

УДК 612.8

DOI: 10.34670/AR.2026.63.26.001

Нейрообратная связь, направленная на фазовую синхронизацию тета–альфа диапазонов ЭЭГ, как метод улучшения продолжительного внимания

Кушалиева Бибигуль Сайфиденовна

Магистр биологии, независимый исследователь,
Академия развития мозга, индивидуальный предприниматель,
121351, Российская Федерация, Москва, ул. Малая Очаковская, 4а, к2;
e-mail: bkushalieva@mail.ru

Аннотация

Актуальность. Продолжительное внимание рассматривается в нейropsychологии как базовая регуляторная функция, обеспечивающая устойчивость когнитивной деятельности во времени. Современные электрофизиологические исследования указывают на значимую роль тета- и альфа-осцилляций, а также их временной координации, однако механизмы их участия в поддержании продолжительного внимания и возможности целенаправленного воздействия на них остаются дискуссионными. **Цель.** Целью статьи является аналитический обзор современных нейropsychологических и нейрофизиологических исследований, посвящённых роли фазовой синхронизации тета–альфа диапазонов ЭЭГ в обеспечении продолжительного внимания, а также оценка перспектив нейрообратной связи, ориентированной на данный параметр, как метода его улучшения. **Выборка.** В обзор включён корпус зарубежных эмпирических и обзорных публикаций последних лет, посвящённых продолжительному вниманию, электрофизиологическим коррелятам когнитивного контроля, фазовой и межчастотной синхронизации ЭЭГ, а также нейрообратной связи с различными типами целевых параметров. **Методы.** Используются методы аналитического и сравнительного обзора научных публикаций с акцентом на нейropsychологическую интерпретацию экспериментальных данных, сопоставление амплитудных и фазовых ЭЭГ-показателей, а также анализ методологических подходов к нейрообратной связи и межчастотным взаимодействиям. **Результаты.** Показано, что тета- и альфа-ритмы ЭЭГ выступают значимыми, но функционально неоднозначными коррелятами продолжительного внимания. Фазовая синхронизация и межчастотные взаимодействия рассматриваются как перспективный механизм когнитивной координации, однако специализированные протоколы нейрообратной связи, прямо направленные на фазовую тета–альфа синхронизацию, в существующих исследованиях отсутствуют. **Выводы.** Результаты обзора обосновывают нейropsychологическую модель, в рамках которой продолжительное внимание поддерживается за счёт временной координации нейронных сетей. Нейрообратная связь, ориентированная на фазовую тета–альфа синхронизацию, рассматривается как перспективное, но методологически недостаточно разработанное направление, требующее дальнейших экспериментальных исследований.

Для цитирования в научных исследованиях

Кушалиева Б.С. Нейрообратная связь, направленная на фазовую синхронизацию тета–альфа диапазонов ЭЭГ, как метод улучшения продолжительного внимания // Психология. Историко-критические обзоры и современные исследования. 2026. Т. 15. № 4А. С. 510-522. DOI: 10.34670/AR.2026.63.26.001

Ключевые слова

Продолжительное внимание, нейропсихология внимания, электроэнцефалография, тета-ритм, альфа-ритм, фазовая синхронизация, межчастотное взаимодействие, нейрообратная связь, когнитивная нейронаука, саморегуляция.

**Введение. Продолжительное внимание
как нейропсихологическая функция**

В нейропсихологии внимание рассматривается как многоаспектная система, включающая различные функциональные компоненты, среди которых особое место занимает продолжительное внимание – способность поддерживать устойчивое выполнение деятельности и непрерывное когнитивное усилие во времени [Nasiri и др., 2023]. Данный конструкт фиксирует времевенное измерение регуляции и принципиально отличается от процессов кратковременного отбора и переключения.

В экспериментальных исследованиях продолжительное внимание операционализируется преимущественно через задачи непрерывного выполнения. Показано, что ключевым поведенческим индикатором является вариабельность времени реакции, отражающая стабильность поддержания внимания, тогда как среднее время реакции в большей степени связано с общей alertностью [Schmidt и др., 2024]. Устойчивость этих показателей подтверждается при изменении вероятности стимулов и длительности тестирования [Schmidt и др., 2024].

В системе когнитивного контроля продолжительное внимание проявляется через динамику эффективности деятельности. При длительном выполнении задач наблюдается декремент бдительности – снижение точности и замедление реакций, отражающие ограничения поддержания исполнительного контроля и уровня активации, а не простое утомление [Rann, Almor, 2025].

Нейронные корреляты продолжительного внимания в анализируемых работах описываются на уровне функциональных сетей. Установлено, что низкочастотные флуктуации активности сети режима по умолчанию связаны с вариабельностью времени реакции и колебаниями эффективности в задачах на устойчивое внимание [Zhang и др., 2022]. Эти данные согласуются с представлениями о роли DMN в эпизодах снижения внешне ориентированного внимания и усиления внутренне направленных процессов [Menon, 2023].

Важное значение имеет разграничение продолжительного внимания с родственными конструктами. Избирательное внимание связано с селекцией информации, переключение – с гибкостью перераспределения ресурсов, тогда как продолжительное внимание отражает способность удерживать контроль во времени [Nasiri и др., 2023]. Бдительность характеризует общее состояние готовности, но не тождественна устойчивому контролю конкретной деятельности [Hemmerich и др., 2025]. Дополнительно показано, что декремент бдительности и

блуждание мыслей могут изменяться независимо, что важно для интерпретации ошибок и флуктуаций поведения [Martínez-Pérez и др., 2023].

Возрастные исследования демонстрируют неоднородность траекторий развития компонентов внимания, включая продолжительное внимание, что указывает на вариативность нейropsychологических механизмов его поддержания [Klein и др., 2024; Rivella и др., 2025]. В специализированных обзорах подчёркивается базовый характер продолжительного внимания как функционального основания для избирательного и исполнительного контроля [Huang и др., 2023].

Электрофизиологические корреляты продолжительного внимания

Электроэнцефалографические исследования позволяют рассматривать продолжительное внимание через динамику нейронной активности во времени. В изученном корпусе работ оно не всегда выделяется как самостоятельный конструкт, однако электрофизиологические маркеры, анализируемые в контексте когнитивного контроля, усилия и поддержания целенаправленной деятельности, интерпретируются как функционально связанные с устойчивыми формами внимания.

Ключевую роль в этом анализе занимает тета-диапазон ЭЭГ. Показано, что фронтально-срединная тета-активность усиливается при выполнении задач, требующих длительного поддержания когнитивного усилия и регуляции, что рассматривается как коррелят контрольных процессов, а не сенсорной обработки [McFetren и др., 2021]. Сходная динамика описана при самопроизвольно инициируемых сдвигах внимания, где постепенное нарастание тета-активности предшествует целенаправленным изменениям фокуса внимания и связывается с поддержанием когнитивного контроля [Hou и др., 2025].

Альфа-диапазон анализируется преимущественно в контексте регуляции сенсорной информации. Снижение альфа-мощности в задних отделах коры сопровождает направленность на задачу, тогда как её повышение связано с подавлением нерелевантных стимулов, что интерпретируется как механизм распределения ресурсов без прямого отождествления альфа-активности с уровнем внимания [Schneider и др., 2021].

Ряд исследований указывает на контекстуальную изменчивость этих связей. В условиях длительного бодрствования нарушается стабильность корреляций между тета- и альфа-активностью и показателями когнитивной эффективности, что подчёркивает ограниченность прямых электрофизиологических индикаторов продолжительного внимания [(Snipes и др., 2024)].

Методологические обзоры подчёркивают, что амплитудные показатели тета- и альфа-ритмов не обладают однозначной функциональной специфичностью и могут отражать различные когнитивные процессы, включая внимание, рабочую память и усилие [Abreu и др., 2020; Murphy и др., 2020]. Также отмечается, что связи между флуктуациями нейронной активности и поведенческими показателями носят вероятностный характер и не позволяют выделить специфические маркеры продолжительного внимания [Eisma и др., 2021]. Дополнительные ограничения связаны с неопределённостью локализации источников ЭЭГ-активности и зависимостью выводов от используемых моделей [Awan и др., 2019]. В исследованиях когнитивного контроля подчёркивается, что ЭЭГ-показатели отражают динамику регуляции деятельности, а не саму функцию внимания [Tu и др., 2025].

В целом тета- и альфа-ритмы ЭЭГ могут рассматриваться как значимые, но функционально

неоднозначные корреляты продолжительного внимания, требующие контекстуальной и методологически осторожной интерпретации.

Фазовая синхронизация тета–альфа диапазонов как механизм когнитивной координации

В ряде современных ЭЭГ-исследований фазовая синхронизация рассматривается как один из механизмов интеграции распределённых нейронных сетей, обеспечивающий временную координацию активности между функционально различными областями мозга. В этом контексте фазовые показатели используются для описания согласованности нейронных процессов, не сводимой к изменениям амплитуды или мощности сигналов [Awan и др., 2019]. Подчёркивается, что именно фазовые соотношения отражают динамическую организацию сетей при выполнении когнитивных задач, включая задачи внимания [Reis, 2016].

Эмпирические данные указывают на функциональную значимость тета-диапазона в процессах когнитивного контроля и усилия, а альфа-диапазона – в регуляции переработки информации и подавлении интерференции [McFetren и др., 2021; Tu и др., 2024]. В ряде работ анализируются фазовые характеристики и межчастотные взаимодействия как показатели координации активности при поддержании внимания, однако прямая и устойчивая интерпретация синхронизации именно тета–альфа диапазонов как отдельного механизма представлена фрагментарно [Schmidt, 2024; Biel, 2021].

При этом подчёркивается аналитическое преимущество фазовых показателей по сравнению с амплитудными, поскольку они позволяют описывать временную согласованность нейронной активности независимо от уровня мощности сигнала [Zheng, 2025]. Одновременно авторы указывают на методологические ограничения фазового анализа, включая зависимость результатов от выбранных моделей, параметров фильтрации и сложности функциональных трактовок межчастотной синхронизации [Awan и др., 2019; Abreu, 2020].

Подводя итог, в рамках представленных источников фазовая синхронизация тета–альфа диапазонов рассматривается как перспективный инструмент описания когнитивной координации, однако её интерпретация требует строгой привязки к экспериментальному контексту и осторожности в нейропсихологических обобщениях.

Нейрообратная связь в системе нейропсихологических методов

Нейрообратная связь (нейрофидбек) в проанализированных исследованиях описывается как нейропсихологический метод формирования произвольной саморегуляции функциональных состояний, основанный на обучении субъекта контролю параметров собственной нейронной активности. Во всех работах подчёркивается значение замкнутого контура «мозговая активность – обратная связь – поведенческая корректировка», реализуемого в режиме, близком к реальному времени, что позволяет рассматривать нейрофидбек как обучающую процедуру, а не как пассивное воздействие [Jensen и др., 2024; Nooripour, 2024].

В системе нейропсихологических методов нейрофидбек интерпретируется как форма активного коррекционного воздействия, отличающаяся от внешней нейромодуляции тем, что регуляция достигается эндогенно – за счёт освоения субъектом стратегий управления собственными функциональными состояниями. Такой подход делает нейрообратную связь методологически сопоставимой с задачами коррекции когнитивных и регуляторных функций,

включая внимание и память, при сохранении принципов произвольности и обучаемости [Orendáčová, Kvašňák, 2025; Chik, 2013].

В рамках проанализированного корпуса источников зафиксирована многоуровневая классификация нейрофидбек-подходов по типу целевых ЭЭГ-параметров. Наиболее широко представлены протоколы, ориентированные на амплитудные и спектральные характеристики отдельных ритмов (тета, альфа, бета), а также их соотношения, используемые как индикаторы функционального состояния [de Brito et al., 2022; Zacarias и др., 2025]. Наряду с ними описываются фазовые и коннективные подходы, опирающиеся на показатели фазовой синхронизации и межэлектродной когерентности [Brito, 2022; Trevesa, 2024].

Отдельную группу составляют исследования, ориентированные на межчастотное взаимодействие и кросс-частотную связанность. В этих работах нейрофидбек используется для модуляции согласованности тета–альфа и других частотных пар, что позволяет рассматривать саморегуляцию как процесс координации распределённых нейронных механизмов, а не как изолированное усиление отдельного ритма [Orendáčová, Kvašňák, 2025; Galang, 2025]. Вместе с тем авторы подчёркивают высокую методологическую вариативность подобных протоколов и ограниченность данных, что особенно заметно при сопоставлении исследований, различающихся по уровню операционализации целевых параметров. Это не позволяет однозначно трактовать наблюдаемые эффекты как строго специфические нейрофидбек-механизмы и задаёт рамки для их нейропсихологической интерпретации [Bagherzadeh и др., 2020].

Нейрообратная связь, направленная на фазовую синхронизацию тета–альфа активности: аналитический обзор исследований

Анализ корпуса источников показывает, что нейрообратная связь (НФ), ориентированная на межритмовое взаимодействие, находится на этапе концептуального и методологического становления. В представленных работах отсутствуют исследования, в которых фазовая синхронизация тета–альфа диапазонов прямо использовалась бы в качестве целевого параметра нейрофидбек-обучения. Вместе с тем совокупность данных позволяет реконструировать теоретические и эмпирические основания для постановки подобной задачи.

Фундаментальные представления о функциональной роли межчастотной фазовой синхронизации представлены в работах Ф. Зибенхюнера, Ш. Вана, Г. Арнульфо и др., где показано существование подлинных сетей межчастотной фазовой синхронизации (CFS), включая взаимодействия тета- и альфа-осцилляций, в покое и их связь с когнитивной эффективностью [Siebenhühner и др., 2020]. Эти данные важны методологически: авторы демонстрируют способы отделения подлинной фазовой синхронизации от артефактов фильтрации, что критично для переноса показателей CFS в НФ-протоколы.

Экспериментальные исследования нейрообратной связи преимущественно фокусируются на модуляции мощности отдельных диапазонов. Так, в рандомизированных и плацебо-контролируемых дизайнах показано, что тренировка сенсомоторного ритма и бета-активности сопровождается улучшением показателей внимания и увеличением амплитуды РЗb-компонента [Douset и др., 2025]. Аналогично, тета-нейрофидбек используется для модуляции префронтальной активности и когнитивного контроля, однако целевым параметром остаётся мощность ритма, а не фазовые соотношения [Li и др., 2025].

Отдельную группу составляют работы, в которых НФ применяется в клиническом и

возрастном контексте с опорой на синхронизацию внутри диапазона. В исследовании Н. Умани и соавт. показано, что нейрофидбек, направленный на гамма-синхронизацию, приводит к изменениям когнитивных показателей у пожилых испытуемых [Houmani и др., 2025]. Хотя тета–альфа взаимодействие не анализировалось, результаты указывают на принципиальную обучаемость параметров фазовой координации.

Методологические обзоры и систематические анализы подчёркивают, что большинство НФ-исследований не используют сложные показатели межчастотного взаимодействия и редко включают строгие контролирующие условия [Treves и др., 2024]. Это ограничивает возможность интерпретации эффектов в терминах причинной роли межритмовой синхронизации, в том числе тета–альфа.

Следовательно, по совокупности всех рассмотренных источников можно сделать аналитический вывод: эмпирические данные подтверждают значимость тета- и альфа-осцилляций для процессов внимания и демонстрируют принципиальную возможность тренировки параметров нейронной синхронизации с помощью НФ. Однако специализированные протоколы нейрообратной связи, прямо ориентированные на фазовую тета–альфа синхронизацию, в представленном корпусе отсутствуют. Это указывает не на отрицательный результат, а на методологический пробел, который формирует обоснование для дальнейших экспериментальных исследований.

Нейропсихологическая модель влияния фазовой тета–альфа синхронизации на продолжительное внимание

Нейропсихологическая модель влияния фазовой тета–альфа синхронизации на продолжительное внимание формируется на пересечении исследований динамики ЭЭГ-ритмов, функциональной связности и экспериментальных вмешательств в ритмическую организацию мозга. Совокупность представленных работ позволяет рассматривать продолжительное внимание как процесс, поддерживаемый за счёт временной координации нейронных сетей, а не как результат изолированной активации отдельных зон.

Анализ динамической функциональной связности в условиях длительного выполнения задач показывает, что устойчивость внимания опирается на частотно-специфические паттерны фазовой синхронизации. В работе J. Liu и соавт. показано, что при снижении бдительности нарушается организация тета- и альфа-сетей, формирующихся между фронтальными, теменными и затылочными областями, причём эти изменения затрагивают именно фазовые характеристики взаимодействий [Liu et al., 2020]. Аналогичные выводы о чувствительности фазовой координации к истощению внимания подтверждаются в исследованиях, использующих показатели межканальной синхронизации и межчастотных взаимодействий [Cong et al., 2014; Vuyst et al., 2025].

Связь тета-активности с когнитивным контролем и мониторингом ошибок получает дополнительное развитие в работах, посвящённых колебательной динамике состояний внимания. В частности, показано, что переходы между состояниями устойчивого внимания и кратковременных провалов сопровождаются снижением фронтальной тета-активности и нарушением её временной согласованности, что отражается в росте вариабельности реакции [Solís-Vivanco et al., 2024]. Эти данные дополняют результаты исследований межчастотного взаимодействия, где подчёркивается роль согласования фаз тета- и альфа-ритмов для интеграции сенсорной и контролирующей информации [Abubaker et al., 2021].

Причинная значимость фазовой синхронизации подтверждается экспериментами с нейромодуляцией. Применение тета-tACS в лобных областях приводит к изменению как фазовой связности, так и показателей продолжительного внимания, что указывает на функциональную роль синхронизации между медиальной и латеральной префронтальной корой [Wei et al., 2021]. Эти эффекты согласуются с данными о том, что искусственное вмешательство в ритмическую организацию может временно дестабилизировать внимательный режим, даже при сохранной мощности колебаний.

Отдельную линию составляют исследования нейробообратной связи и фазовых метрик. Использование показателей фазовой синхронизации и phase locking value позволяет выявлять индивидуальные различия в отклике на тренинг и в способности к саморегуляции внимания [Yousefi et al., 2024]. Методологические аспекты оценки фазовой связанности и её устойчивости подробно рассматриваются в работах, посвящённых байесовскому и вычислительному моделированию межчастотных взаимодействий, что подчёркивает необходимость аккуратного интерпретирования таких показателей в контексте внимания [Castillo-Barnes et al., 2025].

Наконец, исследования, ориентированные на биомиметические и вычислительные модели нейронной синхронизации, расширяют нейropsychологическую интерпретацию, показывая, что фазовая координация ритмов может рассматриваться как универсальный механизм временной организации когнитивных процессов [Liu et al., 2020; Gkintoni, 2025]. В совокупности эти данные позволяют говорить о тета-альфа синхронизации как о ключевом механизме поддержания продолжительного внимания, обеспечивающем согласование когнитивного контроля и сенсорной готовности в условиях длительной нагрузки.

Выводы

Проведённый аналитический обзор позволяет уточнить нейropsychологическое понимание продолжительного внимания как динамического процесса, обеспечиваемого не изолированной активацией отдельных нейронных структур, а согласованной работой распределённых функциональных сетей. В рассмотренных исследованиях продолжительное внимание последовательно интерпретируется как способность поддерживать когнитивный контроль и целенаправленную деятельность во времени, при этом ключевыми поведенческими индикаторами выступают вариабельность времени реакции и устойчивость выполнения задач непрерывного контроля.

Анализ электрофизиологических данных показывает, что тета- и альфа-осцилляции играют значимую, но функционально неоднозначную роль в обеспечении устойчивых форм внимания. Фронтально-срединная тета-активность преимущественно связывается с процессами когнитивного контроля и усилия, тогда как альфа-активность отражает механизмы регуляции сенсорной информации и подавления интерференции. Вместе с тем амплитудные характеристики этих ритмов не обладают достаточной специфичностью для однозначного отождествления с продолжительным вниманием, что подчёркивает необходимость перехода от локальных показателей мощности к анализу временной координации нейронной активности.

В этом контексте фазовая синхронизация и межчастотные взаимодействия рассматриваются как перспективный механизм когнитивной координации. Представленные в обзоре данные свидетельствуют о том, что именно фазовые соотношения между ритмами позволяют описывать динамическую интеграцию контрольных и сенсорных процессов при длительном поддержании внимания. Однако интерпретация тета-альфа фазовой синхронизации как самостоятельного

нейропсихологического механизма остаётся ограниченной вследствие методологической вариативности исследований и сложности функциональной трактовки межчастотных показателей.

Анализ работ, посвящённых нейрообратной связи, показывает, что нейрофидбек в системе нейропсихологических методов преимущественно используется для модуляции амплитудных и спектральных характеристик ЭЭГ-ритмов. Хотя в ряде исследований демонстрируется обучаемость параметров нейронной синхронизации и их связь с когнитивной эффективностью, специализированные протоколы нейрообратной связи, прямо ориентированные на фазовую синхронизацию тета–альфа диапазонов, в проанализированном корпусе отсутствуют. Это указывает на наличие методологического пробела, а не на отсутствие потенциала данного подхода.

Сформулированная на основе обзора нейропсихологическая модель предполагает, что продолжительное внимание поддерживается за счёт временной координации нейронных сетей, в рамках которой тета–альфа фазовая синхронизация может выступать механизмом согласования процессов когнитивного контроля и сенсорной готовности. При этом имеющиеся данные позволяют говорить лишь о теоретически и эмпирически обоснованной гипотезе, требующей дальнейшей экспериментальной проверки с использованием строго контролируемых нейрофидбек-протоколов и валидных фазовых метрик.

Подводя итог, результаты обзора подтверждают актуальность межчастотного и фазового анализа для нейропсихологии внимания и обосновывают перспективность нейрообратной связи, направленной на фазовую тета–альфа синхронизацию, как потенциального метода улучшения продолжительного внимания. Одновременно выявленные ограничения подчёркивают необходимость методологической строгости и осторожности в интерпретации получаемых эффектов, что задаёт направления для дальнейших исследований в данной области.

Библиография

1. Абдубакир М., Аль Касем В., Квашняк Е. Рабочая память и межчастотная связь нейронных осцилляций // *Frontiers in Psychology*. 2021. Т. 12. С. 756661. URL: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.756661>.
2. Абреу Р., Симоэш М., Каштелу-Бранку М. Расширение возможностей ЭЭГ: оценка крупномасштабных функциональных мозговых сетей и их динамики, подтверждённая одновременной фМРТ // *Frontiers in Neuroscience*. 2020. Т. 14. С. 323. URL: <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.00323>.
3. Аван Ф. Г., Салим О., Киран А. Современные тенденции и достижения в решении обратной задачи для локализации источников ЭЭГ // *Inverse Problems in Science and Engineering*. 2019. Т. 27. № 11. С. 1521–1536. URL: <https://doi.org/10.1080/17415977.2018.1490279>.
4. Багерзадех Я., Балдауф Д., Пантасис Д., Десимоне Р. Альфа-синхронизация и нейрофидбек-контроль пространственного внимания // *Neuron*. 2020. Т. 105. № 3. С. 577–587.e5. URL: <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2019.11.001>.
5. Биль А. Л., Минарик Т., Заузенг П. Межчастотная фазовая синхронизация ЭЭГ как индекс соответствия памяти при визуальном поиске // *NeuroImage*. 2021. Т. 235. С. 117971. URL: <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2021.117971>.
6. Гкантини Э., Халкиопулос К. Картирование метрик ЭЭГ на аффективные и когнитивные модели человека: междисциплинарный обзор с позиций когнитивной нейронауки // *Biomimetics*. 2025. Т. 10. С. 730. URL: <https://doi.org/10.3390/biomimetics10110730>.
7. Галанг Э. В., Веласкес М. А., Элчин Д., О'Коннелл С., Вик Дж., Макнейр С., Коломбо П. Дж. Систематический обзор и мета-анализ взаимосвязей между параметрами обучения нейрообратной связи в реальном времени и приобретением нейромодуляции // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2025. Т. 19. С. 1652607. URL: <https://doi.org/10.3389/fnhum.2025.1652607>.
8. Дусе К., Викман Ф., Монсень Т., Систиага С., Ингельс А., Кажош Х., Хайн М., Кампанелла С. Улучшение процессов внимания посредством сенсомоторного нейрофидбек-тренинга: данные плацебо-контролируемого двойного слепого исследования потенциалов, связанных с событиями // *NeuroImage*. 2025. Т. 324. С. 121608.

URL: <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2025.121608>.

9. Де Брито М. А., Фернандес Ж. Р., Эстевес Н. С., Мюллер В. Т., Александрия Д. Б., Перес Д. И. В., Слимани М., Брито К. Ж., Брагацци Н. Л., Миарка Б. Влияние нейрообратной связи на время реакции и когнитивные показатели спортсменов: систематический обзор и мета-анализ // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2022. Т. 16. С. 868450. URL: <https://doi.org/10.3389/fnhum.2022.868450>.
10. Де Вуйст Х.-Ж., Караиску А.-И., Сориано Ж. Р., Пергенс Ж., оп де Бек Р., ван дер Гюхт К., Раес Ф., Де Вос М., Варон К., Аларте К. Поддержка медитации сфокусированного внимания через альфа-тета межчастотный нейрофидбек на основе ЭЭГ // *Mindfulness*. 2025. Т. 16. № 7. С. 1933–1949. URL: <https://doi.org/10.1007/s12671-025-02603-x>.
11. Есма Дж., Роулз Э., Лонг С. и др. Фронтальная срединная тета дифференцирует отдельные стратегии когнитивного контроля, сохраняя обобщённую потребность в контроле // *Scientific Reports*. 2021. Т. 11. С. 14641. URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-94162-z>.
12. Закеиас Р. М. Г., Булатватта Д. Т., Бидзан-Блюма И., де Жезус С. Н., Коррейя Ж. М. Нейрофидбек на основе ЭЭГ у спортсменов и неспортсменов: обзор результатов и методологий // *Bioengineering*. 2025. Т. 12. № 11. С. 1202. URL: <https://doi.org/10.3390/bioengineering12111202>.
13. Зибенхюнер Ф., Ван Ш. Х., Арнульфо Г., Лампинен А., Нобили Л., Пальва Ж. М. и др. Подлинные сети межчастотной связи в электрофизиологических записях мозга человека в состоянии покоя // *PLoS Biology*. 2020. Т. 18. № 5. e3000685. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3000685>.
14. Каслийо-Барнес Д., Ортис А., Фигейреду П., Гальего-Молина Н. Ж. Байесовская основа для вывода фазово-амплитудной межчастотной связи: применение к обнаружению нарушений чтения // *Expert Systems with Applications*. 2025. Т. 291. С. 128510. URL: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2025.128510>.
15. Кляйн Р. М., Гуд С. Р., Кристи Ж. Ж. Изменения сетей внимания на протяжении жизни: графический мета-анализ // *Journal of Intelligence*. 2024. Т. 12. № 2. С. 19. URL: <https://doi.org/10.3390/jintelligence12020019>.
16. Ли Ю., Ли С., Тан Ю., Хао С., Чжан Д. Причинные доказательства роли префронтальных тета-осцилляций в эмоциональной регуляции с использованием нейрофидбек-тренинга // *NeuroImage*. 2025. Т. 320. С. 121457. URL: <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2025.121457>.
17. Макуэррен А., Риддл Ж., Уокер К., Бьюз Ж. Б., Фролих Ф. Причинная роль фронтальной срединной тета в когнитивном усилии: пилотное исследование // *Journal of Neurophysiology*. 2021. Т. 126. № 4. С. 1221–1233. URL: <https://doi.org/10.1152/jn.00068.2021>.
18. Мартинес-Перес В., Андреу А., Сандов-Лентиско А., Тортахда М., Палмеро Л. Б., Кастийо А., Кампой Г., Фуэнтес Л. Ж. Снижение бдительности и блуждание мыслей в задачах на продолжительное внимание: две стороны одной медали? // *Frontiers in Neuroscience*. 2023. Т. 17. С. 1122406. URL: <https://doi.org/10.3389/fnins.2023.1122406>.
19. Мерфи Ж., Девю К., Корбаллис П. М., Гримшоу Г. М. Проактивный контроль эмоционального отвлечения: данные подавления альфа-активности ЭЭГ // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2020. Т. 14. С. 318. URL: <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00318>.
20. Наваз Р., Вуд Г., Нисар Х., Яп В. В. Изучение эффектов альфа-нейрофидбека на основе ЭЭГ на ёмкость рабочей памяти у здоровых участников // *Bioengineering*. 2023. Т. 10. № 2. С. 200. URL: <https://doi.org/10.3390/bioengineering10020200>.
21. Насири Э., Халилзаде М., Хакимзаде З. и др. Всесторонний обзор тестов на внимание: можем ли мы оценить то, чего мы точно не понимаем? // *Egyptian Journal of Neurology, Psychiatry and Neurosurgery*. 2023. Т. 59. С. 26. URL: <https://doi.org/10.1186/s41983-023-00628-4>.
22. Ноурипур Р., Вики М. Г., Ганбари Н., Фармани Ф., Эмади Ф. Альфа/тета нейрофидбек-реабилитация для улучшения внимания и рабочей памяти у студенток с нарушениями обучения // *OBM Neurobiology*. 2024. Т. 8. № 3. С. 229.
23. Орендачова М., Квашняк Е. Что могут рассказать нейрообратная связь и транскраниальная стимуляция переменным током о межчастотной связи? // *Frontiers in Neuroscience*. 2025. Т. 19. С. 1465773. URL: <https://doi.org/10.3389/fnins.2025.1465773>.
24. Рейш Ж., Португал А. М., Фернандеш Л., Афонсу Н., Перейра М., Соуза Н., Диаш Н. С. Интенсивный краткий протокол нейрообратной связи с акцентом на альфа и тета для тренировки рабочей памяти в здоровом старении // *Frontiers in Aging Neuroscience*. 2016. Т. 8. С. 157. URL: <https://doi.org/10.3389/fnagi.2016.00157>.
25. Ривелла К., Витербори П., Узаи М. К. Продолжительное внимание и тормозной контроль: возрастные и половые различия у детей и подростков с использованием СРТ с отвлекающими событиями // *Frontiers in Psychology*. 2025. Т. 16. С. 1609537. URL: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2025.1609537>.
26. Родригес-Лариос Ж., Фабер П., Ахерман П. и др. От безмыслия к осознанному усилию: альфа-тета межчастотная динамика у опытных медитаторов во время медитации, отдыха и арифметических задач // *Scientific Reports*. 2020. Т. 10. С. 5419. URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62392-2>.
27. Рос Т., Энрикес-Гепперт С., Зотев В., Янг К. Д., Вуд Г., Уитфилд-Габриели С., Ван Ф., Вюйлеумье П., Виаллат Ф., Ван Де Виль Д., Тоддер Д., Сурмели Т., Зульцер Ж. С., Шпрель У., Стерман М. Б., Штайнер Н. Ж., Соргер

- Б., Зёкадар С. Р., Ситарам Р., ... Тибо Р. Т. Консенсус по отчёту и экспериментальному дизайну клинических и когнитивно-поведенческих исследований нейрообратной связи (контрольный список CRED-nf) // *Brain*. 2020. Т. 143. № 6. С. 1674–1685. URL: <https://doi.org/10.1093/brain/awaa009>.
28. Сакс Д. Д., Швенн П. Е., Маклафлин Л. Т., Лагопулос Ж., Херменс Д. Ф. Фазово-амплитудная связь, психическое здоровье и познание: значение для подросткового возраста // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2021. Т. 15. С. 622313. URL: <https://doi.org/10.3389/fnhum.2021.622313>.
29. Снайпс С., Майер Э., Аккашина С., Хубер Р. Продолжительное бодрствование изменяет взаимосвязь между ЭЭГ-осцилляциями и эффективностью в задаче на продолжительное внимание // *Journal of Sleep Research*. 2024. Т. 33. № 6. e14230. URL: <https://doi.org/10.1111/jsr.14230>.
30. Солис-Виванко Р., Барне Л., Харрис А., Лю Х., Лави Н. (2024). *bioRxiv*. URL: <https://doi.org/10.1101/2024.09.25.614991>.
31. Тревес И. Н., Грин К. Д., Баджва З., Вул Э., Ким Н., Бауэр К. К. К., Блум П. А., Пальяччо Д., Чжан Ж., Уитфилд-Габриели С., Ауэрбах Р. П. Осознанность-нейрофидбек: систематический обзор исследований ЭЭГ и фМРТ // *Imaging Neuroscience*. 2024. Т. 2. imag-2-00396. URL: https://doi.org/10.1162/imag_a_00396.
32. Френч И. Т., Чанг К.-Х., Лянь В.-К., Чанг В.-С., Ло Ю.-С., Ван Ю.-Р., Чэн М.-Л., Хуан Н. Э., Ву Х.-С., Лим С.-Н., Чен К.-М., Хуан Ч.-Х. Дисфункция внимания возникает из-за связи правой фронтальной и затылочной сетей при болезни Паркинсона // *NeuroImage: Reports*. 2025. Т. 5. № 1. 100241. URL: <https://doi.org/10.1016/j.unipr.2025.100241>.
33. Хуан Х., Ли Р., Чжан Ж. Обзор зрительного продолжительного внимания: нейронные механизмы и вычислительные модели // *PeerJ*. 2023. Т. 11. e15351. URL: <https://doi.org/10.7717/peerj.15351>.
34. Хоу Д., Сунь С., Хатори Ю., Цзэн Ц.-Х., Сиоире С. Самоинициируемые переключения внимания с ограничениями задачи индексируются нарастающей фронтальной срединной тета // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2025. Т. 19. С. 1708257. URL: <https://doi.org/10.3389/fnhum.2025.1708257>.
35. Хуани Н., Ябури Р., Гарсия-Салисетти С. и др. Индивидуальная нейронная динамика успешной гамма-нейромодуляции через ЭЭГ-нейрофидбек в стареющем мозге // *Scientific Reports*. 2025. URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-30212-0>.
36. Чик Д. Тета-альфа межчастотная синхронизация облегчает контроль рабочей памяти: моделирование // *SpringerPlus*. 2013. Т. 2. № 1. С. 14. URL: <https://doi.org/10.1186/2193-1801-2-14>.
37. Шнайдер Д., Хербст С. К., Клатт Л.-И., Вёстманн М. Усиление цели или подавление отвлекающих факторов? Функционально различные альфа-осцилляции лежат в основе внимания // *European Journal of Neuroscience*. 2022. Т. 55. № 11–12. С. 3256–3265. URL: <https://doi.org/10.1111/ejn.15309>.
38. Шмидт Ж., да Силва Сенгес Г., Гонсалвес Фернандес Кампос Р. и др. Продолжительное внимание может быть измерено с помощью краткой компьютеризированной задачи на внимание // *Scientific Reports*. 2024. Т. 14. С. 17001. URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-68093-4>.
39. Юсефи М. Р., Ханамади Н., Дегхани А. Использование показателя фазовой синхронизации для определения чувствительности к нейрофидбек-лечению при синдроме дефицита внимания с гиперактивностью // *Journal of Integrative Neuroscience*. 2024. Т. 23. № 6. С. 121. URL: <https://doi.org/10.31083/j.jin2306121>.
40. Чжан Х., Ян С. Ю., Цяо Ю., Гэ Ц., Тан Ю. Ю., Нортхофф Г., Цзан Ю. Ф. Сеть режима по умолчанию опосредует низкочастотные флуктуации мозговой активности и поведения во время продолжительного внимания // *Human Brain Mapping*. 2022. Т. 43. № 18. С. 5478–5489. URL: <https://doi.org/10.1002/hbm.26024>.
41. Эрлих Р. Интеграция учебных технологий в преподавание K-12: обещания и вызовы // *Educational Technology*. 2002. Т. 42. № 1. С. 5-13.

Neurofeedback Aimed at Phase Synchronization of Theta–Alpha EEG Ranges as a Method for Improving Sustained Attention

Bibigul' S. Kushaliev

Master of Biology, Independent Researcher,
Brain Development Academy, Individual Entrepreneur,
121351, 4a, bldg. 2, Malaya Ochakovskaya str., Moscow, Russian Federation;
e-mail: bkushaliev@mail.ru

Abstract

Relevance. Sustained attention is considered in neuropsychology as a basic regulatory function that ensures the stability of cognitive activity over time. Modern electrophysiological studies indicate a significant role of theta- and alpha-oscillations, as well as their temporal coordination; however, the mechanisms of their participation in maintaining sustained attention and the possibilities of targeted influence on them remain debatable. **Objective.** The aim of the article is an analytical review of modern neuropsychological and neurophysiological studies devoted to the role of phase synchronization of theta–alpha EEG ranges in ensuring sustained attention, as well as an assessment of the prospects of neurofeedback focused on this parameter as a method for its improvement. **Sample.** The review includes a corpus of foreign empirical and review publications of recent years devoted to sustained attention, electrophysiological correlates of cognitive control, phase and cross-frequency EEG synchronization, as well as neurofeedback with various types of target parameters. **Methods.** The methods of analytical and comparative review of scientific publications were used, with an emphasis on the neuropsychological interpretation of experimental data, comparison of amplitude and phase EEG indicators, as well as analysis of methodological approaches to neurofeedback and cross-frequency interactions. **Results.** It is shown that EEG theta- and alpha-rhythms act as significant, but functionally ambiguous, correlates of sustained attention. Phase synchronization and cross-frequency interactions are considered as a promising mechanism of cognitive coordination; however, specialized neurofeedback protocols directly aimed at phase theta–alpha synchronization are absent in existing studies. **Conclusions.** The results of the review substantiate a neuropsychological model, within which sustained attention is supported by the temporal coordination of neural networks. Neurofeedback focused on phase theta–alpha synchronization is considered as a promising, but methodologically insufficiently developed, direction requiring further experimental research.

For citation

Kushalieva B.S. (2026) Neyroobratnaya svyaz', napravlennaya na fazovuyu sinkhronizatsiyu teta–alfa diapazonov EEG, kak metod uluchsheniya prodolzhitel'nogo vnimaniya [Neurofeedback Aimed at Phase Synchronization of Theta–Alpha EEG Ranges as a Method for Improving Sustained Attention]. *Psikhologiya. Istoriko-kriticheskie obzory i sovremennye issledovaniya* [Psychology. Historical-critical Reviews and Current Researches], 15 (4A), pp. 510-522. DOI: 10.34670/AR.2026.63.26.001

Keywords

Sustained attention, neuropsychology of attention, electroencephalography, theta-rhythm, alpha-rhythm, phase synchronization, cross-frequency interaction, neurofeedback, cognitive neuroscience, self-regulation.

References

1. Abdubakir M., Al Qasem V., Kvashnyak E. Working memory and interfrequency coupling of neural oscillations // *Frontiers in Psychology*. 2021. Vol. 12. P. 756661. URL: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.756661>.
2. Abreu R., Simoes M., Castelo-Branco M. Expanding the capabilities of EEG: Assessing large-scale functional brain networks and their dynamics confirmed by simultaneous fMRI // *Frontiers in Neuroscience*. 2020. Vol. 14. P. 323. URL: <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.00323>.
3. Awan F. G., Salim O., Kiran A. "Current trends and advances in solving the inverse problem for EEG source localization" // *Inverse Problems in Science and Engineering*. 2019. Vol. 27. No. 11. pp. 1521–1536. URL: <https://doi.org/10.1080/17415977.2018.1490279>.

4. Bagherzadeh Y., Baldaouf D., Pantazis D., Desimone R. "Alpha synchronization and neurofeedback control of spatial attention" // *Neuron*. 2020. Vol. 105. No. 3. pp. 577–587.e5. URL: <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2019.11.001>.
5. Biel A. L., Minarik T., Zauzeng P. Interfrequency phase synchronization of EEG as an index of memory correspondence in visual search // *NeuroImage*. 2021. Vol. 235. P. 117971. URL: <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2021.117971>.
6. Gkantini E., Halkiopoulos K. Mapping EEG metrics to human affective and cognitive models: An interdisciplinary review from the perspective of cognitive neuroscience // *Biomimetics*. 2025. Vol. 10. P. 730. URL: <https://doi.org/10.3390/biomimetics10110730>.
7. Galang E. V., Velasquez M. A., Elchin D., O'Connell S., Wik J., McNair S., Colombo P. J. A systematic review and meta-analysis of the relationships between real-time neurofeedback training parameters and neuromodulation acquisition // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2025. Vol. 19. P. 1652607. URL: <https://doi.org/10.3389/fnhum.2025.1652607>.
8. Doucet K., Wickman F., Monsen T., Sistiaga S., Ingels A., Cajos H., Hein M., Campanella S. Enhancement of attentional processes through sensorimotor neurofeedback training: evidence from a placebo-controlled, double-blind, event-related potential study // *NeuroImage*. 2025. Vol. 324. P. 121608. URL: <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2025.121608>.
9. De Brito M. A., Fernandez J. R., Esteves N. S., Müller W. T., Alexandria D. B., Perez D. I. V., Slimani M., Brito K. J., Bragazzi N. L., Miarca B. The effect of neurofeedback on reaction time and cognitive performance in athletes: a systematic review and meta-analysis // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2022. Vol. 16. P. 868450. URL: <https://doi.org/10.3389/fnhum.2022.868450>.
10. De Vuyst H.-J., Karaiscu A.-I., Soriano J.-R., Pergens J., op de Beek R., van der Gucht K., Raes F., De Vos M., Varon K., Aalarts K. Supporting focused attention meditation through EEG-based alpha-theta cross-frequency neurofeedback // *Mindfulness*. 2025. Vol. 16. No. 7. pp. 1933–1949. URL: <https://doi.org/10.1007/s12671-025-02603-x>.
11. Esma J., Rawls E., Long S., et al. Frontal midline theta differentiates distinct cognitive control strategies while preserving a generalized need for control // *Scientific Reports*. 2021. Vol. 11. P. 14641. URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-94162-z>.
12. Zaquerias R. M. G., Bulatwatta D. T., Bidzan-Bluma I., de Jesus S. N., Correia J. M. EEG-based neurofeedback in athletes and non-athletes: a review of results and methodologies // *Bioengineering*. 2025. Vol. 12. No. 11. P. 1202. URL: <https://doi.org/10.3390/bioengineering12111202>.
13. Siebenhüner F., Wang S. H., Arnulfo G., Lampinen A., Nobili L., Palva J. M., et al. Genuine interfrequency coupling networks in resting-state electrophysiological recordings of the human brain // *PLoS Biology*. 2020. Vol. 18. No. 5. e3000685. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3000685>.
14. Kasljo-Barnes D., Ortiz A., Figueiredo P., Gallego-Molina N. J. A Bayesian framework for inferring phase-amplitude interfrequency coupling: Application to reading impairment detection // *Expert Systems with Applications*. 2025. Vol. 291. P. 128510. URL: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2025.128510>.
15. Klein R. M., Good S. R., Christie J. J. Changes in attention networks across the lifespan: A graphical meta-analysis // *Journal of Intelligence*. 2024. Vol. 12. No. 2. P. 19. URL: <https://doi.org/10.3390/jintelligence12020019>.
16. Li Y., Li S., Tang Y., Hao S., Zhang D. Causal evidence for the role of prefrontal theta oscillations in emotional regulation using neurofeedback training // *NeuroImage*. 2025. T. 320. P. 121457. URL: <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2025.121457>.
17. MacWherren A., Riddle J., Walker K., Buse J.B., Frohlich F. Causal role of frontal midline theta in cognitive effort: A pilot study // *Journal of Neurophysiology*. 2021. Vol. 126. No. 4. pp. 1221–1233. URL: <https://doi.org/10.1152/jn.00068.2021>.
18. Martinez-Perez V., Andreu A., Sandoz-Lentisco A., Tortahda M., Palmero L.B., Castillo A., Campoy G., Fuentes L.J. Vigilance decline and mind wandering in sustained attention tasks: Two sides of the same coin? // *Frontiers in Neuroscience*. 2023. Vol. 17. P. 1122406. URL: <https://doi.org/10.3389/fnins.2023.1122406>.
19. Murphy J., Dewu K., Corballis P. M., Grimshaw G. M. Proactive control of emotional distraction: Evidence from EEG alpha suppression // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2020. Vol. 14. P. 318. URL: <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00318>.
20. Nawaz R., Wood G., Nisar H., Yap W. V. Examining the effects of EEG-based alpha neurofeedback on working memory capacity in healthy participants // *Bioengineering*. 2023. Vol. 10. No. 2. P. 200. URL: <https://doi.org/10.3390/bioengineering10020200>.
21. Nasiri E., Khalilzadeh M., Hakimzadeh Z., et al. A comprehensive review of attention tests: Can we assess what we do not clearly understand? // *Egyptian Journal of Neurology, Psychiatry and Neurosurgery*. 2023. Vol. 59. P. 26. URL: <https://doi.org/10.1186/s41983-023-00628-4>.
22. Nourhipour R., Vicky M. G., Ghanbari N., Farmani F., Emadi F. Alpha/theta neurofeedback rehabilitation for improving attention and working memory in female students with learning disabilities // *OBM Neurobiology*. 2024. Vol. 8. No. 3. P. 229.
23. Orendachova M., Kvashnjak E. What can neurofeedback and transcranial alternating current stimulation tell us about interfrequency coupling? // *Frontiers in Neuroscience*. 2025. Vol. 19. P. 1465773. URL: <https://doi.org/10.3389/fnins.2025.1465773>.

24. Reis J., Portugal A. M., Fernandes L., Afonso N., Pereira M., Souza N., Dias N. S. Intensive brief neurofeedback protocol with an emphasis on alpha and theta for working memory training in healthy aging // *Frontiers in Aging Neuroscience*. 2016. Vol. 8. P. 157. URL: <https://doi.org/10.3389/fnagi.2016.00157>.
25. Rivella K., Viterbori P., Uzai M.K. Sustained attention and inhibitory control: Age and sex differences in children and adolescents using a distracting event task // *Frontiers in Psychology*. 2025. Vol. 16. P. 1609537. URL: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2025.1609537>.
26. Rodriguez-Larios J., Faber P., Ahernan P., et al. From mindlessness to mindful effort: Alpha-theta interfrequency dynamics in experienced meditators during meditation, rest, and arithmetic problems // *Scientific Reports*. 2020. Vol. 10. P. 5419. URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62392-2>.
27. Ros T., Henriques-Geppert S., Zotev V., Young K. D., Wood G., Whitfield-Gabrieli S., Wang F., Vuilleumier P., Viallat F., Van De Wiel D., Todder D., Surmeli T., Sulzer J. S., Strehl U., Sterman M. B., Steiner N. J., Sorger B., Zökadar S. R., Sitaram R., ... Thibault R. T. Consensus on the reporting and experimental design of clinical and cognitive-behavioral neurofeedback trials (CRED-nf checklist) // *Brain*. 2020. Vol. 143. No. 6. Pp. 1674–1685. URL: <https://doi.org/10.1093/brain/awaa009>.
28. Saxe, D. D., Schwenn, P. E., McLaughlin, L. T., Lagopoulos, J., Hermens, D. F. Phase-amplitude coupling, mental health, and cognition: implications for adolescence // *Frontiers in Human Neuroscience*. 2021. Vol. 15. Pp. 622313. URL: <https://doi.org/10.3389/fnhum.2021.622313>.
29. Snipes S., Mayer E., Akkashina S., Huber R. Extended wakefulness alters the relationship between EEG oscillations and performance in a sustained attention task // *Journal of Sleep Research*. 2024. Vol. 33. No. 6. e14230. URL: <https://doi.org/10.1111/jsr.14230>.
30. Solis-Vivanco R., Bame L., Harris A., Liu H., Lavy N. (2024). *bioRxiv*. URL: <https://doi.org/10.1101/2024.09.25.614991>.
31. Treves, I. N., Green, K. D., Bajwa, Z., Wool, E., Kim, N., Bauer, K. K. K., Bloom, P. A., Pagliaccio, D., Zhang, J., Whitfield-Gabrieli, S., and Auerbach, R. P. Mindfulness neurofeedback: a systematic review of EEG and fMRI studies. *Imaging Neuroscience*. 2024. Vol. 2. imag-2-00396. URL: https://doi.org/10.1162/imag_a_00396.
32. French, I. T., Chang, K.-H., Lien, W.-K., Chang, W.-S., Luo, Y.-S., Wang, Y.-R., Chen, M.-L., Huang, N.-E., Wu, H.-S., Lim, S.-N., Chen, K.-M., Huang, C.-H. Attentional dysfunction arises from connectivity of the right frontocentral and occipital networks in Parkinson's disease. *NeuroImage: Reports*. 2025. Vol. 5. No. 1. 100241. URL: <https://doi.org/10.1016/j.nirp.2025.100241>.
33. Huang, H., Li, R., Zhang, J. A review of visual sustained attention: neural mechanisms and computational models. *PeerJ*. 2023. Vol. 11. e15351. URL: <https://doi.org/10.7717/peerj.15351>.
34. Hou, D., Sun, S., Hatori, Y., Zeng, C.-H., Shioiri, S. “Self-initiated attentional shifts with task constraints are indexed by rising frontal midline theta.” *Frontiers in Human Neuroscience*, 2025, vol. 19, p. 1708257. URL: <https://doi.org/10.3389/fnhum.2025.1708257>.
35. Huani, N., Yaburi, R., Garcia-Salisetti, S., et al. “Individual neural dynamics of successful gamma neuromodulation via EEG neurofeedback in the aging brain.” *Scientific Reports*. 2025. URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-30212-0>.
36. Chick D. Theta-alpha interfrequency synchronization facilitates working memory control: a simulation // *SpringerPlus*. 2013. Vol. 2. No. 1. P. 14. URL: <https://doi.org/10.1186/2193-1801-2-14>.
37. Schneider D., Herbst S.K., Klatt L.-I., Wöstmann M. Goal enhancement or distractor suppression? Functionally distinct alpha oscillations underlie attention // *European Journal of Neuroscience*. 2022. Vol. 55. No. 11–12. P. 3256–3265. URL: <https://doi.org/10.1111/ejn.15309>.
38. Schmidt J., da Silva Senges G., Gonçalves Fernandes Campos R., et al. Sustained attention can be measured using a brief computerized attention task // *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14. P. 17001. URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-68093-4>.
39. Yousefi M. R., Hanamadi N., Deghani A. Using the phase synchronization index to determine sensitivity to neurofeedback treatment in attention deficit hyperactivity disorder // *Journal of Integrative Neuroscience*. 2024. Vol. 23. No. 6. P. 121. URL: <https://doi.org/10.31083/j.jin2306121>.
40. Zhang H., Yang S. Yu., Qiao Y., Ge Q., Tang Y. Yu., Northoff G., Zang Y. F. The default mode network mediates low-frequency fluctuations in brain activity and behavior during sustained attention // *Human Brain Mapping*. 2022. Vol. 43. No. 18. P. 5478–5489. URL: <https://doi.org/10.1002/hbm.26024>.
41. Erlich R. Integrating instructional technologies into K-12 teaching: Promises and challenges // *Educational Technology*. 2002. T. 42. No. 1. P. 5-13.