

УДК 616-073.97+612.821+159.91
<https://doi.org/10.56871/RBR.2025.52.46.002>

ЧАСТОТНАЯ ВАРИАТИВНОСТЬ КОЛЕБАНИЙ АЛЬФА-ДИАПАЗОНА НА ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЕ ЗДОРОВЫХ ЛЮДЕЙ

© Никита Юрьевич Кипятков, Нина Валентиновна Скребцова,
Сергей Александрович Лытаев, Виктория Витальевна Гайворонская

Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет. 194100, г. Санкт-Петербург, ул. Литовская, д. 2, Российская Федерация

Контактная информация: Никита Юрьевич Кипятков — к.м.н., доцент кафедры нормальной физиологии. E-mail: fd@pnd1.spb.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3280-3679> SPIN: 4059-0753

Для цитирования: Кипятков Н.Ю., Скребцова Н.В., Лытаев С.А., Гайворонская В.В. Частотная вариативность колебаний альфа-диапазона на электроэнцефалограмме здоровых людей. Российские биомедицинские исследования. 2025;10(3):16–26. <https://doi.org/10.56871/RBR.2025.52.46.002>

Поступила: 02.06.2025

Одобрена: 30.07.2025

Принята к печати: 16.09.2025

Резюме. Введение. Альфа-активность является доминирующим ритмом головного мозга, формируется к 14–16 годам с индивидуальной стабильной частотой для каждого человека в среднем около 10 Гц. Колебания альфа-диапазона, с одной стороны, отражают активность процессов торможения в головном мозге, с другой стороны, связаны с потенциальной способностью головного мозга к когнитивной деятельности. **Цель исследования** — изучение особенностей частотных характеристик альфа-ритма и его представительство в затылочных точках регистрации электроэнцефалограммы (ЭЭГ) в популяции практически здорового взрослого населения Северо-Запада России. **Материалы и методы.** Регистрировали ЭЭГ у практически здоровых взрослых жителей г. Санкт-Петербурга ($n=106$), из них 62 женщины, 44 мужчины. Средний возраст обследованных составил 44,5 года ($SD=17,7$). ЭЭГ регистрировали по стандартной международной схеме «10-20». В работе использовался программно-аппаратный комплекс «Мицар-ЭЭГ-202» (Россия). Статистическая обработка проводилась в программе SPSS, версия 27. **Результаты.** Установлена редукция средней частоты альфа-ритма в затылочных отведениях обоих полушарий до 9 Гц, уменьшение его представительства в затылочных отведениях до 13–15%. Снижение частоты альфа-ритма более характерно для молодого возраста (менее 40 лет) — $8,83 \pm 0,21$ Гц. **Выводы.** Выявлен ряд особенностей функциональной активности головного мозга в виде редукции частоты альфа-ритма и утраты его доминирования в затылочных отведениях, что расценивается изменением тормозной активности головного мозга и связанным с этим нарушением сенсорной обработки сигналов.

Ключевые слова: электроэнцефалография, альфа-ритм, альфа-активность, биоритмы мозга человека, биоэлектрическая активность мозга, когнитивная активность мозга

<https://doi.org/10.56871/RBR.2025.52.46.002>

FREQUENCY VARIATION OF ALPHA-BAND OSCILLATIONS ON THE ELECTROENCEPHALOGRAM OF HEALTHY SUBJECTS

© Nikita Yu. Kipyatkov, Nina V. Skrebtsova,
Sergey A. Lytaev, Victoria V. Gaivoronskaia

Saint Petersburg State Pediatric Medical University. 2 Lithuania, Saint Petersburg 194100 Russian Federation

Contact information: Nikita Yu. Kipyatkov — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Normal Physiology.
E-mail: fd@pnd1.spb.ru <https://orcid.org/0000-0003-3280-3679> SPIN: 4059-0753

For citation: Kipyatkov NYu, Skrebtsova NV, Lytaev SA, Gaivoronskaia VV. Frequency variation of alpha-band oscillations on the electroencephalogram of healthy subjects. Russian Biomedical Research. 2025;10(3):16–26. <https://doi.org/10.56871/RBR.2025.52.46.002>

Received: 02.06.2025

Revised: 30.07.2025

Accepted: 16.09.2025

Abstract. Introduction. Alpha activity is the dominant rhythm of the brain, formed by 14–16 years of age with an individual stable frequency for each person, on average about 10 Hz. Fluctuations of the alpha range, on the one hand, reflect the activity of inhibition processes in the brain, on the other hand, are associated with the potential ability of the brain to cognitive activity. **The aim of the study** was to investigate the peculiarities of the frequency characteristics of the alpha rhythm and its representation in occipital electroencephalogram (EEG) recording points in a population of practically healthy adults in the north-west of Russia. **Materials and methods.** EEG was registered in practically healthy adult population of St. Petersburg (n=106), 62 women and 44 men. The mean age of the subjects was 44.5 (SD=17.7). EEG was recorded according to the International system “10-20”. The software and hardware complex “Mizar-EEG-202” (Russia) was used in the work. Statistical processing was carried out in SPSS program, version 27. **Results.** Reduction of the average frequency of alpha rhythm in occipital leads of both hemispheres up to 9 Hz, reduction of its representation in occipital leads up to 13–15% was established. Decrease of alpha rhythm frequency is more characteristic for young age (less than 40 years) — 8.83 ± 0.21 Hz. **Conclusion.** New peculiarities of functional activity of the brain in the form of alpha rhythm frequency reduction and loss of its dominance in occipital leads have been revealed, which is considered as a change in inhibitory activity of the brain and related disturbance of sensory processing of signals.

Keywords: electroencephalography, alpha rhythm, alpha activity, human brain biorhythms, bioelectrical brain activity, cognitive brain activity



ВВЕДЕНИЕ

Сто лет прошло с тех пор, как первооткрыватель современной электроэнцефалографии (ЭЭГ) Ганс Бергер (1873–1941) определил альфа-активность как ритмический компонент ЭЭГ, частота которого лежит в интервале между 8 и 12 Гц, а также отметил, что альфа-колебания имеют максимальную амплитуду в затылочной области коры и снижаются по амплитуде при открывании глаз и самых разнообразных когнитивных нагрузках [1]. Многие годы и десятилетия были посвящены изучению механизмов генерации альфа-ритма и их частотно-амплитудным характеристикам. В настоящее время эти вопросы во многом отошли на второй план, пропустив вперед количественные исследования со сложным компьютерным анализом [2, 3].

Например, было установлено, что депрессия альфа-ритма может быть вызвана не только предъявлением опознаваемых стимулов, но и до их предъявления, если испытуемый знает о том, что в ближайшее время ему будет представлена какая-то задача, требующая решения [4]. У детей и взрослых наблюдается снижение мощности альфа-ритма при ожидании тактильных и визуальных раздражений. При этом вариабельность в предвосхищающей альфа-латерализации (изменение лево-правой асимметрии распределения альфа-ритма) у испытуемых была связана с однократной тренировкой. Эта связь была более выражена у взрослых, чем у детей, и не была очевидна для слуховых стимулов. Предвосхищение предлагается в качестве развивающего мостика, соединяющего неврологию, поведение и когнитивные способности, при этом предвосхищающие колебания ЭЭГ обсуждаются как количественные и потенциально гибкие индикаторы предсказания стимулов [5]. В то же время мощность альфа-колебаний в фоне и во время ожидания стимула, который должен последовать, существенно выше у людей, способных к эффективному самоконтролю, и ниже у пациентов импульсивного характера [6].

Теория функционального подавления утверждает, что снижение мощности альфа-диапазона обеспечивает контроль внимания путем избирательного подавления нейронных представлений, не связанных с выполняемой задачей. Это предположение было хорошо подкреплено десятилетиями корреляционных исследований, показывающих связанные с вниманием изменения в топографии альфа-мощности в ожидании стимулов, связанных с задачей, и является жизнеспособной теорией о том, как внимание влияет на сенсорную обработку, а именно через изменения альфа-мощности в сенсорных областях перед началом стимула [7].

При выполнении задач на сравнение двух различных стимулов отмечается интересная динамика изменения альфа-мощности, показано, что альфа-ритм повышается в начале и середине предъявления стимулов для сравнения. При предъявлении коротких по длительности стимулов в целом мощность альфа-ритма увеличивается во время всего периода анализа, тогда как для длительных стимулов, напротив,

уменьшается. Это может свидетельствовать об ослаблении процесса оценки, если она оказывается длительной [8]. При анализе зрительных стимулов более высокие альфа-частоты были связаны с улучшенной сегментацией визуальных событий с течением времени, тогда как более низкие альфа-частоты были связаны с улучшенной временной интеграцией [9].

Исходя из гипотезы выделения целого семейства альфа-ритмов было показано, что альфа-ритм с конкретными частотными интервалами специфичен модальности сенсорных сигналов. Так, альфа-ритм с частотой 7–9 Гц относится к соматосенсорной чувствительности, с частотой 9–12 Гц — к зрительному анализатору, а 12–13 и 7–9 Гц — к слуховому восприятию. Эквивалентные указанным частотам дипольные источники альфа-ритма с конкретной частотой регистрируются адресно в первичной сенсорной зоне коры [10]. Изменение мощности альфа-сигнала на электродах О1 и О2 при предъявлении прерывистой фотостимуляции позволяет количественно оценить гипервозбудимость коры, что может быть использовано при эпилепсии и других заболеваниях [11].

Но не только сенсорные модели функционирования центральной нервной системы (ЦНС) связывают с альфа-ритмом на ЭЭГ. Например, в одной из работ показано увеличение средней мощности альфа-ритма в контралатеральных областях моторной коры пропорционально увеличению силы захвата у пациентов, перенесших инсульт, во время реабилитационных упражнений, что может иметь значение для оценки прогресса реабилитационных мероприятий у данных пациентов [12].

Попытки связать эффективность выполнения заданий с изменением альфа-ритма пока остаются безуспешными. Так, в работе наших коллег показано, что корреляция между величиной оценки, полученной студентами, и частотой альфа-ритма была очень слабой. Однако при сравнении индивидуальных показателей активности левого и правого полушария удалось установить, что у большинства испытуемых групп «отличников» и «двоечников» преобладала амплитуда альфа-ритма в левом полушарии: у 71% успевающих и у 69% менее успешных. Кроме того, амплитуда альфа-ритма в левом и правом полушариях у успешных испытуемых была больше, чем у менее успешных [13]. Ряд авторов вообще предлагает подходить к самой подаче изучаемого материала индивидуально, связывая ее временные характеристики с индивидуальной частотой ритма ЭЭГ. Так, было показано, что индивидуальное частотное вовлечение мозга приводит к более быстрому обучению задаче визуальной идентификации (т.е. обнаружению целей, скрытых в фоновом беспорядке) по сравнению с вовлечением, которое не соответствует альфа-частоте индивида [14].

Количественный анализ ЭЭГ является подходящим инструментом для оценки умственного переутомления. Было показано повышение мощности альфа-ритма при выполнении длительного задания у индивидуумов, отвечавших критериям большей усталости. У детей в подобной ситуации повышение мощности альфа-ритма связывают с поведенче-

скими нарушениями при выполнении избыточных умственных нагрузок [9].

Относительно латерализации альфа-ритма можно добавить, что, когда наше внимание смещается влево или вправо, баланс волн в левом и правом полушариях мозга меняется. Это особенно верно для паттерна электрической активности, известного как альфа-волна [15]. Считается, что эта асимметрия отражает концентрацию одной стороны мозга на соответствующих входных данных, в то время как другая подавляет отвлекающие факторы от окружающей среды [16]. Асимметрия альфа-мощности ЭЭГ в лобных долях головного мозга активно изучалась в течение последних 30 лет как потенциальный маркер эмоционального и мотивационного состояния. Однако большинство исследований основаны на длительных манипуляциях, в ходе которых участников помещают в ситуации, провоцирующие тревогу. В сравнительно небольшом количестве исследований изучалась альфа-асимметрия в ответ на кратко представленные эмоционально окрашенные стимулы. Так, угрожающие изображения и лица вызывали перераспределение альфа-мощности с формированием правой асимметрии [17]. Фронтальная альфа-асимметрия изучалась с конца 1970-х годов как нейронный коррелят регуляции эмоций и мотивационных процессов. Она часто рассматривается как отражение индивидуальных различий в позитивной или негативной эмоциональности и как предубеждающий фактор в отношении мотивационных процессов приближения или избегания. Более того, фронтальная альфа-асимметрия меняется с течением времени, и то, как она меняется с течением времени, зависит от индивидуального опыта и развития [18].

Доказано, что снижение альфа-мощности в затылочно-теменной области не является пассивным следствием активации, а служит улучшению чувствительности восприятия и увеличивает объем информации, которую можно расшифровать по паттернам нейронной активности. Кроме того, колебания в альфа-диапазоне непосредственно перед предъявлением стимула модулируют точность последующих реакций. В совокупности показано, что динамика колебаний в альфа-диапазоне модулирует сенсорные сигналы, представляющие интерес, сильнее, чем шум [19].

Показано, что творческое мышление, равно как и выполнение творческих задач, имеет четкие электрографические биомаркеры. Нейрофизиологические исследования отмечают высокую синхронизацию альфа-ритма у людей, занятых творческим осмыслением происходящего. Однако и другие высокочастотные компоненты, помимо альфа-диапазона, такие как бета и гамма, могут использоваться для оценки. Интересно, что во время дивергентного мышления испытуемые демонстрировали альфа-синхронизацию наряду с бета- и гамма-десинхронизацией, более выраженный сдвиг спектральной мощности альфа-сигнала на левое полушарие. Во время конвергентного мышления наблюдалась противоположная картина: десинхронизация альфа-ритма и увеличение бета- и гамма-ритма, что позволяет по-новому взглянуть на сложные физиологические особенности творческого процесса [20].

Ученые обнаружили, что в молодом возрасте, около 18–20 лет, происходит переломный момент: до этого возраста спектральная мощность в альфа-диапазоне в среднем повышается у здоровых испытуемых, а после этого возраста, вероятно, из-за функционального торможения, отмечается снижение мощности альфа-ритма, особенно в низкочастотной его части, что, возможно, указывает на маркер созревания эмпатических способностей [21].

Описано отсутствие существенных различий в спектральной мощности в альфа-диапазоне на затылочных электродах (O1 и O2), однако спектральная мощность в альфа-диапазоне может быть снижена на височных и теменных электродах. Наблюдалась также тенденция к уменьшению индивидуальной частоты альфа-эпизодов, что более характерно для периодически страдающих головной болью [22].

Ряд авторов доказывают, что компьютерный анализ ЭЭГ с подключением искусственного интеллекта может достоверно доказать шизофренический тип мышления у психиатрических больных [23].

В сводных методах психофизиологической оценки человека могут быть применены технологии, позволяющие объективно выявить эмоциональную оценку задаваемых вопросов с помощью искусственного интеллекта и программируемых нейронных сетей, которые базисно используют для анализа записанной ЭЭГ [24].

У людей со специфическими нарушениями речи в состоянии закрытых глаз спектральная мощность альфа-ритма была статистически значимо ниже, чем у здоровых, в области левого височного (T5) и затылочного электродов (O1, O2). В состоянии открытых глаз испытуемые демонстрировали значительно более низкую спектральную мощность альфа-ритма в области левого височного (T3, T5), теменного (P3, Pz) и затылочного электродов (O1, O2) [25].

У пациентов с когнитивными нарушениями регистрируется дисбаланс кортикального торможения и возбуждения, в том числе с изменением активности в альфа-диапазоне (в некоторых случаях приводящий к эпилептиформной активности), причем, эти изменения хорошо коррелируют с установленными биомаркерами нейродегенерации и когнитивных нарушений [26]. Показано, что нейрофизиологические механизмы синхронизации нейронных колебаний головного мозга, регулирующие возбуждение коры, отражаются на индексе альфа-ритма. Последний снижается у пожилых людей с умеренными когнитивными нарушениями и сопровождается повышением индекса в дельта-диапазоне [27].

Таким образом, большой пласт современных исследований за последние пять лет посвящен изменениям альфа-ритма при сенсорных и моторных проявлениях функционирования ЦНС с использованием сложных компьютерных методов анализа. Изучение базовых характеристик альфа-ритма в состоянии покоя, тем более классическими методами (частота, амплитуда, индексы), считается неперспективным, давно известным и устоявшимся. Однако описания таких характеристик, нередко используемые как нормативные, служащие

отправной точкой для сравнения с данными пациентов, могут быть устаревшими. Нам показалось перспективным провести новое исследование, обработав информацию об анализе базовых показателей альфа-ритма на ЭЭГ здоровых испытуемых в условиях современного мира.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучить особенности частотных характеристик альфа-ритма и его распределения по конвексимальной поверхности в популяции практически здорового взрослого населения Северо-Запада России.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

На базе отделения функциональной диагностики СПб ГБУЗ «Психоневрологический диспансер № 1» проведено обследование практически здоровых жителей г. Санкт-Петербурга ($n=106$), из них 62 женщины, 44 мужчины, которые проходили профессиональное освидетельствование. Средний возраст обследованных составил 44,5 года ($SD=17,7$).

ЭЭГ регистрировали по стандартной международной схеме «10-20» при помощи программно-аппаратного комплекса «Мицар-ЭЭГ-202» (Россия). При помощи мостиковых электродов на физиологическом растворе с использованием стандартного ЭЭГ-шлема зарегистрирована 16-канальная ЭЭГ. Фоновую ЭЭГ регистрировали в условиях мышечного расслабления (на стоматологическом кресле), тишины, в темноте, с закрытыми глазами. ЭЭГ регистрировали в 16 монополярных отведениях ($Fp1, F3, F7, C3, T3, T5, P3, O1, Fp2, F4, F8, C4, T4, T6, P4, O2$) с референтным электродом на электронейтральной точке на скуле испытуемых. Запись и анализ проводили в программе WinEEG 2.14 на скорости 30 мм/с, с чувствительностью 50 мкВ/см с включенным фильтром высоких частот (45–55 Гц) для устранения электротонических артефактов. Фоновая запись осуществлялась не менее 3 минут, для анализа выбирался фрагмент длительностью 10 секунд, максимально чистый от различных электрогенных и миогенных артефактов с визуальной выраженной доминантой альфа-ритма. Варианты полученных ЭЭГ без манифестации альфа-ритма, с преобладанием бета-1-активности, «плоские ЭЭГ» также как и записи с патологическими графоэлементами, в число анализируемых не включались. Частота и выраженность альфа-ритма были подсчитаны с помощью количественных методов обработки ЭЭГ. Мы определяли спектральную мощность в альфа-диапазоне с помощью встроенного в программу WinEEG алгоритма. Автоматический программный подсчет реализовывался со следующими параметрами настройки: длительность эпохи анализа равна 4 с, перекрывание эпох — 50%, временное окно Ханна, удаление артефактов для среднего спектра — полиномиальный тренд порядка 2, низкочастотный сигнал мощностью более 200 мкВ в диапазоне от 0,5 до 1,25 Гц.

Полученные данные в большинстве случаев подчинялись закону нормального распределения, поэтому для статисти-

ческой обработки данных использовали критерий Стьюдента для независимых выборок. Критический уровень значимости (p) в нашей работе принимался равным 0,05. Если распределение отличалось от нормального, использовали критерии Манна–Уитни. С целью выявления связей между возрастными, половыми характеристиками и функциональным состоянием мозга был проведен корреляционный анализ для всех наблюдений ($n=106$). Статистическая обработка проводилась в программе SPSS, версия 27.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате проведенных исследований выявлено (табл. 1), что среднее значение частоты альфа-ритма взрослого населения колеблется в регистрируемых отведениях от $8,81 \pm 0,13$ Гц (отведение F8) до $9,37 \pm 0,17$ Гц (отведение C4). Для затылочных отведений частота альфа-ритма составила $9,19 \pm 0,15$ Гц и $9,04 \pm 0,14$ Гц соответственно для левого и правого полушарий. Сравнительный анализ наших значений с данными ряда авторов [28–31], которые указывали среднее значение альфа-ритма не менее 10 Гц, показал достоверность отличий при $p < 0,001$.

У мужчин и женщин частота альфа-ритма достоверно не отличалась.

При исследовании показателей ЭЭГ в возрастных группах выявлено, что у лиц молодого возраста (менее 40 лет) частота альфа-ритма в левом затылочном отведении O1 составила $8,83 \pm 0,21$ Гц, что достоверно меньше ($p=0,031$), чем у лиц более старшего возраста (40 лет и более) — $9,47 \pm 0,20$ Гц. Проведение корреляционного анализа показало наличие положительной слабой связи между частотой альфа-ритма в отведении O1 и возрастом: $r=0,245$ ($p < 0,05$).

Процентное представительство альфа-ритма в затылочных отведениях составило $13,59 \pm 1,24\%$ и $13,90 \pm 1,19\%$ соответственно для левого и правого полушарий (рис. 1). Отличий по полу и возрасту не выявлено (табл. 2).

ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенное нами исследование позволило установить ряд тенденций нейрофункциональной активности головного мозга на примере жителей г. Санкт-Петербурга. Так, отмечается снижение средней частоты альфа-ритма (рис. 2) в затылочных отведениях обоих полушарий. Подавляющее большинство исследователей указывают среднюю частоту альфа-ритма не менее 10 Гц. Снижение этого показателя до 9 Гц свидетельствует о перестройке функциональной активности мозга, возможно, связанной с увеличением информационных потоков. Мы предполагаем, что современная тенденция лавинообразного нарастания сенсорных сигналов, в том числе с использованием гаджетов, приводит к перегрузке нейронных сетей и снижению частоты альфа-ритма.

Существует гипотеза, согласно которой частота альфа-ритма отражает уровень «когнитивной готовности», т.е. потенциальной

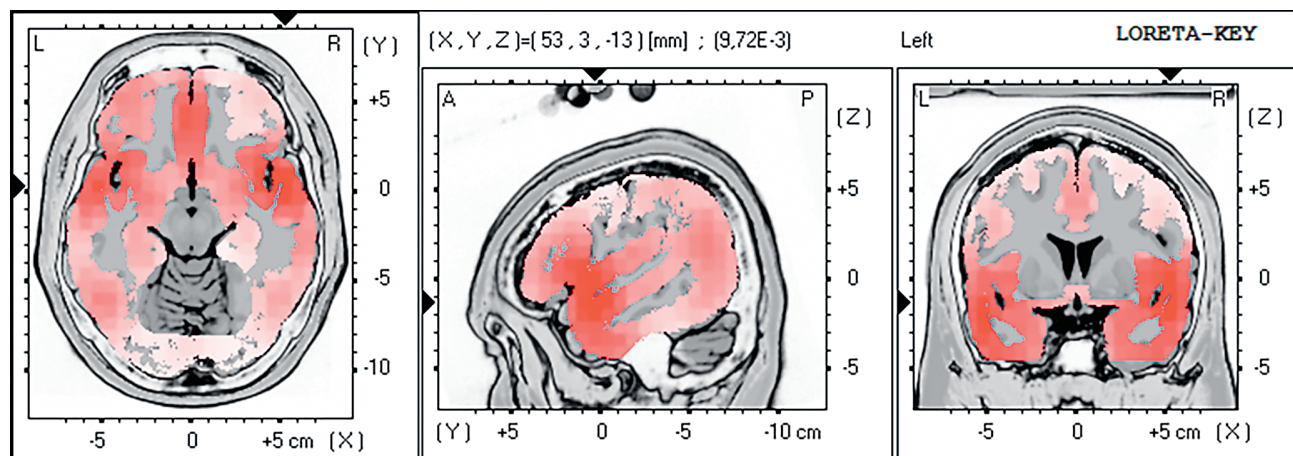


Рис. 1. ЭЭГ мужчины, 45 лет, видно диффузное распределение альфа-ритма без доминирования в затылочных отведениях на SLOreta

Fig. 1. A 45-year-old man, diffuse distribution of alpha rhythm without dominance in occipital leads on SLOreta is seen

Таблица 1

Сравнительная характеристика частоты колебаний в альфа-диапазоне ($M \pm m$)

Table 1

Comparative characterization of oscillation frequency in the alpha range ($M \pm m$)

Отведение / Lead	Частота альфа-ритма, Гц / Alpha rhythm frequency, Hz				
	все наблюдения / all observations n=106	женщины / women n=62	мужчины / men n=44	возраст <40 лет / age <40 years n=46	возраст ≥40 лет / age ≥40 years n=60
Fp1	8,91±0,15	8,77±0,18	9,10±0,25	8,86±0,20	8,95±0,21
Fp2	8,96±0,14	8,91±0,18	9,03±0,23	8,95±0,21	8,97±0,19
F3	9,11±0,17	9,02±0,22	9,24±0,25	9,07±0,25	9,15±0,22
F4	9,12±0,15	9,19±0,19	9,03±0,24	9,21±0,25	9,05±0,18
F7	9,19±0,17	9,18±0,22	9,19±0,28	9,08±0,24	9,27±0,24
F8	8,81±0,13	8,79±0,18	8,82±0,18	8,82±0,18	8,80±0,18
C3	9,04±0,16	9,04±0,21	9,05±0,23	8,90±0,21	9,16±0,22
C4	9,37±0,17	9,46±0,24	9,23±0,23	9,48±0,24	9,28±0,23
T3	8,93±0,14	9,05±0,18	8,76±0,20	8,98±0,24	8,89±0,16
T4	8,85±0,14	9,00±0,20	8,63±0,21	9,13±0,24	8,64±0,17
T5	8,83±0,15	8,82±0,19	8,85±0,24	8,61±0,19	9,00±0,21
T6	9,13±0,17	9,28±0,23	8,91±0,23	9,40±0,24	8,92±0,23
P3	9,29±0,17	9,59±0,23	8,87±0,23	9,07±0,25	9,46±0,23
P4	9,04±0,15	9,25±0,21	8,74±0,22	9,47±0,26	8,71±0,18
O1	9,19±0,15	9,35±0,21	8,96±0,21	8,83±0,21*	9,47±0,20
O2	9,04±0,14	9,12±0,20	8,93±1,26	9,07±0,22	9,02±0,19

* $p=0,031$ — достоверность различий с показателями группы «возраст ≥40 лет».

* $p=0,031$ — reliability of differences with the indicators of the group "age ≥40 years".

Таблица 2

Сравнительная характеристика процентного представительства альфа-ритма в затылочных отведениях ($M \pm m$)

Table 2

Comparative characterization of the percentage representation of alpha rhythm in occipital leads ($M \pm m$)

Контингент исследуемых / Contingent of the studied	Процентное представительство альфа-ритма, % / Percentage representation of alpha rhythm, %	
	отведение O1 / lead O1	отведение O2 / lead O2
Все наблюдения / All cases of observation, n=106	13,59 $\pm$ 1,24	13,90 $\pm$ 1,19
Женщины / Women, n=62	14,23 $\pm$ 1,66	14,13 $\pm$ 1,60
Мужчины / Men, n=44	12,69 $\pm$ 1,88	13,57 $\pm$ 1,81
Возраст <40 лет / Age <40 years, n=46	14,94 $\pm$ 2,16	15,99 $\pm$ 1,96
Возраст $\geq$ 40 лет / Age $\geq$ 40 years, n=60	12,55 $\pm$ 1,44	12,29 $\pm$ 1,46

Примечание: O1 — левое затылочное отведение; O2 — правое затылочное отведение.

Note: O1 — left occipital lead; O2 — right occipital lead.

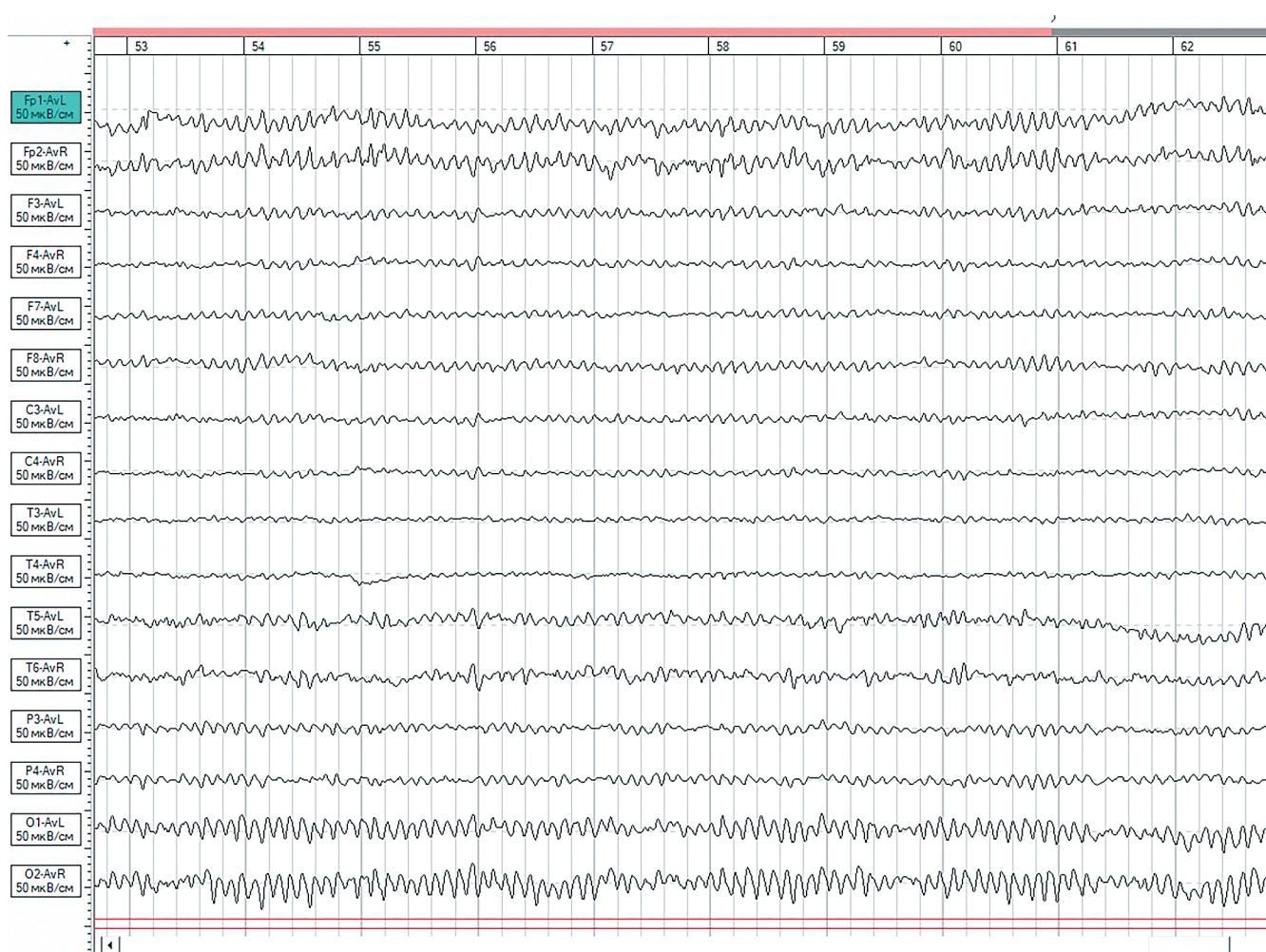


Рис. 2. ЭЭГ испытуемой, 50 лет, средняя частота колебаний 9,4 Гц с диффузным распределением и умеренным затылочным преобладанием

Fig. 2. EEG of a 50-year-old subject, average oscillation frequency 9.4 Hz with diffuse distribution and moderate occipital predominance

способности функционирующих сетей нейронов к деятельности в когнитивной сфере [29, 32, 33]. При высокой частоте суммарных электрических колебаний нейронных сетей происходит более быстрое чередование фаз возбуждения и торможения, что отражается на более быстрой скорости обработки сенсорной информации [34]. Мы предполагаем, что установленное нами снижение частоты электрической активности мозга в альфа-диапазоне свидетельствует о тенденции снижения скорости обработки информации нейронными сетями. Полагается, что отмеченный феномен будет приводить к повышению ошибочности в профессиональной деятельности [31].

Снижение частоты альфа-ритма в левом затылочном отведении в возрасте менее 40 лет ($8,83 \pm 0,21$ Гц) свидетельствует о возможном изменении обработки зрительных сигналов. Поскольку эта тенденция достоверно более характерна для молодого возраста, представители которого в большей степени используют гаджеты, можно предположить наличие у них нарушения анализа зрительного восприятия. Необходимы дальнейшие исследования для выяснения взаимосвязи между изменением частоты альфа-ритма в затылочных отведениях и распознаванием сложных зрительных сигналов у лиц, зависящих от гаджетов.

Колебания альфа-диапазона до сих пор являлись доминирующими в затылочных отведениях при спокойном бодрствовании [35–39]. В нашем исследовании выявлено уменьшение представительства альфа-диапазона до 13–15%. До настоящего времени на ЭЭГ в состоянии спокойного бодрствования определялись альфа-волны до 50–90% времени регистрации. Угнетение, блокада альфа-ритма (реакция десинхронизации) наблюдались при любой неспецифической активации: при звуковых или световых сигналах или при усилении внимания испытуемого. И поэтому, как правило, исследователи связывали наличие альфа-ритма с тормозными процессами в головном мозге и, наоборот, замена альфа-диапазона на бета-1-, бета-2-диапазон — с активацией нейронных сетей и преобладанием процессов возбуждения. В то же время торможение является активным процессом обработки информации, который помогает увеличить отношение сигнал/шум, подавляя активность тех нейронов, которые не участвуют в обработке и анализе сигнала, тем самым помогая обеспечить оптимальное возбуждение работающих нейронов [40]. Таким образом, при снижении представительства альфа-ритма, которое мы получили, можно ожидать нарушение концентрации внимания, запоминания и извлечение информации из памяти — тех процессов, в которых необходимо торможение для подавления так называемого шума.

Мощность альфа-колебаний существенно выше у людей, способных к эффективному самоконтролю, и ниже у испытуемых с импульсивным поведением [6], поэтому при снижении мощности альфа-диапазона у населения возможен недостаточный контроль поведенческих, эмоциональных реакций. Для подтверждения этих гипотез необходимы дальнейшие исследования.

ВЫВОДЫ

1. У взрослых практически здоровых жителей г. Санкт-Петербурга наблюдается снижение среднего значения частоты альфа-диапазон ЭЭГ во всех отведениях обоих полушарий.
2. Снижение частоты альфа-ритма зафиксировано во всех возрастных группах. Наиболее активное снижение выявлено в возрасте менее 40 лет в левом затылочном отведении. Установлена достоверная положительная слабая взаимосвязь частоты альфа-диапазона с возрастом.
3. Установлено уменьшение представительства альфа-диапазона ЭЭГ в затылочных отведениях до 14–15%. Утрата доминирования альфа-ритма свидетельствует о нарушении баланса между процессами возбуждения и торможения в нейронных сетях.
4. Редукция частоты альфа-ритма и утрата его доминирования свидетельствует об изменении тормозной активности головного мозга и связанным с этим нарушением сенсорной обработки сигналов.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Информированное согласие на публикацию. Авторы получили письменное согласие пациентов на публикацию медицинских данных.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contribution. Thereby, all authors made a substantial contribution to the conception of the study, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the article, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the study.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Consent for publication. Written consent was obtained from the patient for publication of relevant medical information within the manuscript.

ЛИТЕРАТУРА

1. Berger H. Über das Elektroenzephalogramm des Menschen. V Eur Arch Psychiatry Clin Neurosci. 1933;98:231–254. DOI: 10.1007/bf01797193.



2. Lytaev S., Kipaytkov N., Navoenko T. Quantitative EEG Findings in Outpatients with Psychosomatic Manifestations after COVID-19. *Bioinformatics and biomedical engineering. Conference proceedings.* Springer Cham. 2023;13919:560–572.
3. Belskaya K., Lytaev S. Neural network dynamic centers of EEG alpha rhythm for objective assessment of the state of consciousness in psychopathological conditions. *Bioinformatics and biomedical engineering (IWBBIO 2024).* Cham. 2024;14848:277–228.
4. Poland E., Bhonsle A., Steinmann I., Wilke M. Reduced alpha amplitudes predict perceptual suppression. *Sci Rep.* 2021;11(1):13040. DOI: 10.1038/s41598-021-92404-8.
5. Meredith Weiss S., Marshall P.J. Anticipation across modalities in children and adults: Relating anticipatory alpha rhythm lateralization, reaction time, and executive function. *Dev Sci.* 2023;26(1):e13277. DOI: 10.1111/desc.13277.
6. Русалова М.Н. Альфа-ритм ЭЭГ человека при ожидании электрокожного стимула у лиц с различным темпераментом. Асимметрия. 2021;15(4):5–19. DOI: 10.25692/ASY.2021.15.4.001. EDN: UUDSFP.
7. Morrow A., Elias M., Samaha J. Evaluating the Evidence for the Functional Inhibition Account of Alpha-band Oscillations during Preparatory Attention. *J Cogn Neurosci.* 2023;35(8):1195–1211. DOI: 10.1162/jocn_a_02009.
8. Рогачев А.О., Сысоева О.В. Динамика теменно-затылочного альфа-ритма головного мозга при сравнении длительностей временных интервалов. Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. 2023;73(4):479–489. DOI: 10.31857/S0044467723030127. EDN: TTRFJC.
9. Melo H.M., Nascimento L.M., Hoeller A.A., Walz R., Takase E. Early alpha reactivity is associated with long-term mental fatigue behavioral impairments. *Appl Psychophysiol Biofeedback.* 2021;46(1):103–113. DOI: 10.1007/s10484-020-09475-y.
10. Коекина О.И. Альфа-стробирование сигналов в первичных сенсорных зонах коры мозга. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2022;7:33–39. DOI: 10.17513/mjpf.13410. EDN: RLLUIV.
11. Ali E.N., Lueck C.J., Martin K.L., Borbelj A., Maddess T. Photic drive response in people with epilepsy: Exploring the interaction with background alpha rhythm. *Vision Res.* 2025;228:108548. DOI: 10.1016/j.visres.2025.108548.
12. Zhang Y., Li Z., Xu H., Song Z., Xie P., Wei P., Zhao G. Neural mass modeling in the cortical motor area and the mechanism of alpha rhythm changes. *Sensors (Basel).* 2024;25(1):56. DOI: 10.3390/s25010056.
13. Александров А.М., Савокина О.В., Сизинцев М.И. О корреляции альфа-ритма и успешности обучения. Итоговая конференция военно-научного общества курсантов, студентов и слушателей Военно-медицинской академии имени С.М. Кирова. Материалы итоговой конференции. Санкт-Петербург, 19 апреля 2023 года. СПб.: Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова; 2023: 32–35. EDN: HTRHLY.
14. Michael E., Covarrubias L.S., Leong V., Kourtzi Z. Learning at your brain's rhythm: individualized entrainment boosts learning for perceptual decisions. *Cereb Cortex.* 2023;33(9):5382–5394. DOI: 10.1093/cercor/bhac426.
15. Schulz M., Wöstmann M. Time to get deep. *Elife.* 2024;13:e100755. DOI: 10.7554/eLife.100755.
16. Schneider D., Herbst S.K., Klatt L.I., Wöstmann M. Target enhancement or distractor suppression? Functionally distinct alpha oscillations form the basis of attention. *Eur J Neurosci.* 2022;55(11-12):3256–3265. DOI: 10.1111/ejn.15309.
17. Wise S., Huang-Pollock C., Pérez-Edgar K. Frontal alpha asymmetry in anxious school-aged children during completion of a threat identification task. *Biol Psychol.* 2023;179:108550. DOI: 10.1016/j.biopsycho.2023.108550.
18. Perone S., Vaughan A.M. Frontal alpha asymmetry dynamics: A window into active self-regulatory processes. *Biol Psychol.* 2024;193:108872. DOI: 10.1016/j.biopsycho.2024.108872.
19. Zhou Y.J., Iemi L., Schoffelen J.M., de Lange F.P., Haegens S. Alpha oscillations shape sensory representation and perceptual sensitivity. *J Neurosci.* 2021;41(46):9581–9592. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.1114-21.2021.
20. Mazza A., Dal Monte O., Schintu S., Colombo S., Michielli N., Sarasso P., Törlind P., Cantamessa M., Montagna F., Ricci R. Beyond alpha-band: The neural correlate of creative thinking. *Neuropsychologia.* 2023;179:108446. DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2022.108446.
21. Zebarjadi N., Levy J. Neural shifts in alpha rhythm's dual functioning during empathy maturation. *Brain Behav.* 2023;13(9):e3110. DOI: 10.1002/brb3.3110.
22. Klein A., Aeschlimann S.A., Zubler F., Scutelnic A., Riederer F., Ertl M., Schankin C.J. Alterations of the alpha rhythm in visual snow syndrome: a case-control study. *J Headache Pain.* 2024;25(1):53. DOI: 10.1186/s10194-024-01754-x.
23. Sahu P.K., Jain K. Schizophrenia diagnosis using the GRU-layer's alpha-EEG rhythm's dependability. *Psychiatry Res Neuroimaging.* 2024;344:111886. DOI: 10.1016/j.psychres.2024.111886.
24. Abgeena A., Garg S. A novel convolution bi-directional gated recurrent unit neural network for emotion recognition in multichannel electroencephalogram signals. *Technol Health Care.* 2023;31(4):1215–1234. DOI: 10.3233/THC-220458.
25. Stanojevic N., Fatic S., Jelacic L., Nenadovic V., Stokic M., Bilbajkic R., Subotic M., Boskovic Matic T., Konstantinovic L., Cirovic D. Resting-state EEG alpha rhythm spectral power in children with specific language impairment: a cross-sectional study. *J Appl Biomed.* 2023;21(3):113–120. DOI: 10.32725/jab.2023.013.
26. Babiloni C., Arakaki X., Baez S., Barry R.J., Benussi A. Alpha rhythm and Alzheimer's disease: Has Hans Berger's dream come true? *Clin Neurophysiol.* 2025;172:33–50. DOI: 10.1016/j.clinph.2025.02.256.
27. Del Percio C., Lizio R., Lopez S., Noce G., Carpi M. Resting-State EEG alpha rhythms are related to CSF tau biomarkers in prodromal Alzheimer's disease. *Int J Mol Sci.* 2025;26(1):356. DOI: 10.3390/ijms26010356.
28. Osaka M. Peak alpha frequency of EEG during a mental task: task difficulty and hemispheric differences. *Psychophysiology.* 1984;21(1):101–105. DOI: 10.1111/j.1469-8986.1984.tb02325.x.
29. Базанова О.М. Современная интерпретация альфа-активности ЭЭГ. Международный неврологический журнал. 2011;8(46):96–104. EDN: OXDTEB.



30. Kaiser D.A. Basic principles of quantitative EEG. *J Adult Develop.* 2005;12(2/3):99–104. DOI: 10.1007/s10804-005-7025-9.
31. Онищенко А.В., Мосягин И.Г. Волновая активность головного мозга у военных моряков в различных условиях профессиональной деятельности. *Экология человека.* 2008;08:49–53.
32. Angelakis E., Lubar J.F., Stathopoulou S., Kounios J. Peak alpha frequency: an electroencephalographic measure of cognitive preparedness. *Clin Neurophysiol.* 2004;115(4):887–897. DOI: 10.1016/j.clinph.2003.11.034.
33. Jin Y., O'Halloran J.P., Plon L., Sandman C.A., Potkin S.G. Alpha EEG predicts visual reaction time. *Int J Neurosci.* 2006;116(9):1035–1044. DOI: 10.1080/00207450600553232.
34. Начарова М.А., Махин С.А., Павленко В.Б. Особенности взаимосвязи между индивидуальной пиковой частотой альфа-ритма ЭЭГ и характеристиками общего интеллекта. Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. 2019;5(71)(2):32–144. EDN: ZXMXUD.
35. Зайчик А.Ш., Чурилов Л.П. Основы общей патологии. СПб.: ЭЛБИ; 2000. EDN: VPGVKL.
36. Чухловин А.А., Александров М.В., Лытаев С.А. и др. Условно-патологический альфа-паттерн как вариант ЭЭГ бодрствования при фармакорезистентной эпилепсии. *Педиатр.* 2017;8(4):48–56. DOI: 10.17816/PED8448-56.
37. Кипятков Н.Ю., Лытаев С.А., Дутов В. Б. Особенности расшифровки детской ЭЭГ — теория и реальность. *Медицина: теория и практика.* 2019;4 (Сборник трудов третьего национального конгресса с международным участием «Здоровые дети — будущее страны»): 249–250.
38. Зенков Л.Р., Клиническая электроэнцефалография (с элементами эпилептологии) : руководство для врачей. 4-е изд. М.: МЕДпресс-информ; 2011. EDN: QMAHKT.
39. Заболотных В.А., Команцев В.Н., Поворинский А.Г. Основы классической клинической электроэнцефалографии. СПб.: Ясный Свет; 2004. EDN: OUMINT.
40. Klimesch W. α -band oscillations, attention, and controlled access to stored information. *Trends Cogn Sci.* 2012;16(12):606–617. DOI: 10.1016/j.tics.2012.10.007.
5. Meredith Weiss S., Marshall P.J. Anticipation across modalities in children and adults: Relating anticipatory alpha rhythm lateralization, reaction time, and executive function. *Dev Sci.* 2023;26(1):e13277. DOI: 10.1111/desc.13277.
6. Rusalova M.N. Alpha rhythm of human EEG during anticipation of electrocutaneous stimulus in individuals with different temperaments. *Journal of asymmetry.* 2021;15(4):5–19. (In Russian). DOI: 10.25692/ASY.2021.15.4.001. EDN: UUDSFP.
7. Morrow A., Elias M., Samaha J. Evaluating the Evidence for the Functional Inhibition Account of Alpha-band Oscillations during Preparatory Attention. *J Cogn Neurosci.* 2023;35(8):1195–1211. DOI: 10.1162/jocn_a_02009.
8. Rogachev A.O., Sysoeva O.V. Dynamics of the parietal-occipital alpha rhythm of the brain when comparing the durations of time intervals. *Zhurnal Vysshei Nervnoi Deyatelnosti Imeni I.P. Pavlova.* 2023;73(4):479–489. (In Russian). DOI: 10.31857/S0044467723030127. EDN: TTRFJC.
9. Melo H.M., Nascimento L.M., Hoeller A.A., Walz R., Takase E. Early alpha reactivity is associated with long-term mental fatigue behavioral impairments. *Appl Psychophysiol Biofeedback.* 2021;46(1):103–113. DOI: 10.1007/s10484-020-09475-y.
10. Koekina O.I. Alpha-strobing of signals in the primary sensory zones of the cerebral cortex. *International Journal of Applied and Fundamental Research.* 2022;7:33–39. (In Russian). DOI: 10.17513/mjpf.13410. EDN: RLLUIV.
11. Ali E.N., Lueck C.J., Martin K.L., Borbelj A., Maddess T. Photoc drive response in people with epilepsy: Exploring the interaction with background alpha rhythm. *Vision Res.* 2025;228:108548. DOI: 10.1016/j.visres.2025.108548.
12. Zhang Y., Li Z., Xu H., Song Z., Xie P., Wei P., Zhao G. Neural mass modeling in the cortical motor area and the mechanism of alpha rhythm changes. *Sensors (Basel).* 2024;25(1):56. DOI: 10.3390/s25010056.
13. Aleksandrov A.M., Savokina O.V., Sizintsev M.I. O korrelyatsii al'fa-ritma i uspezhnosti obucheniya. Itogovaya konferentsiya voyenno-nauchnogo obshchestva kursantov, studentov i slushateley Voenno-meditsinskoy akademii imeni S.M. Kirova. Materialy itogovoy konferentsii. Saint Petersburg, 19 aprelya 2023 goda. Saint Petersburg: Military Medical Academy named after S.M. Kirov; 2023: 32–35. (In Russian). EDN: HTRHLY.
14. Michael E., Covarrubias L.S., Leong V., Kourtzi Z. Learning at your brain's rhythm: individualized entrainment boosts learning for perceptual decisions. *Cereb Cortex.* 2023;33(9):5382–5394. DOI: 10.1093/cercor/bhac426.
15. Schulz M., Wöstmann M. Time to get deep. *Elife.* 2024;13:e100755. DOI: 10.7554/eLife.100755.
16. Schneider D., Herbst S.K., Klatt L.I., Wöstmann M. Target enhancement or distractor suppression? Functionally distinct alpha oscillations form the basis of attention. *Eur J Neurosci.* 2022;55(11-12):3256–3265. DOI: 10.1111/ejn.15309.
17. Wise S., Huang-Pollock C., Pérez-Edgar K. Frontal alpha asymmetry in anxious school-aged children during completion of a threat identification task. *Biol Psychol.* 2023;179:108550. DOI: 10.1016/j.biopsycho.2023.108550.

REFERENCES

1. Berger H. Über das Elektroenzephalogramm des Menschen. *V Eur Arch Psychiatry Clin Neurosci.* 1933;98:231–254. DOI: 10.1007/bf01797193.
2. Lytaev S., Kipyatkov N., Navoenko T. Quantitative EEG Findings in Outpatients with Psychosomatic Manifestations after COVID-19. *Bioinformatics and biomedical engineering. Conference proceedings.* Springer Cham. 2023;13919:560–572.
3. Belskaya K., Lytaev S. Neural network dynamic centers of EEG alpha rhythm for objective assessment of the state of consciousness in psychopathological conditions. *Bioinformatics and biomedical engineering (IWBBIO 2024).* Cham. 2024;14848:277–228.
4. Poland E., Bhonsle A., Steinmann I., Wilke M. Reduced alpha amplitudes predict perceptual suppression. *Sci Rep.* 2021;11(1):13040. DOI: 10.1038/s41598-021-92404-8.



18. Perone S., Vaughan A.M. Frontal alpha asymmetry dynamics: A window into active self-regulatory processes. *Biol Psychol.* 2024;193:108872. DOI: 10.1016/j.biopsycho.2024.108872.
19. Zhou Y.J., Iemi L., Schoffelen J.M., de Lange F.P., Haegens S. Alpha oscillations shape sensory representation and perceptual sensitivity. *J Neurosci.* 2021;41(46):9581–9592. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.1114-21.2021.
20. Mazza A., Dal Monte O., Schintu S., Colombo S., Michielli N., Saraso P., Törlind P., Cantamessa M., Montagna F., Ricci R. Beyond alpha-band: The neural correlate of creative thinking. *Neuropsychologia.* 2023;179:108446. DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2022.108446.
21. Zebajadi N., Levy J. Neural shifts in alpha rhythm's dual functioning during empathy maturation. *Brain Behav.* 2023;13(9):e3110. DOI: 10.1002/brb3.3110.
22. Klein A., Aeschlimann S.A., Zubler F., Scutelnic A., Riederer F., Ertl M., Schankin C.J. Alterations of the alpha rhythm in visual snow syndrome: a case-control study. *J Headache Pain.* 2024;25(1):53. DOI: 10.1186/s10194-024-01754-x.
23. Sahu P.K., Jain K. Schizophrenia diagnosis using the GRU-layer's alpha-EEG rhythm's dependability. *Psychiatry Res Neuroimaging.* 2024;344:111886. DOI: 10.1016/j.pscychresns.2024.111886.
24. Abgeena A., Garg S. A novel convolution bi-directional gated recurrent unit neural network for emotion recognition in multichannel electroencephalogram signals. *Technol Health Care.* 2023;31(4):1215–1234. DOI: 10.3233/THC-220458.
25. Stanojevic N., Fatic S., Jelcic L., Nenadovic V., Stokic M., Bilibajkic R., Subotic M., Boskovic Matic T., Konstantinovic L., Cirovic D. Resting-state EEG alpha rhythm spectral power in children with specific language impairment: a cross-sectional study. *J Appl Biomed.* 2023;21(3):113–120. DOI: 10.32725/jab.2023.013.
26. Babiloni C., Arakaki X., Baez S., Barry R.J., Benussi A. Alpha rhythm and Alzheimer's disease: Has Hans Berger's dream come true? *Clin Neurophysiol.* 2025;172:33–50. DOI: 10.1016/j.clinph.2025.02.256.
27. Del Percio C., Lizio R., Lopez S., Noce G., Carpi M. Resting-State EEG alpha rhythms are related to CSF tau biomarkers in prodromal Alzheimer's disease. *Int J Mol Sci.* 2025;26(1):356. DOI: 10.3390/ijms26010356.
28. Osaka M. Peak alpha frequency of EEG during a mental task: task difficulty and hemispheric differences. *Psychophysiology.* 1984;21(1):101–105. DOI: 10.1111/j.1469-8986.1984.tb02325.x.
29. Bazanova O.M. Modern interpretation of EEG alpha activity. *International Neurological Journal.* 2011;8(46):96–104. (In Russian). EDN: OXDTEB.
30. Kaiser D.A. Basic principles of quantitative EEG. *J Adult Develop.* 2005;12(2/3):99–104. DOI: 10.1007/s10804-005-7025-9.
31. Onishchenko A.V., Mosyagin I.G. Brain wave activity in naval sailors under various conditions of professional activity. *Ekologiya cheloveka.* 2008;08:49–53. (In Russian).
32. Angelakis E., Lubar J.F., Stathopoulou S., Kounios J. Peak alpha frequency: an electroencephalographic measure of cognitive preparedness. *Clin Neurophysiol.* 2004;115(4):887–897. DOI: 10.1016/j.clinph.2003.11.034.
33. Jin Y., O'Halloran J.P., Plon L., Sandman C.A., Potkin S.G. Alpha EEG predicts visual reaction time. *Int J Neurosci.* 2006;116(9):1035–1044. DOI: 10.1080/00207450600553232.
34. Nacharova M.A., Makhin S.A., Pavlenko V.B. Features of the relationship between the individual peak frequency of the EEG alpha rhythm and the characteristics of general intelligence. *Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry.* 2019;5(71)(2):32–144. (In Russian). EDN: ZMXUD.
35. Zaychik A.Sh., Churilov L.P. *Fundamentals of General Pathology.* Saint Petersburg: ELBI; 2000. (In Russian). EDN: VPGVKL.
36. Chuklovin A.A., Aleksandrov M.V., Lytaev S.A. et al. Conditionally pathological alpha pattern as a variant of EEG of wakefulness in drug-resistant epilepsy. *Pediatrician.* 2017;8(4):48–56. (In Russian). DOI: 10.17816/PED8448-56.
37. Kipyatkov N.YU., Lytayev S.A., Dutov V. B. Osobennosti rasshifrovki detskoy EEG — teoriya i real'nost'. *Meditcina: teoriya i praktika.* 2019;4 (Sbornik trudov tret'yego natsional'nogo kongressa s mezhdunarodnym uchastiyem "Zdorovyye deti — budushcheye strany"): 249–250. (In Russian).
38. Zenkov L.R., *Clinical electroencephalography (with elements of epileptology).* 4th ed. Moscow: MEDpress-inform; 2011. (In Russian). EDN: QMAHKT.
39. Zabolotnykh V.A., Komancev V.N., Povorinsky A.G. *Fundamentals of classical clinical electroencephalography.* Saint Petersburg: Yasnyy Svet; 2004. (In Russian). EDN: OUMINT.
40. Klimesch W. α -band oscillations, attention, and controlled access to stored information. *Trends Cogn Sci.* 2012;16(12):606–617. DOI: 10.1016/j.tics.2012.10.007.