022. V. 11. № 2. P. 445.
16. *Greaves D., Psaltis P.J., Lampit A. et al.* Computerised cognitive training to improve cognition including delirium following coronary artery bypass grafting surgery: protocol for a blinded randomised controlled trial // *BMJ Open.* 2020. V. 10. № 2. P. e034551.
17. *Трубникова О.А., Тарасова И.В., Кухарева И.Н и др.* Эффективность компьютеризированных когнитивных тренингов методом двойных задач в профилактике послеоперационных когнитивных дисфункций при коронарном шунтировании // *Кардиоваск. тер. и проф.* 2022. Т. 21. № 8. С. 3320.
18. *Requena C., Rebok G.W.* Evaluating successful aging in older people who participated in computerized or paper-and-pencil memory training: The Memoria Meior program // *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2019. V. 16. № 2. P. 191.
19. *Mack M., Stojan R., Bock O., Voelcker-Rehage C.* Cognitive-motor multitasking in older adults: a randomized controlled study on the effects of individual differences on training success // *BMC Geriatr.* 2022. V. 22. № 1. P. 581.
20. *Vecchio F., Miraglia F., Alù F. et al.* Human brain networks in physiological and pathological aging: reproducibility of electroencephalogram graph theoretical analysis in cortical connectivity // *Brain Connect.* 2022. V. 12. № 1. P. 41.
21. *Moody O.A., Zhang E.R., Vincent K.F. et al.* The neural circuits underlying general anesthesia and sleep // *Anesth. Analg.* 2021. V. 132. № 5. P. 1254.
22. *Vlissides P.E., Li D., Maywood M. et al.* Electroencephalographic biomarkers, cerebral oximetry, and postoperative cognitive function in adult non-cardiac surgical patients: a prospective cohort study // *Anesthesiology.* 2023. V. 139. № 5. P. 568.
23. *Тарасова И.В., Вольф Н.В., Куприянова Д.С. и др.* Изменения вызванной синхронизации/десинхронизации электрической активности коры мозга у кардиохирургических пациентов с послеоперационной когнитивной дисфункцией // *Сиб. науч. мед. ж.* 2021. Т. 41. № 2. С. 12.
24. *Тарасова И.В., Куприянова Д.С., Трубникова О.А. и др.* Анализ распределения плотности источников тока (sLORETA) у пациентов после когнитивной реабилитации с применением двойной задачи в раннем послеоперационном периоде коронарного шунтирования // *Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний.* 2022. Т. 11. № 4S. С. 65.
25. *Pascual-Marqui R.D.* Standardized low-resolution brain electromagnetic tomography (sLORETA): technical details // *Methods Find. Exp. Clin. Pharmacol.* 2002. V. 24. P. 5.
26. *Приводнова Е.Ю., Вольф Н.В.* Решение образных креативных задач изменяет фоновую ЭЭГ покоя у пожилых людей (пилотное исследование) // *Физиология человека.* 2021. Т. 47. № 5. С. 28.
27. *Куприянова Д.С., Тарасова И.В.* Возможности применения метода sLORETA для диагностики мозгового повреждения у кардиохирургических пациентов в периоперационном периоде // *Вестник психофизиологии.* 2023. № 1. С. 54.
28. *Уразильдеева Г.Р., Пономарева Н.В., Колесникова Е.П. и др.* Новые возможности использования когнитивных вызванных потенциалов высокого разрешения в оценке прогрессирования болезни Гентингтона // *Бюллетень Национального общества по изучению болезни Паркинсона и расстройств движений.* 2022. № 2. С. 205.
29. *Nardone R., Sebastianelli L., Versace V. et al.* Usefulness of EEG Techniques in Distinguishing Frontotemporal Dementia from Alzheimer's Disease and Other Dementias // *Dis. Markers.* 2018. V. 2018. P. 6581490.
30. *Leviashvili S., Ezra Y., Droby A. et al.* EEG-Based Mapping of Resting-State Functional Brain Networks in Patients with Parkinson's Disease // *Biomimetics (Basel).* 2022. V. 7. № 4. P. 231.
31. *Klados M.A., Styliadis C., Frantzidis C.A. et al.* Beta-Band Functional Connectivity is Reorganized in Mild Cognitive Impairment after Combined Computerized Physical and Cognitive Training // *Front. Neurosci.* 2016. V. 10. P. 55.
32. *Syrova I.D., Tarasova I.V., Trubnikova O.A. et al.* A multitask approach to prevention of the cognitive decline after coronary artery bypass grafting: a

- prospective randomized controlled study // *J. Xiangya Med.* 2023. V. 8. P. 2.
33. *Daulatzai M.A.* Cerebral hypoperfusion and glucose hypometabolism: Key pathophysiological modulators promote neurodegeneration, cognitive impairment, and Alzheimer's disease // *J. Neurosci Res.* 2017. V. 95. № 4. P. 943.
 34. *Torres-Simón L., Doval S., Nebreda A. et al.* Understanding brain function in vascular cognitive impairment and dementia with EEG and MEG: A systematic review // *Neuroimage Clin.* 2022. V. 35. P. 103040.
 35. *Mostile G., Giuliano L., Monastero R. et al.* Electrocardiac networks in Parkinson's disease patients with mild cognitive impairment. The PaCoS study // *Parkinsonism Relat. Disord.* 2019. V. 64. P. 156.
 36. *Pierik R., Uyttenboogaart M., Erasmus M.E. et al.* Distribution of perioperative stroke in cardiac surgery // *Eur. J. Neurol.* 2019. V. 26. № 1. P. 184.
 37. *Amano Y., Sano H., Fujimoto A. et al.* Cortical and internal watershed infarcts might be key signs for predicting neurological deterioration in patients with internal carotid artery occlusion with mild symptoms // *Cerebrovasc. Dis. Extra.* 2020. V. 10. № 2. P. 76.
 38. *Knyazev G.G.* EEG correlates of self-referential processing // *Front. Hum. Neurosci.* 2013. V. 7. P. 264.
 39. *Станкова Е.П., Шеповальников А.Н.* Функциональное объединение корковых полей в покое как механизм преднастройки мозга к целенаправленной деятельности // *Физиология человека.* 2018. Т. 44. № 6. С. 5.
 40. *González-López M., Gonzalez-Moreira E., Areces-González A. et al.* Who's driving? The default mode network in healthy elderly individuals at risk of cognitive decline // *Front. Neurol.* 2022. V. 13. P. 1009574.
 41. *Hodgetts C.J., Shine J.P., Williams H. et al.* Increased posterior default mode network activity and structural connectivity in young adult APOE-ε4 carriers: a multimodal imaging investigation // *Neurobiol. Aging.* 2019. V. 73. P. 82.
 42. *Wang J., Liu J., Wang Z. et al.* Dysfunctional interactions between the default mode network and the dorsal attention network in subtypes of amnesic mild cognitive impairment // *Aging (Albany NY).* 2019. V. 11. № 20. P. 9147.
 43. *Zhu Y., Zhou M., Jia X. et al.* Inflammation Disrupts the Brain Network of Executive Function after Cardiac Surgery // *Ann. Surg.* 2023. V. 277. № 3. P. e689.
 44. *Smith P.J., Browndyke J.N., Monge Z.A. et al.* Neurologic Outcomes Research Group (NORG). Longitudinal Changes in Regional Cerebral Perfusion and Cognition After Cardiac Operation // *Ann. Thorac. Surg.* 2019. V. 107. № 1. P. 112.
 45. *Utevsky A.V., Smith D.V., Huettel S.A.* Precuneus is a functional core of the default-mode network // *J. Neurosci.* 2014. V. 34. № 3. P. 932.

REFERENCES

1. *Indja B., Woldendorp K., Vallety M.P., Grieve S.M.* Silent brain infarcts following cardiac procedures: A systematic review and meta-analysis // *J. Am. Heart Assoc.* 2019. V. 8. № 9. P. e010920.
2. *Bogolepova A.N.* [Postoperative cognitive dysfunction] // *Zh. Nevrol. Psikhiatr. Im. S.S. Korsakova.* 2022. V. 122. № 8. P. 7.
3. *Osipova O.A., Shevtsov R.Y., Plaksina K.G., Mezentshev Y.A.* [Influence of the duration of coronary bypass operation on formation of postoperative cognitive dysfunction in elderly patients] // *Current Problems of Health Care and Medical Statistics.* 2023. № 1. P. 252.
4. *Evered L., Atkins K., Silbert B., Scott D.A.* Acute perioperative neurocognitive disorders: a narrative review // *Anaesthesia.* 2022. V. 77. P. 34.
5. *Liu J., Huang K., Zhu B. et al.* Neuropsychological tests in post-operative cognitive dysfunction: Methods and applications // *Front. Psychol.* 2021. V. 12. P. 684307.
6. *Tasbihgou S.R., Absalom A.R.* Postoperative neurocognitive disorders // *Korean J. Anesthesiol.* 2021. V. 74. № 1. P. 15.
7. *Trubnikova O.A., Tarasova I.V., Moskin E.G. et al.* Beneficial effects of a short course of physical prehabilitation on neurophysiological functioning and neurovascular biomarkers in patients undergoing coronary artery bypass grafting // *Front. Aging Neurosci.* 2021. V. 13. P. 699259.
8. *Urits I., Orhurhu V., Jones M. et al.* Current perspectives on postoperative cognitive dysfunction in the ageing population // *Turk. J. Anaesthesiol. Reanim.* 2019. V. 47. № 6. P. 439.
9. *Rots M.L., Fassaert L.M.M., Kappelle L.J. et al.* Intraoperative hypotension is a risk factor for post-operative silent brain ischaemia in patients with pre-operative hypertension undergoing carotid endarterectomy // *Eur. J. Vasc. Endovasc. Surg.* 2020. V. 59. № 4. P. 526.
10. *Neimark M.I., Shmelev V.V., Rakhmonov A.A., Titova Z.A.* Etiology and pathogenesis of postoperative cognitive dysfunction (Review) // *Gen. Reanimatol.* 2023. V. 19. № 1. P. 60.
11. *Tarasova I.V., Trubnikova O.A., Kupriyanova D.S. et al.* Cognitive functions and patterns of brain activity in patients after simultaneous coronary and carotid artery revascularization // *Front. Hum. Neurosci.* 2023. V. 17. P. 996359.

12. *Garrone B., Durando L., Prenderville J. et al.* Paracetamol (acetaminophen) rescues cognitive decline, neuroinflammation and cytoskeletal alterations in a model of post-operative cognitive decline (POCD) in middle-aged rats // *Sci. Rep.* 2021. V. 11. № 1. P. 10139.
13. *Balan A.V.* [The phenomenon of postoperative cognitive dysfunction (POCD) in modern anesthesiological practice in elderly patients (literature review): proceedings of the conference] / Science and education: future development: materials of the VIII International Scientific and Practical Conference. Cheboksary: SCC "Interactive plus", 2018. P. 33.
14. *Butz M., El Shazly J., Sammer G. et al.* Decreasing postoperative cognitive deficits after heart surgery: protocol for a randomized controlled trial on cognitive training // *Trials.* 2019. V. 20. № 1. P. 733.
15. *Ishizawa Y.* Does preoperative cognitive optimization improve postoperative outcomes in the elderly? // *J. Clin. Med.* 2022. V. 11. № 2. P. 445.
16. *Greaves D., Psaltis P.J., Lampit A. et al.* Computerised cognitive training to improve cognition including delirium following coronary artery bypass grafting surgery: protocol for a blinded randomised controlled trial // *BMJ Open.* 2020. V. 10. № 2. P. e034551.
17. *Trubnikova O.A., Tarasova I.V., Kukhareva I.N. et al.* Effectiveness of dual-task computerized cognitive training in the prevention of postoperative cognitive dysfunction in coronary bypass surgery // *Cardiovasc. Ther. Prev.* 2022. V. 21. № 8. P. 3320.
18. *Requena C., Rebok G.W.* Evaluating successful aging in older people who participated in computerized or paper-and-pencil memory training: The Memoria Mejor program // *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2019. V. 16. № 2. P. 191.
19. *Mack M., Stojan R., Bock O., Voelcker-Rehage C.* Cognitive-motor multitasking in older adults: a randomized controlled study on the effects of individual differences on training success // *BMC Geriatr.* 2022. V. 22. № 1. P. 581.
20. *Vecchio F., Miraglia F., Alù F. et al.* Human brain networks in physiological and pathological aging: reproducibility of electroencephalogram graph theoretical analysis in cortical connectivity // *Brain Connect.* 2022. V. 12. № 1. P. 41.
21. *Moody O.A., Zhang E.R., Vincent K.F. et al.* The neural circuits underlying general anesthesia and sleep // *Anesth. Analg.* 2021. V. 132. № 5. P. 1254.
22. *Vlissides P.E., Li D., Maywood M. et al.* Electroencephalographic biomarkers, cerebral oximetry, and postoperative cognitive function in adult non-cardiac surgical patients: a prospective cohort study // *Anesthesiology.* 2023. V. 139. № 5. P. 568.
23. *Tarasova I.V., Volf N.V., Kupriyanova D.S. et al.* [Changes in event-related synchronization/desynchronization of brain electric activity in cardiosurgical patients with postoperative cognitive dysfunction] // *Sib. Sci. Med. J.* 2021. V. 41. № 2. P. 12.
24. *Tarasova I.V., Kupriyanova D.S., Trubnikova O.A. et al.* Current source density (sLORETA) in patients undergoing cognitive rehabilitation using dual task in the early postoperative period of coronary artery bypass grafting // *Compl. Iss. Cardiovasc. Dis.* 2022. V. 11. № 4S. P. 65.
25. *Pascual-Marqui R.D.* Standardized low-resolution brain electromagnetic tomography (sLORETA): technical details // *Methods Find. Exp. Clin. Pharmacol.* 2002. V. 24. P. 5.
26. *Privodnova E.Y., Volf N.V.* Figural creative task sculpts the baseline resting-state EEG in older adults: a pilot study // *Human Physiology.* 2021. V. 47. № 5. P. 28.
27. *Kupriyanova D.S., Tarasova I.V.* The possibilities of using the sLORETA method for the diagnosis of brain damage in cardiac surgery patients in the perioperative period // *Psychophysiology News.* 2023. № 1. P. 54.
28. *Urazgildeeva G.R., Ponomareva N.V., Kolesnikova E.P. et al.* [New possibilities of using high-resolution cognitive evoked potentials in assessing the progression of Huntington's disease] // *Bulletin of the National Society for the Study of Parkinson's Disease and Movement Disorders.* 2022. № 2. P. 205.
29. *Nardone R., Sebastianelli L., Versace V. et al.* Usefulness of EEG Techniques in Distinguishing Frontotemporal Dementia from Alzheimer's Disease and Other Dementias // *Dis. Markers.* 2018. V. 2018. P. 6581490.
30. *Leviashvili S., Ezra Y., Droby A. et al.* EEG-Based Mapping of Resting-State Functional Brain Networks in Patients with Parkinson's Disease // *Biomimetics (Basel).* 2022. V. 7. № 4. P. 231.
31. *Klados M.A., Styliadis C., Frantzidis C.A. et al.* Beta-Band Functional Connectivity is Reorganized in Mild Cognitive Impairment after Combined Computerized Physical and Cognitive Training // *Front. Neurosci.* 2016. V. 10. P. 55.
32. *Syrova I.D., Tarasova I.V., Trubnikova O.A. et al.* A multitask approach to prevention of the cognitive decline after coronary artery bypass grafting: a prospective randomized controlled study // *J. Xiangya Med.* 2023. V. 8. P. 2.
33. *Daulatzai M.A.* Cerebral hypoperfusion and glucose hypometabolism: Key pathophysiological modulators promote neurodegeneration, cognitive impairment, and Alzheimer's disease // *J. Neurosci Res.* 2017. V. 95. № 4. P. 943.
34. *Torres-Simón L., Doval S., Nebreda A. et al.* Understanding brain function in vascular cognitive impairment and dementia with EEG and MEG: A systematic review // *Neuroimage Clin.* 2022. V. 35. P. 103040.

35. *Mostile G., Giuliano L., Monastero R. et al.* Electrocortical networks in Parkinson's disease patients with mild cognitive impairment. The PaCoS study // *Parkinsonism Relat. Disord.* 2019. V. 64. P. 156.
36. *Pierik R., Uyttenboogaart M., Erasmus M.E. et al.* Distribution of perioperative stroke in cardiac surgery // *Eur. J. Neurol.* 2019. V. 26. № 1. P. 184.
37. *Amano Y., Sano H., Fujimoto A. et al.* Cortical and internal watershed infarcts might be key signs for predicting neurological deterioration in patients with internal carotid artery occlusion with mild symptoms // *Cerebrovasc. Dis. Extra.* 2020. V. 10. № 2. P. 76.
38. *Knyazev G.G.* EEG correlates of self-referential processing // *Front. Hum. Neurosci.* 2013. V. 7. P. 264.
39. *Stankova E.P., Shepovalnikov A.N.* Functional connectivity of cortical fields at rest as a mechanism of brain preparation to purposeful activity // *Human Physiology.* 2018. V. 44. № 6. P. 5.
40. *González-López M., Gonzalez-Moreira E., Areces-González A. et al.* Who's driving? The default mode network in healthy elderly individuals at risk of cognitive decline // *Front. Neurol.* 2022. V. 13. P. 1009574.
41. *Hodgetts C.J., Shine J.P., Williams H. et al.* Increased posterior default mode network activity and structural connectivity in young adult APOE-ε4 carriers: a multimodal imaging investigation // *Neurobiol. Aging.* 2019. V. 73. P. 82.
42. *Wang J., Liu J., Wang Z. et al.* Dysfunctional interactions between the default mode network and the dorsal attention network in subtypes of amnesic mild cognitive impairment // *Aging (Albany NY).* 2019. V. 11. № 20. P. 9147.
43. *Zhu Y., Zhou M., Jia X. et al.* Inflammation Disrupts the Brain Network of Executive Function after Cardiac Surgery // *Ann. Surg.* 2023. V. 277. № 3. P. e689.
44. *Smith P.J., Browndyke J.N., Monge Z.A. et al.* Neurologic Outcomes Research Group (NORG). Longitudinal Changes in Regional Cerebral Perfusion and Cognition After Cardiac Operation // *Ann. Thorac. Surg.* 2019. V. 107. № 1. P. 112.
45. *Utevsky A.V., Smith D.V., Huettel S.A.* Precuneus is a functional core of the default-mode network // *J. Neurosci.* 2014. V. 34. № 3. P. 932.

The Comparison of Two Multitasking Approaches to Cognitive Training in Patients after Coronary Bypass Surgery: Theta Activity Changes and sLORETA Analysis Data

**D. S. Kupriyanova*, I. V. Tarasova, I. N. Kuhareva, I. D. Syrova,
A. S. Sosnina, O. A. Trubnikova, O. L. Barbarash**

Research Institute of Complex Issues of Cardiovascular Diseases, Kemerovo, Russia

*E-mail: kuprds@bk.ru

The study investigated the changes in theta activity and localization of its sources by standardized low resolution brain electromagnetic tomography (sLORETA) in patients who have underwent two variants of multitasking cognitive training (CT) in the early postoperative period of coronary artery bypass grafting (CABG). Two groups were formed in a pseudo-random way, which differed according to the type of motor problem used: CT I (n = 27) – a postural balance task and CT II (n = 27) – a simple visual-motor reaction. Cognitive tasks were the same for both groups (counting backwards, verbal fluency, and unusual uses for common objects). Daily sessions of CT were held from the 3rd to 4th day after CABG, with a duration of 5 minutes on the 1st day of training and up to 20 minutes on the 6th to 7th day of training. The current density of theta rhythm sources was lower before CABG than after surgery in the CT II group only. The most significant differences are in the Brodmann area 31, the parietal occipital lobes and precuneus, which may indicate damage associated with cardiac surgery. This effect was not observed in the CT I group. The results of our study demonstrated the informativeness of sLORETA indicators to determine an effective cognitive recovery option after CABG. The reduction of the severity of damaging effects of CABG during training using cognitive tasks and postural balance task was shown. Further research is needed to determine the optimal mode and duration of cognitive training to maximize the functional reserves of such patients.

Keywords: EEG, sLORETA, low-resolution tomography, cerebral ischemia, cognitive impairment, cognitive rehabilitation, multitasking approach, coronary artery bypass surgery.