

Федеральное Государственное бюджетное научное учреждение
«Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-
сосудистых заболеваний»

Департамент охраны здоровья населения Кемеровской области

«УТВЕРЖДЕНО»

Федеральное Государственное бюджетное
научное учреждение
«Научно-исследовательский институт
комплексных проблем сердечно-сосудистых
заболеваний»

акад. РАН О.Л. Барбараш
« 2025 г. »



«СОГЛАСОВАНО»

Министерство здравоохранения Кузбасса
Е.М. Зеленина

« 2025 г. »



**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ КОМПЬЮТЕРНОЙ ОБРАБОТКИ
ЭЭГ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ МОЗГОВОГО ПОВРЕЖДЕНИЯ,
АССОЦИИРОВАННОГО С АТЕРОСКЛЕРОЗОМ КОРОНАРНЫХ
И КАРОТИДНЫХ АРТЕРИЙ**

Методические рекомендации
для студентов, клинических ординаторов, врачей функциональной диагностики,
кардиологов, кардиохирургов

Кемерово – 2025

Применение методов компьютерной обработки ЭЭГ для диагностики мозгового повреждения, ассоциированного с симультанными вмешательствами на коронарных и каротидных артериях – Кемерово, 2025. - 25 с.

Методические рекомендации для студентов, клинических ординаторов, врачей функциональной диагностики, кардиологов, кардиохирургов подготовила:

Тарасова И.В. – д.м.н., ведущий научный сотрудник лаборатории нейрососудистой патологии отдела клинической кардиологии ФГБНУ НИИ КПССЗ;

Кухарева И.В. – к.м.н., старший научный сотрудник лаборатории нейрососудистой патологии отдела клинической кардиологии ФГБНУ НИИ КПССЗ

Куприянова Д.С. – научный сотрудник лаборатории нейрососудистой патологии отдела клинической кардиологии ФГБНУ НИИ КПССЗ

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

Семенов С.Е. - д.м.н., в.н.с. нейрососудистой патологии ФГБНУ НИИ КПССЗ, г. Кемерово;

Поликутина О.М. - д.м.н., зав. отделением функциональной и ультразвуковой диагностики ФГБНУ НИИ КПССЗ, г. Кемерово.

Методические рекомендации рассмотрены и рекомендованы Ученым советом ФГБНУ НИИ КПССЗ к изданию.

© ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний», 2025

Содержание

Список сокращений.....	4
Введение.....	5-6
1. Методы математической обработки электроэнцефалограммы и их прикладное значение в клинической практике.....	6-7
1.1. Спектральный анализ ЭЭГ.....	7
1.2. Когерентный анализ ЭЭГ	7-8
1.3. Вызванные потенциалы.....	8
1.4. Вызванная синхронизация/десинхронизация.....	9
1.5. Стандартизованная электромагнитная томография низкого разрешения..	9-10
2. Возможности применения метода электроэнцефалографии для диагностики ишемического мозгового повреждения.....	10
2.1. ЭЭГ признаки поражения головного мозга при инсульте и сосудистых когнитивных расстройствах практике.....	10-14
2.2. ЭЭГ признаки поражения головного мозга при кардиохирургических вмешательствах.....	14-16
Заключение.....	17
Список литературы.....	18-25

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ВП	– вызванные потенциалы
ИБС	– ишемическая болезнь сердца
ИК	– искусственное кровообращение
КР	– когнитивные расстройства
КШ	– коронарное шунтирование
КЭЭ	– каротидная эндартерэктомия
НВЕ	– нейроваскулярная единица
ОНМК	– острое нарушение мозгового кровообращения
СА	– сонные артерии
ЭЭГ	– электроэнцефалография
ERD/ERS	– event-related alpha desynchronization/synchronization
sLORETA	– standardized low resolution brain electromagnetic tomography

ВВЕДЕНИЕ

Диагностика и лечение пациентов, имеющих сочетанное поражение сонных и коронарных артерий, представляет собой значительную проблему для современной медицинской практики. Установлено, что стеноз сонной артерии (СА) является независимым предиктором периоперационного инсульта у пациентов, перенесших коронарное шунтирование (КШ), частота периоперационного инсульта у пациентов со стенозом сонной артерии после КШ может достигать 11% (Тарасов и др., 2017; Xiang et al., 2019; Campbell et al., 2021). Оптимальный подход к лечению сочетанного поражения сонных и коронарных артерий остается спорным, в качестве одного из потенциально эффективных методов для определенной когорты пациентов предлагается симультанная операция каротидной эндартерэктомии и коронарного шунтирования (Tarasov et al., 2017; Akhtar et al., 2025). Симультанное вмешательство в 3-4% случаев осложняется острым нарушением мозгового кровообращения (Golukhova et al., 2024), но гораздо чаще вследствие глобальной ишемии мозга, ассоциированной с искусственным кровообращением (ИК), она может вызвать диффузное поражение нервной ткани, которое приводит к снижению когнитивных функций (Weimar et al., 2017; Tarasova et al., 2023). Предыдущие исследования показали, что у пациентов, перенесших одновременную операцию на коронарных и сонных артериях, наблюдается высокая частота послеоперационной когнитивной дисфункции (ПОКД) в раннем послеоперационном периоде (Малева и др., 2020; Tarasova et al., 2023).

Хотя важность данной проблемы очевидна, в настоящий момент не определены подходы к диагностике нарушений работы головного мозга, ассоциированных с симультанным вмешательством при сочетанном поражении сонных и коронарных артерий. Электроэнцефалография (ЭЭГ) может быть перспективным методом получения данных о специфических изменениях электрической активности мозга у кардиохирургических пациентов благодаря высокому временному и умеренному пространственному разрешению. Изучение спонтанной электрической активности мозга при различных патологических состояниях показало, что нейронные осцилляторные системы активно вовлекаются в патологический процесс и их изменения являются наиболее ранним свидетельством последующего нарушения когнитивных функций (Musaeus et al., 2018; Babiloni et al., 2020; Tarasova et al., 2023). В проведенных ранее исследованиях показана высокая диагностическая ценность параметров ЭЭГ у пациентов, перенесших кардиохирургическое вмешательство

(Trubnikova et al., 2021; Tarasova et al., 2024). Однако такого рода работы немногочисленны в связи со сложностью проведения и обработки результатов цифровой многоканальной ЭЭГ в условиях реальной клинической практики. Между тем применение методов компьютерной обработки может позволить не только повысить информативность нативной ЭЭГ для диагностики мозгового повреждения, ассоциированного с симультанными вмешательствами, но и определить категорию кардиохирургических пациентов с повышенной вероятностью наличия периперационных когнитивных расстройств.

1. Методы математической обработки электроэнцефалограммы и их прикладное значение в клинической практике

Электроэнцефалография (ЭЭГ) — это неинвазивный метод исследования, позволяющий изучать работу головного мозга посредством регистрации его спонтанной электрической активности. Анализ ЭЭГ может быть осуществлен с помощью цифровых методов обработки сигналов, с применением различных компьютерных алгоритмов и статистических методов. Такой подход открывает новые возможности для научных исследований и получения глубокого понимания работы мозга. Последние десятилетия ознаменовались широким распространением устройств ЭЭГ и ростом доступности вычислительных мощностей и программных инструментов для анализа данных, что сделало обработку сигналов ЭЭГ более простой и быстрой для научных исследований. Получаемая с помощью ЭЭГ ритмическая активность отражает согласованную работу различных областей головного мозга в режиме реального времени. Регистрация биоэлектрической активности возможна в разные временные отрезки, при различном функциональном состоянии обследуемого, в состоянии спокойного бодрствования, в том числе с нагрузочными пробами, в период сна, до и после операционного вмешательства или другой медицинской манипуляции. ЭЭГ позволяет получить также информацию о потенциальной обратимости повреждения нейронов, что делает этот метод информативным и для динамического мониторинга состояния головного мозга (Caffarelli et al., 2025; Han et al 2025).

Первый количественный анализ ЭЭГ был проведен пионером этого метода Гансом Бергером, который в 1929 году использовал преобразование Фурье для количественной оценки спектрального распределения активности мозга при различных физиологических состояниях и условиях стимуляции (Cisotto, Chicco, 2024). С момента

своего появления методики количественного анализа ЭЭГ непрерывно совершенствовались, а с появлением цифровой ЭЭГ получили мощный импульс развития. Современные компьютерные методы анализа ЭЭГ демонстрируют высокую точность и могут быть ценным инструментом для дифференциальной диагностики множества заболеваний.

1.1. Спектральный анализ ЭЭГ

Одним из методов компьютерной обработки ЭЭГ является спектральный анализ, который отражает ее амплитудно-частотную характеристику. Математическим основанием данного метода является преобразование Фурье, базирующееся на предположении о том, что любой сигнал может быть представлен как сумма определенного (возможно бесконечного) числа гармонических синусоидально-косинусоидальных составляющих возрастающей частоты. Таким образом, результат преобразования Фурье является функцией частоты и амплитуды сигнала.

Спектральный анализ дает возможность наглядно проследить распределение различных частот ЭЭГ по поверхности головы. В результате спектрального анализа вычисляются ряд числовых параметров, которые затем могут быть обработаны статистически. Перечень и количество этих параметров зависят от программного обеспечения, которое используется для спектрального анализа в конкретном случае, но чаще всего рассчитывается средняя мощность (усредненная мощность спектра в заданном частотном диапазоне); индексы ритма (отношение площади под графиком спектра в частотном диапазоне ритма к общей площади под графиком спектра в полосе пропускания); доминирующая частота (частота, в которой график спектра достигает пика в заданном частотном диапазоне) и межполушарная асимметрия (разница средней мощности спектра между соответствующими отведениями левого и правого полушарий).

1.2. Когерентный анализ ЭЭГ

Также в оценке функционального состояния мозга используют методы корреляционного анализа, отражающие взаимоотношения ритмов ЭЭГ между отдельными точками мозга внутри одного полушария или между полушариями (кросс-корреляция, когерентность), или между различными эпохами и по разным ритмам в одном отведении (автокорреляция, биспектральный индекс).

Когерентный анализ ЭЭГ использует математические алгоритмы для определения степени похожести спектральных характеристик двух выбранных отведений головного мозга. Когерентность – количественный показатель, позволяющий оценить степень синхронизации частотных составляющих ЭЭГ между различными отделами коры головного мозга, представляет собой корреляцию спектральной мощности ЭЭГ, вычисленной для разных электродов в одном и том же частотном диапазоне.

Когерентность, являясь Фурье-преобразованием кросс-корреляции, позволяет количественно оценить статистическую зависимость между частотными характеристиками двух волновых процессов и обладает высокой чувствительностью. Если основной интерес исследования составляет стабильность соотношения между двумя процессами, наиболее подходящим инструментом является анализ когерентности. В то время как для выявления особенностей сигнала и временной взаимосвязи этих процессов более эффективным методом будет корреляционный анализ. Но при обычных физиологических параметрах, влияние уровня мощности на когерентность можно считать несущественным, и данные, полученные с помощью обоих методов, будут сопоставимы.

1.3. Вызванные потенциалы

Вызванные потенциалы (ВП) — это колебания электрических ответов мозговой ткани, которые связаны во временном отношении с каким-либо физическим или психическим явлением. Эти потенциалы могут быть извлечены из ЭЭГ с помощью фильтрации и усреднения сигнала. ВП могут оцениваться как в частотном, так и во временном диапазонах. Обладая высоким временным разрешением, порядка миллисекунд, ВП обеспечивают точное измерение процессов обработки информации в головном мозге. Пространственное разрешение ВП ограничено числом каналов ЭЭГ записи, но многоканальные записи могут позволить точнее оценить локализацию происходящих мозговых процессов. Временные и топографические характеристики ВП, могут быть использованы в различных исследовательских проектах, охватывающих широкий спектр целей — от изучения механизмов функционирования мозга до разработки конкретных диагностических методик в области медицины и психологии.

1.4. Вызванная десинхронизация/десинхронизация

Вызванная десинхронизация/синхронизация (event-related alpha desynchronization/synchronization (ERD/ERS)) — способ обработки ЭЭГ, который определяет меру процентного снижения/увеличения спектральной мощности ЭЭГ в заданной частотной полосе и интервале времени в ответ на предъявление стимула. ERD/ERS рассчитывается также на основе преобразования Фурье с установлением определенных временных интервалов для анализа (например: 1000 мс до и 2000 мс после предъявления стимула) и выполняется в определенной частотной полосе. Выбор временных интервалов для расчетов ERD/ERS чаще всего осуществляется на основании данных предыдущих исследований, согласно которым, в частности, в интервале до 200 мс после предъявления стимула происходят перцептивные и неосознаваемые процессы (Грибер, 2023), а следующие 200-400 мс отражают процесс визуальной селекции информации, тогда как временной интервал 400-800 мс связывается с процессом удержания в рабочей памяти предыдущей стимульной информации для селекции последующей (Behzadnia et al., 2018; Тарасова и др., 2021).

1.5. Стандартизованная электромагнитная томография низкого разрешения

Метод стандартизованной электромагнитной томографии низкого разрешения (Pascual-Marqui, 2002) sLORETA (standardized low resolution brain electromagnetic tomography) позволяет вычислить объемную плотность источников электрической активности головного мозга. С помощью данного метода рассчитывается распределение нейронной активности во всем объеме мозга, согласно оцифрованному атласу Talairah and Tournoux (1998, Brain Imaging centre, Montreal Neurological Institute). Кора представлена в виде сетки, состоящей из 6239 вокселей (объемных элементов мозговой ткани) размером 53 мм. В каждом вокселе находятся источники электрической активности, плотность мощности которых определяется электромагнитными полями при проведении регистрации ЭЭГ, при этом воксельное пространство ограничено серым веществом коры и областью гиппокампа. Предполагается, что соседние нейронные популяции, представленные вокселями, активируются синхронно и одновременно. Метод sLORETA основывается на принципе, что волны, исходящие от источника нейронной активности, распространяются в различных направлениях. При выявлении волн с наибольшей

синхронизацией существует высокая вероятность определения возможного местоположения коркового источника. Таким образом, сущность метода sLORETA заключается в нахождении трехмерных показателей плотности источника распределения ЭЭГ-активности в мозге. Результаты вычисления представлены в виде изображений контраста плотности источников на различном уровне срезов головного мозга. Возможности анализа sLORETA применяются в диагностике различных неврологических заболеваний, в том числе для локализации источника эпилепсии (Cox et al., 2024), нейродегенеративных заболеваний (Frühwirth et al., 2025), инсультов (Sakamoto et al., 2010; Fang et al., 2015), черепно-мозговых травм (Ilanof et al., 2017) и прочее.

2. Возможности применения метода электроэнцефалографии для диагностики ишемического мозгового повреждения

Поиск эффективных и безопасных способов для ранней диагностики и контроля патологических процессов в головном мозге, а также для оценки эффективности лечебно-восстановительных вмешательств является одной из ключевых задач современной медицинской науки. Помимо биохимических тестов и инвазивной нейровизуализации, перспективным направлением являются электрофизиологические методы. Метод ЭЭГ заслуженно считается одним из востребованных неинвазивных инструментов, применяемых в медицинской практике для исследования функционирования мозга как в норме, так и при патологических состояниях (Zappasodi et al., 2019; Babiloni et al., 2020; Tarasova et al., 2023; Monteiro et al., 2024).

2.1. ЭЭГ признаки поражения головного мозга при инсульте и сосудистых когнитивных расстройствах

Инсульт, или острое нарушение мозгового кровообращения (ОНМК), представляет собой серьезную медико-социальную проблему, связанную с утратой трудоспособности, длительным периодом лечения и восстановления. Проявления инсульта связаны с потерей или резким ослаблением моторных, сенсорных и когнитивных способностей (Elendu et al., 2023). Анализ изменений электрической активности нейронов дает новые возможности для разработки прогностических показателей, которые могли бы предсказать благоприятные клинические исходы у

пациентов с ишемическим поражением головного мозга (Milani et al., 2022). В режиме спокойного бодрствования, без интенсивных когнитивных нагрузок, деятельность мозга, в основном, сосредоточена на обработке данных из кратковременной памяти, поддержании внутреннего внимания, а также планировании целенаправленной деятельности. Показано, что активность крупных объединений нейронов, проявляющаяся в низкочастотных колебаниях, связана с процессами мотивации, памятью и вниманием. Высокочастотные ритмы же, наоборот, свидетельствуют о локальной обработке информации нейронами и участвуют в более узкоспециализированных когнитивных функциях, таких, например, как объединение различных характеристик мультимодальных стимулов (Hoshi, Shigihara, 2020).

Проведенные исследования продемонстрировали, что даже небольшое, ограниченное по площади нарушение кровоснабжения мозга может привести к его общему ухудшению работы, проявляющемуся в нарушениях нейронной активности (Sheorajpanday 2009; Zappasodi et al., 2019; Milani et al., 2022). Обнаружено также, что повреждение нейронных сетей в какой-то области мозга приводит к ухудшению функционирования более отдаленных регионов, а также может вызвать компенсаторную перестройку активности связанных неповрежденных областей (Chaudhary, Rema, 2018). Системность возникающих при острой ишемии нарушений деятельности нейрональных сетей подтверждается также данными об ухудшении межполушарного взаимодействия при выполнении задач на внимание, восприятие и лингвистических задач у пациентов с ишемическим инсультом (Petrovic et al 2017; Zappasodi et al., 2019; Rogala et al., 2024). В исследовании Zappasodi et al., 2019 было показано, что наличие у пациентов двустороннего увеличения низкочастотной электрической активности головного мозга и снижения ее полушарной асимметрии в острой фазе одностороннего инсульта в бассейне средней мозговой артерии предсказывает худший функциональный исход в последующем периоде наблюдения. В недавнем исследовании были оценены прогностические модели, содержащие ряд демографических, клинических и ЭЭГ показателей, для прогнозирования благоприятного и неблагоприятного исхода через 6 месяцев после выписки у пациентов с острым ишемическим инсультом (Mao et al., 2025). Показано, что увеличение соотношения мощности тета/альфа-ритмов является чувствительным индикатором, определяющим неблагоприятный клинический исход через 6 месяцев после острого ишемического инсульта.

Установлено, что электрическая активность на частоте альфа- и бета-ритмов во фронтальных и париетальных отделах коры подвергается значительным перестройкам после инсульта, и ее функциональная реорганизация тесно связано с остаточными нарушениями двигательных функций и восстановлением моторных функций после инсульта (Li et al., 2024). В другой работе выявлена взаимосвязь между замедлением альфа-активности и дисфункцией внимания в постинсультном периоде (Schleiger et al., 2017).

Было также продемонстрировано, что увеличение амплитуды десинхронизации бета-ритма ассоциировано нарушениями двигательных функций, тогда как повышенная бета-ресинхронизация при повторе стимула мощность дельта-диапазона ассоциированы с соматосенсорными нарушениями (Tedesco Triccas et al., 2025). Эти результаты подчеркивают потенциал вызванной активности ЭЭГ для дифференциации между сенсомоторными и двигательными нарушениями при инсульте.

В работе Ros et al. [73] проведен поиск корковых источников мозгового повреждения при ОНМК, которое затрагивало темпорально-окципитальные области правого полушария. Известно, что у пациентов, перенесших инсульт, может наблюдаться инвалидизирующий дефицит зрительного восприятия в полуполе, противоположном стороне поражения головного мозга, известный как геминеглект. Анализ LORETA позволил выявить нарушение связности межполушарной сети в пределах альфа/бета-ритмов, которое специфически коррелировало со степенью геминеглекта пациентов. Авторы делают вывод, что высокое временное разрешение и частотный состав сигналов ЭЭГ могут привести к более чувствительным маркерам и целенаправленным подходам к реабилитации пациентов с инсультом.

Сосудистые когнитивные расстройства (КР) являются основной причиной когнитивных нарушений у пожилых людей с сердечно-сосудистыми заболеваниями и сопутствующим фактором развития и прогрессирования большинства нейродегенеративных заболеваний. Современные исследования свидетельствуют о том, что у пациентов с сосудистыми КР изменения в структуре и функциях мозга происходят до появления клинически явных проявлений когнитивного дефицита.

Получены доказательства, что при сосудистых КР наблюдаются специфические особенности частотно-пространственной организации электрической активности головного мозга (Schleiger et al., 2017; Tarasova et al., 2018; Al-Qazzaz et al., 2018). Al-Qazzaz и соавторы изучали отличительные характеристики пациентов с сосудистым КР

и здоровых лиц с использованием методов нелинейного анализа ЭЭГ. Было обнаружено, что степень нерегулярности и сложности ЭЭГ была значительно ниже у пациентов с КР по сравнению с контрольными субъектами.

Основываясь на проведенных ранее исследованиях, мощность тета-волн связывают с обменом информацией между гиппокампом, энторинальной, периринальной и парагиппокампальной корой (Herweg and Kahana, 2018). Нейрофизиологические изменения, связанные с сосудистыми КР, в первую очередь характеризуются повреждением нейроваскулярной единицы (НВЕ) (Li et al., 2024). НВЕ представляет собой сложную анатомическую структуру, состоящую из эндотелиальных клеток, специализирующихся на гематоэнцефалическом барьере, окруженных базальной пластинкой и взаимодействующих с нейронами, астроцитами, микроглией, перicyтами и внеклеточным матриксом (Iadecola, 2017; Rundek et al., 2022). Повреждение НВЕ на ранних стадиях патогенеза может привести к нарушению регуляции мозгового кровотока, проницаемости сосудов, иммунного транспорта и нейротрофических процессов. Комбинация снижения мозговой перфузии и сосудистые факторы риска, такие как гиперлипидемия, гипергликемия и гиперурикемия, в сочетании с атеросклерозом внутримозговых сосудов, создают наложенные эффекты, которые значительно увеличивают выработку провоспалительных молекул и цитокинов. Это приводит к усилению нейровоспаления, повреждению аксонов и последующему замедлению нервной проводимости, что в конечном итоге приводит к изменению ритмов электрофизиологической активности в мозге (Torres-Simón et al., 2022). Предыдущие исследования показали, что увеличение медленноволновой активности (дельта и тета) и снижение быстроволновой активности (альфа и бета) отражают потерю синаптической иннервации во время прогрессирования заболевания (Musaev et al., 2018). Увеличение тета-активности является одним из самых ранних нейрофизиологических изменений, наблюдаемых при легких КР (Chino-Vilca et al., 2022). В других исследованиях обнаружено, что у пациентов с ишемической болезнью сердца (ИБС) увеличение тета-активности в лобных и затылочных областях, а также увеличение тета/альфа соотношения ритмов ЭЭГ можно рассматривать как начальные признаки сосудистого КР (Tarasova et al., 2018). Увеличение мощности тета-ритма в задних регионах коры являлось дифференцирующим признаком для лиц с сосудистой деменцией по сравнению со здоровыми людьми (Li et al., 2024).

В работах Моретти и соавторов были предложены еще несколько перспективных ЭЭГ-маркеров, которые могут быть важны при дифференциальной диагностике сосудистого и нейродегенеративного типа КР. В одной из работ, используя практически здоровых людей в качестве группы сравнения, удалось продемонстрировать, что пациенты с сосудистыми КР отличались замедлением центральной частоты альфа-активности и меньшей мощностью альфа2-ритма, тогда как мощность биопотенциалов дельта и тета-диапазонов у них была выше (Moretti et al., 2004). В другом исследовании индексы альфа3/альфа2 и тета/гамма показали прогностическое значение для прогрессирования нейродегенеративного типа когнитивного дефицита (Moretti et al., 2009).

Таким образом, анализ цифровой ЭЭГ может оказаться полезным не только для детального определения характера и локализации повреждения головного мозга при инсульте и сосудистых когнитивных расстройствах, но также обладает прогностической значимостью в отношении процесса выздоровления или прогрессирования заболевания.

2.2. ЭЭГ признаки поражения головного мозга при кардиохирургических вмешательствах

Установлен факт того, что кардиохирургические вмешательства могут приводить как к локальным, так и к диффузным повреждениям мозга (Weimar et al., 2017; Tarasova et al., 2023). Предполагается, что хроническая церебральная ишемия, а также эпизоды острой ишемии, возникающие в ходе операций на сердце с использованием ИК, могут приводить к специфическим изменениям в электрической активности мозга у пациентов с ИБС (Tarasova et al., 2023). Показано, что активность ЭЭГ на частоте тета-диапазона является одним из наиболее чувствительных индикаторов, связанных с периоперационным повреждением головного мозга (Trubnikova et al., 2014; Куприянова и др. 2023; Tarasova et al., 2023). Обнаружено, что наличие ранней ПОКД у пациентов, перенесших кардиохирургическое вмешательство, сопровождалось отрицательной послеоперационной динамикой параметров ЭЭГ с увеличением низкочастотной активности (Куприянова и др. 2023). По данным другой работы гемодинамически незначимые стенозы внутренних сонных артерий ($\geq 50\%$)

были ассоциированы с более выраженными изменениями тета-активности в раннем послеоперационном периоде КШ (Trubnikova et al., 2014).

В работе (Тарасова и др., 2021) анализ вызванной синхронизации/десинхронизации ЭЭГ был использован для выявления объективных маркеров ранней ПОКД. Для пациентов с ПОКД была характерна менее выраженная десинхронизация тета-активности в левых лобно-центральных регионах коры в интервале 200-400 мс после предъявления визуального стимула в когнитивной задаче по сравнению с пациентами без ПОКД. Также пациенты с ПОКД имели меньшую степень десинхронизации тета-ритма как фронтально-центральных, так и париетальных отделов правого полушария в более отдаленном интервале 600-800 мс после предъявления визуального стимула по сравнению с пациентами без когнитивного снижения.

Возможные патофизиологические механизмы церебральной ишемии во время операции с применением ИК могут быть связаны с атеросклерозом сосудов головного мозга, который приводит к артериальной жесткости, нарушению ауторегуляции мозгового кровотока, повреждению периваскулярных нервов (de la Torre, 2017; Frey et al., 2018). В совокупности эти неблагоприятные факторы вызывают нейрональную дисфункцию, атрофию тканей и повреждение нейронных сетей, что приводит к подавлению коры подкорковыми областями и доминированию низкочастотной активности мозга (Daulatzai, 2017). Следует подчеркнуть, что наиболее уязвимы для явлений церебральной гипоперфузии и микроэмболии, связанных с ИК, лобные и теменно-затылочные регионы мозга, известные как «зоны водораздела мозга», так как перфузируются концевыми ветвями двух основных мозговых артерий (Pierik et al., 2019; Amano et al., 2020). При этом, указанные зоны мозга играют ключевую роль в когнитивном контроле, внимании и исполнительных функциях (Widge et al., 2019; Roehri et al., 2022). Результаты недавнего исследования позволили установить, что наиболее распространенное увеличение тета-активности после кардиохирургического вмешательства наблюдается как во фронтальных, так и парието-окципитальных отделах обоих полушарий у пациентов с наличием предоперационного когнитивного расстройства (Тарасова и др. 2023). В другом исследовании, изучавшем ЭЭГ-корреляты мозгового повреждения у пациентов в группах с изолированным КШ и сочетанным вмешательством (КШ+каротидная эндартерэктомия (КЭЭ)), установлено, что независимо от типа проведенного кардиохирургического вмешательства в раннем

послеоперационном периоде отмечается диффузное увеличение мощности биопотенциалов тета-ритмов по сравнению с предоперационными показателями, а также снижение мощности биопотенциалов альфа1-ритма в задних регионах коры. Особенностью группы сочетанного вмешательства был преимущественный рост мощности биопотенциалов тета2-ритма в правом полушарии по сравнению с левым (Тарасова и др. 2018). Показана значимость стороны проведения КЭЭ при оценке показателей ЭЭГ в раннем послеоперационном периоде сочетанного вмешательства (Tarasova et al., 2023). Наиболее выраженная разница в послеоперационном увеличении тета-активности была обнаружена между пациентами с изолированным КШ и КШ+правосторонняя КЭЭ. Пациенты из последней группы имели более высокие значения мощности тета1 ритма в левой теменной и в правой лобной области по сравнению с пациентами с изолированным КШ.

Восстановление кровоснабжения мозга и сердечной мышцы вследствие кардиохирургического вмешательства способствует улучшению доставки кислорода и питательных веществ в ранее ишемизированные ткани. Однако этот процесс запускает каскад биохимических реакций, с генерацией активных форм кислорода и изменений в процессах нейротрансмиссии, которые могут временно усугубить повреждение нейронов, так называемый эффект «реперфузии» (Siburian et al., 2024). Этот эффект может быть кратковременным и исчезает после уменьшения отека и нормализации метаболизма нервных клеток (Wang et al., 2020).

Предполагается, что периоперационное мозговое повреждение может быть ассоциировано с дальнейшим прогрессированием уже имеющегося когнитивного дефицита и развитием нейродегенеративных заболеваний в отдаленном послеоперационном периоде (Evered et al., 2022). В ряде исследований продемонстрировано, что чем ранее начинается коррекция развивающихся КР, тем благоприятнее это сказывается на состоянии когнитивного статуса как при нормальном старении, а также при когнитивных расстройствах различного генеза (Tsiakiri et al., 2025; Zhang et al., 2025). Это особенно актуально для когорты кардиохирургических пациентов, у которых развитие послеоперационных когнитивных расстройств приводит к снижению успешности проводимого вмешательства, вызывая инвалидизацию и социальную зависимость пациентов. При этом важно, чтобы определение конкретных целей и методов когнитивной реабилитации пациентов после кардиохирургических

вмешательств основывалось на современных нейрофизиологических представлениях о периперационном повреждении головного мозга.

Подводя итог вышесказанному, стоит отметить, что методы цифровой обработки ЭЭГ способствуют улучшению понимания нейрофизиологических механизмов мозгового повреждения, ассоциированного с атеросклерозом коронарных и каротидных артерий, и являются важным инструментом для оценки когнитивного дефицита, а также выбора наиболее эффективных подходов к реабилитации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщая вышесказанное, следует отметить, что в изучении мозговых коррелятов периоперационного повреждения головного мозга и ассоциированных с ним когнитивных нарушений остается много нерешенных вопросов. Исследований, посвященных изучению патофизиологических механизмов когнитивных нарушений с использованием цифровых технологий обработки ЭЭГ-сигнала, недостаточно, и требуется их дальнейшее развитие. Современные методы обработки ЭЭГ-сигнала – sLORETA, вызванные потенциалы, нелинейные методы анализа – продемонстрировали свою информационную ценность при выявлении нарушений в уязвимых областях мозга у пациентов с инсультом, сосудистым КР, в раннем послеоперационном периоде кардиохирургических вмешательств. Показано, что ЭЭГ-паттерны мозговой активности, связанные с периоперационным повреждением мозга у пациентов, перенесших различные кардиохирургические операции, имеют специфические особенности. Дальнейший поиск чувствительных ЭЭГ маркеров прогнозирования влияния кардиохирургических операций на функцию мозга необходим для выявления специфических когорт пациентов, которым одномоментная реваскуляризация коронарного и каротидного сосудистого бассейна принесет максимальную пользу. Кроме того, перспективным можно считать использование цифровых методов обработки ЭЭГ для оценки эффективности когнитивной реабилитации у кардиохирургических пациентов в раннем послеоперационном периоде.

Литература

1. Грибер Ю.А. Электрофизиологические корреляты цветовой категоризации: обзор нейролингвистических исследований, разработанных с использованием парадигмы необычного стимула (оддболл-парадигмы). Научный диалог. 2023; 12(5): 9-38. doi: 10.24224/2227-1295-2023-12-5-9-38.
2. Куприянова Д.С., Тарасова И.В. Возможности применения метода sLORETA для диагностики мозгового повреждения у кардиохирургических пациентов в периоперационном периоде. Вестник психофизиологии. 2023; 1: 54-67. doi: 10.34985/h8662-9103-3641-w.
3. Малева О.В., Трубникова О.А., Сырова И.Д., Солодухин А.В., Головин А.А., Барбараш О.Л., Барбараш Л.С. Частота развития послеоперационной когнитивной дисфункции после симультанной операции на коронарных и внутренних сонных артериях при асимптомном течении церебрального атеросклероза. Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. 2020;120(3-2):5-12. doi: 10.17116/jnevro20201200325.
4. Тарасов Р.С., Казанцев А.Н., Иванов С.В., Бурков Н.Н., Ануфриев А.И., Барбараш Л.С. Хирургическое лечение мультифокального атеросклероза: патология коронарного и брахиоцефального бассейнов и предикторы развития ранних неблагоприятных событий. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. 2017;16(4):37-44. doi: 10.15829/1728-8800-2017-4-37-44
5. Тарасова И.В., Трубникова О.А., Тарасов Р.С., Малева О.В., Акбиров Р.М., Барбараш О.Л., Барбараш Л.С. Нейрофизиологический статус пациентов в раннем послеоперационном периоде после сочетанного вмешательства на коронарных и сонных артериях. Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия. 2018;11(5):33-39. doi:10.17116/kardio20181105133
6. Тарасова И.В., Вольф Н.В., Куприянова Д.С., Трубникова О.А., Барбараш О.Л. Изменения вызванной синхронизации/десинхронизации электрической активности коры мозга у кардиохирургических пациентов с послеоперационной когнитивной дисфункцией. Сибирский научный медицинский журнал. 2021;41(2):12-20. doi:10.18699/SSMJ20210202
7. Тарасова И.В., Куприянова Д.С., Трубникова О.А., Соснина А.С., Сырова И.Д., Кухарева И.Н., Малева О.В., Иванов С.В., Барбараш О.Л. Влияние предоперационного когнитивного расстройства на изменения электрической

активности головного мозга у пациентов, перенесших одномоментное вмешательство на каротидных и коронарных артериях. Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний. 2023;12(2):24-34. doi: 10.17802/2306-1278-2023-12-2-24-34

8. Akhtar KH, Metzger DC, Latif F. Carotid Disease and Management. *Interv Cardiol Clin.* 2025 Apr;14(2):191-204. doi: 10.1016/j.iccl.2024.11.006.
9. Al-Qazzaz NK, Ali SHBM, Ahmad SA, Islam MS, Escudero J. Discrimination of stroke-related mild cognitive impairment and vascular dementia using EEG signal analysis. *Med Biol Eng Comput.* 2018; 56(1):137-157. doi:10.1007/s11517-017-1734-7
10. Amano Y, Sano H, Fujimoto A, Kenmochi H, Sato H, Akamine S. 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;10(2):76-83. doi: 10.1159/000508090.
11. 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, Onofrij 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; 85:58-73. doi: 10.1016/j.neurobiolaging.2019.09.008.
12. Behzadnia A, Ghassemi F, Chermahini SA, Tabanfar Z, Taymourtash A. The neural correlation of sustained attention in performing conjunctive continuous performance task: an event-related potential study. *Neuroreport.* 2018 Aug 1;29(11):954-961. doi: 10.1097/WNR.0000000000001062.
13. Caffarelli M, Simmons R, Tolokh I, Karukonda V, Guterman EL, Smith W, Fox CK, Westover MB, Amorim E. A Quantitative Electroencephalographic Index for Stroke Detection in Adults. *J Clin Neurophysiol.* 2025 Mar 5. doi: 10.1097/WNP.0000000000001151.
14. Campbell PA, Dorsey C, Jeevanandam V, Milner R. Alternate Approach to Concomitant Carotid and Coronary Disease: Perioperative IABP Use during Carotid

- Endarterectomy. *Ann Vasc Surg.* 2021;72:663.e9-663.e13. doi: 10.1016/j.avsg.2020.10.025.
15. Chaudhary R, Rema V. Deficits in Behavioral Functions of Intact Barrel Cortex Following Lesions of Homotopic Contralateral Cortex. *Front Syst Neurosci.* 2018 Nov 22;12:57. doi: 10.3389/fnsys.2018.00057.
 16. Cisotto G, Chicco D. Ten quick tips for clinical electroencephalographic (EEG) data acquisition and signal processing. *PeerJ Comput Sci.* 2024 Sep 3;10:e2256. doi: 10.7717/peerj-cs.2256.
 17. Cox BC, Agashe SH, Smith KM, Kanth KM, Van Gompel JJ, Krecke KN, Witte RJ, Wong-Kisiel LC, Brinkmann BH. EEG Source Localization in Temporal Encephaloceles: Concordance With Surgical Resection and Clinical Outcomes. *J Clin Neurophysiol.* 2024 Sep 1;41(6):515-521. doi: 10.1097/WNP.0000000000001021.
 18. Daulatzai MA. Cerebral hypoperfusion and glucose hypometabolism: Key pathophysiological modulators promote neurodegeneration, cognitive impairment, and Alzheimer's disease. *J Neurosci Res.* 2017 Apr;95(4):943-972. doi: 10.1002/jnr.23777.
 19. de la Torre JC. Are Major Dementias Triggered by Poor Blood Flow to the Brain? Theoretical Considerations. *J Alzheimers Dis.* 2017;57(2):353-371. doi: 10.3233/JAD-161266.
 20. Elendu C, Amaechi DC, Elendu TC, Ibhiedu JO, Egbunu EO, Ndam AR, Ogala F, Ologunde T, Peterson JC, Boluwatife AI, Okongko AO, Fatoye JO, Akpovona OL, Onyekweli SO, Temitope AY, Achimugu AO, Temilade AV. Stroke and cognitive impairment: understanding the connection and managing symptoms. *Ann Med Surg (Lond).* 2023 Nov 1;85(12):6057-6066. doi: 10.1097/MS9.0000000000001441.
 21. Fang Y, Daly JJ, Hansley J, Yao WX, Yang Q, Sun J, Hovoracik K, Pundik S, Yue GH. Hemispheric activation during planning and execution phases in reaching post stroke: a consort study. *Medicine (Baltimore).* 2015 Jan;94(3):e307. doi: 10.1097/MD.0000000000000307.
 22. Frey A, Sell R, Homola GA, Malsch C, Kraft P, Gunreben I, Morbach C, Alkonyi B, Schmid E, Colonna I, Hofer E, Müllges W, Ertl G, Heuschmann P, Solymosi L, Schmidt R, Störk S, Stoll G. Cognitive Deficits and Related Brain Lesions in Patients With Chronic Heart Failure. *JACC Heart Fail.* 2018 Jul;6(7):583-592. doi: 10.1016/j.jchf.2018.03.010. Epub 2018 Jun 6. PMID: 29885954.

23. 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 Mar 14;121144. doi: 10.1016/j.neuroimage.2025.121144.
24. Golukhova E, Sigaev I, Keren M, Slivneva I, Berdibekov B, Sheikina N, Kozlova O, Arakelyan V, Volkovskaya I, Zavalikhina T, Avakova S. Early and Long-Term Results of Simultaneous and Staged Revascularization of Coronary and Carotid Arteries. *Pathophysiology*. 2024 Apr 13;31(2):210-224. doi: 10.3390/pathophysiology31020017.
25. Han C, Zhang Z, Lin Y, Huang S, Mao J, Xiang W, Wang F, Liang Y, Chen W, Zhao X. Monitoring Sleep Quality Through Low α -Band Activity in the Prefrontal Cortex Using a Portable Electroencephalogram Device: Longitudinal Study. *J Med Internet Res*. 2025 Mar 10;27:e67188. doi: 10.2196/67188.
26. Herweg NA, Solomon EA, Kahana MJ. Theta Oscillations in Human Memory. *Trends Cogn Sci*. 2020 Mar;24(3):208-227. doi: 10.1016/j.tics.2019.12.006. Epub 2020 Feb 3. PMID: 32029359; PMCID: PMC8310425.
27. Hoshi H, Shigihara Y. Age- and gender-specific characteristics of the resting-state brain activity: a magnetoencephalography study. *Aging (Albany NY)*. 2020 Nov 4;12(21):21613-21637. doi: 10.18632/aging.103956.
28. Iadecola C. The Neurovascular Unit Coming of Age: A Journey through Neurovascular Coupling in Health and Disease. *Neuron*. 2017;96(1):17-42. doi: 10.1016/j.neuron.2017.07.030. PMID: 28957666; PMCID: PMC5657612.
29. Ianof JN, Fraga FJ, Ferreira LA, Ramos RT, Demario JLC, Baratho R, Basile LFH, Nitrini R, Anghinah R. Comparative analysis of the electroencephalogram in patients with Alzheimer's disease, diffuse axonal injury patients and healthy controls using LORETA analysis. *Dement Neuropsychol*. 2017 Apr-Jun;11(2):176-185. doi: 10.1590/1980-57642016dn11-020010.
30. Li M, Zou F, Zheng T, Zou W, Li H, Lin Y, Peng L, Zheng S. Electroacupuncture alters brain network functional connectivity in subacute stroke: A randomised crossover trial. *Medicine (Baltimore)*. 2024;103(14):e37686. doi: 10.1097/MD.00000000000037686. PMID: 38579054; PMCID: PMC10994512.

31. Li Z, Wu M, Yin C, Wang Z, Wang J, Chen L, Zhao W. Machine learning based on the EEG and structural MRI can predict different stages of vascular cognitive impairment. *Front Aging Neurosci.* 2024 Apr 5;16:1364808. doi: 10.3389/fnagi.2024.1364808.
32. Mao H, Liu L, Lin P, Meng X, Rainer TH, Wu Q. Quantitative Electroencephalogram Might Improve the Predictive Value of Prognosis 6 Months After Discharge in Acute Ischemic Stroke. *Clin EEG Neurosci.* 2025 Mar 3:15500594251323119. doi: 10.1177/15500594251323119.
33. Michel CM. High-resolution EEG. *Handb Clin Neurol.* 2019;160:185-201. doi: 10.1016/B978-0-444-64032-1.00012-6.
34. Milani G, Antonioni A, Baroni A, Malerba P, Straudi S. Relation Between EEG Measures and Upper Limb Motor Recovery in Stroke Patients: A Scoping Review. *Brain Topogr.* 2022 Nov;35(5-6):651-666. doi: 10.1007/s10548-022-00915-y. Epub 2022 Sep 22. PMID: 36136166; PMCID: PMC9684227.
35. Monteiro PHM, Marcori AJ, da Conceição NR, Monteiro RLM, Coelho DB, Teixeira LA. Cortical activity in body balance tasks as a function of motor and cognitive demands: A systematic review. *Eur J Neurosci.* 2024 Nov;60(10):6556-6587. doi: 10.1111/ejn.16574.
36. Moretti DV, Babiloni C, Binetti G, Cassetta E, Dal Forno G, Ferreris F, Ferri R, Lanuzza B, Miniussi C, Nobili F, Rodriguez G, Salinari S, Rossini PM. Individual analysis of EEG frequency and band power in mild Alzheimer's disease. *Clin Neurophysiol.* 2004 Feb;115(2):299-308. doi: 10.1016/s1388-2457(03)00345-6.
37. Moretti DV, Pievani M, Fracassi C, Binetti G, Rosini S, Geroldi C, Zanetti O, Rossini PM, Frisoni GB. Increase of theta/gamma and alpha3/alpha2 ratio is associated with amygdalo-hippocampal complex atrophy. *J Alzheimers Dis.* 2009;17(2):349-57. doi: 10.3233/JAD-2009-1059.
38. Musaeus CS, Engedal K, Høgh P, Jelic V, Mørup M, Naik M, Oeksengaard AR, Snaedal J, Wahlund LO, Waldemar G, Andersen BB. EEG Theta Power Is an Early Marker of Cognitive Decline in Dementia due to Alzheimer's Disease. *J Alzheimers Dis.* 2018;64(4):1359-1371. doi: 10.3233/JAD-180300.
39. Noda C, Ambale Venkatesh B, Wagner JD, Kato Y, Ortman JM, Lima JAC. Primer on Commonly Occurring MRI Artifacts and How to Overcome Them. *Radiographics.* 2022 May-Jun;42(3):E102-E103. doi: 10.1148/rg.210021.

40. Pascual-Marqui R. D. (2002). Standardized low-resolution brain electromagnetic tomography (sLORETA): technical details. *Methods and findings in experimental and clinical pharmacology*, 24 Suppl D, 5-12.
41. Petrovic J, Milosevic V, Zivkovic M, Stojanov D, Milojkovic O, Kalauzi A, Saponjic J. Slower EEG alpha generation, synchronization and "flow"-possible biomarkers of cognitive impairment and neuropathology of minor stroke. *PeerJ*. 2017 Sep 28;5:e3839. doi: 10.7717/peerj.3839.
42. Pirovano I, Mastropietro A, Antonacci Y, Barà C, Guanziroli E, Molteni F, Faes L, Rizzo G. Resting State EEG Directed Functional Connectivity Unveils Changes in Motor Network Organization in Subacute Stroke Patients After Rehabilitation. *Front Physiol*. 2022 Apr 5;13:862207. doi: 10.3389/fphys.2022.862207.
43. Roehri N, Bréchet L, Seeber M, Pascual-Leone A, Michel CM. Phase-Amplitude Coupling and Phase Synchronization Between Medial Temporal, Frontal and Posterior Brain Regions Support Episodic Autobiographical Memory Recall. *Brain Topogr*. 2022 Mar;35(2):191-206. doi: 10.1007/s10548-022-00890-4. Epub 2022 Jan 26. PMID: 35080692; PMCID: PMC8860804.
44. Rogala J, Choinski M, Szymaszek A. EEG synchronization patterns during a Go/No-Go task in individuals with aphasia in subacute and chronic phases of stroke. *Sci Rep*. 2024 Oct 10;14(1):23774. doi: 10.1038/s41598-024-75259-7.
45. Rundek T, Tolea M, Ariko T, Fagerli EA, Camargo CJ. Vascular Cognitive Impairment (VCI). *Neurotherapeutics*. 2022 Jan;19(1):68-88. doi: 10.1007/s13311-021-01170-y.
46. Sakamoto S, Tanaka H, Tsuyuguchi N, Terakawa Y, Ohata K, Inoue Y, Miki Y, Hara M, Takahashi Y, Nitta K, Sawa H, Satone A, Ide W, Hashimoto I, Kamada H. Quantitative imaging of spontaneous neuromagnetic activity for assessing cerebral ischemia using sLORETA-qm. *Neuroimage*. 2010 Jan 1;49(1):488-97. doi: 10.1016/j.neuroimage.2009.07.039. Epub 2009 Jul 24. PMID: 19632340.
47. Schleiger E, Wong A, Read S, Rowland T, Finnigan S. Poststroke QEEG informs early prognostication of cognitive impairment. *Psychophysiology*. 2017;54(2):301-309. DOI: 10.1111/psyp.12785.
48. Sheorajpanday RV, Nagels G, Weeren AJ, van Putten MJ, De Deyn PP. Reproducibility and clinical relevance of quantitative EEG parameters in cerebral

- ischemia: a basic approach. *Clin Neurophysiol.* 2009 May;120(5):845-55. doi: 10.1016/j.clinph.2009.02.171.
49. Siburian R, Fadillah R, Altobaishat O, Umar TP, Dilawar I, Nugroho DT. Remote ischemic preconditioning and cognitive dysfunction following coronary artery bypass grafting: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Saudi J Anaesth.* 2024 Apr-Jun;18(2):187-193. doi: 10.4103/sja.sja_751_23.
 50. Tarasova I, Kukhareva I, Kupriyanova D, Temnikova T, Gorbатовskaya E, Trubnikova O. Electrical Activity Changes and Neurovascular Unit Markers in the Brains of Patients after Cardiac Surgery: Effects of Multi-Task Cognitive Training. *Biomedicines.* 2024 Mar 28;12(4):756. doi: 10.3390/biomedicines12040756.
 51. Tarasova I, Trubnikova O, Kupriyanova DS, Maleva O, Syrova I, Kukhareva I, Sosnina A, Tarasov R, Barbarash O. Cognitive functions and patterns of brain activity in patients after simultaneous coronary and carotid artery revascularization. *Front Hum Neurosci.* 2023;17:996359. doi: 10.3389/fnhum.2023.996359.
 52. Tarasova IV, Trubnikova OA, Barbarash OL. EEG and clinical factors associated with mild cognitive impairment in coronary artery disease patients. *Dement Geriatr Cogn Disord.* 2018;46(5-6):275-284. DOI:10.1159/000493787
 53. Tedesco Triccas L, Van Hoornweder S, Camilleri T, Boccuni L, Peeters A, Van Pesch V, Meesen R, Mantini D, Camilleri K, Verheyden G. EEG Responses to Upper Limb Pinprick Stimulation in Acute and Early Subacute Motor and Sensorimotor Stroke: A Proof of Concept. *Transl Stroke Res.* 2025 Jan 24. doi: 10.1007/s12975-025-01327-3.
 54. Trubnikova OA, Tarasova IV, Moskin EG, Kupriyanova DS, Argunova YA, Pomeschkina SA, Gruzdeva OV, Barbarash OL. 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;13:699259. doi: 10.3389/fnagi.2021.699259.
 55. Trubnikova OA, Tarasova IV, Syrova I.D, Mamontova AS, Kovalenko A.V, Barbarash OL, Barbarash LS. Neuropsychological status of patients with minor and moderate carotid artery stenosis undergoing coronary bypass. *Neurosci Behav Phys* 201444, 625–630. doi:10.1007/s11055-014-9962-x
 56. Tsiakiri A, Plakias S, Vlotinou P, Athanasouli P, Terzoudi A, Kyriazidou S, Serdari A, Karakitsiou G, Megari K, Aggelousis N, Vadikolias K, Christidi F. Innovative Health Promotion Strategies: A 6-Month Longitudinal Study on Computerized Cognitive

- Training for Older Adults with Minor Neurocognitive Disorders. *Eur J Investig Health Psychol Educ.* 2025 Mar 12;15(3):34. doi: 10.3390/ejihpe15030034
57. Wang Y, Xiao G, He S, Liu X, Zhu L, Yang X, Zhang Y, Orgah J, Feng Y, Wang X, Zhang B, Zhu Y. Protection against acute cerebral ischemia/reperfusion injury by QiShenYiQi via neuroinflammatory network mobilization. *Biomed Pharmacother.* 2020;125:109945. doi: 10.1016/j.biopha.2020.109945.
 58. Weimar C, Bilbilis K, Rekowski J, Holst T, Beyersdorf F, Breuer M, Dahm M, Diegeler A, Kowalski A, Martens S, Mohr FW, Ondrášek J, Reiter B, Roth P, Seipelt R, Siggelkow M, Steinhoff G, Moritz A, Wilhelmi M, Wimmer-Greinecker G, Diener HC, Jakob H, Ose C, Scherag A, Knipp SC; CABACS Trial Investigators. Safety of Simultaneous Coronary Artery Bypass Grafting and Carotid Endarterectomy Versus Isolated Coronary Artery Bypass Grafting: A Randomized Clinical Trial. *Stroke.* 2017; 48(10):2769-2775. doi: 10.1161/STROKEAHA.117.017570.
 59. Widge AS, Heilbronner SR, Hayden BY. Prefrontal cortex and cognitive control: new insights from human electrophysiology. *F1000Res.* 2019 Sep 27;8:F1000 Faculty Rev-1696. doi: 10.12688/f1000research.20044.1.
 60. Wu L, Zhang S, Zhang T. MRI-Based Image Signal-to-Noise Ratio Enhancement with Different Receiving Gains in K-Space. *Sensors (Basel).* 2021 Aug 5;21(16):5296. doi: 10.3390/s21165296. PMID: 34450736; PMCID: PMC8400380.
 61. Xiang B, Luo X, Yang Y, Qiu J, Zhang J, Li L, Yu P, Wang W, Zheng Z. Midterm results of coronary artery bypass graft surgery after synchronous or staged carotid revascularization. *J Vasc Surg.* 2019;70(6):1942-1949. doi: 10.1016/j.jvs.2019.02.057.
 62. Zappasodi F, Pasqualetti P, Rossini PM, Tecchio F. Acute Phase Neuronal Activity for the Prognosis of Stroke Recovery. *Neural Plast.* 2019 Sep 8;2019:1971875. doi: 10.1155/2019/1971875.
 63. Zeltser A, Ochneva A, Riabinina D, Zakurazhnaya V, Tsurina A, Golubeva E, Berdalin A, Andreyuk D, Leonteva E, Kostyuk G, Morozova A. EEG Techniques with Brain Activity Localization, Specifically LORETA, and Its Applicability in Monitoring Schizophrenia. *J Clin Med.* 2024 Aug 28;13(17):5108. doi: 10.3390/jcm13175108.
 64. Zhang W, Zeng S, Nie Y, Xu K, Zhang Q, Qiu Y, Li Y. Meta-analysis of high-intensity interval training effects on cognitive function in older adults and cognitively

impaired patients. Front Physiol. 2025 Mar 6;16:1543217. doi:
10.3389/fphys.2025.1543217. PMID: 40115116; PMCID: PMC11922960.