

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1317

EDN: EGAJXT

УДК 612.821.3:159.99



Научная статья

БИОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ МОЗГА СТУДЕНТОВ ПРИ КОГНИТИВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕНИЯ ВРЕМЕНИ

*Н.В. Звягина, А.И. Талева, К.В. Новоселова,
А.С. Черкасова, Т.Ч. Чанг, Н.В. Попов*

Аннотация

Обоснование. Когнитивная деятельность с ограничением времени расценивается как деятельность в условиях стресса. Студенты в процессе обучения часто сталкиваются с необходимостью решать учебные задачи в сжатые сроки. Исследование БЭА мозга по параметрам спектральной мощности основных ритмов ЭЭГ студентов и успешности когнитивной деятельности в условиях цейтнота дополнит представления о нейрофизиологических механизмах реализации такой деятельности, позволит выявить ЭЭГ корреляты поискового чтения с ограничением времени.

Цель. Изучить биоэлектрическую активность мозга студентов при когнитивной деятельности с ограничением времени.

Материалы и методы. Обследовано 30 студентов САФУ имени М.В. Ломоносова (средний возраст 19 лет). Исследовали БЭА головного мозга студентов в состоянии спокойного бодрствования с открытыми глазами, при когнитивной деятельности без и с ограничением времени с фиксацией успешности выполнения когнитивных задач. Анализ БЭА головного мозга студентов проводили по параметрам средней спектральной мощности основных ритмов ЭЭГ при помощи программы Brainstorm.

Результаты. При поисковом чтении, независимо от условий, наблюдаются специфические для данной функции изменения СМ основных ритмов ЭЭГ, которые усиливаются при деятельности с ограничением времени. Такие изменения БЭА головного мозга сопровождают увеличение скорости выполнения когнитивного задания (в пределах 10-20%) и рост количества ошибок в 2,5 раза.

Заключение. Выявленные изменения БЭА мозга маркируют более напряжённую когнитивную деятельность в условиях цейтнота и эмоциональный компонент в ответ на стресс.

Ключевые слова: когнитивная деятельность; биоэлектрическая активность; спектры мощности основных ритмов ЭЭГ; электроэнцефалограмма; ограничение времени; стресс

Для цитирования. Звягина, Н. В., Талеева, А. И., Новоселова, К. В., Черкасова, А. С., Чанг, Т. Ч., & Попов, Н. В. (2025). Биоэлектрическая активность мозга студентов при когнитивной деятельности в условиях ограничения времени. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(6-1), 51-75. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1317>

Original article

BIOELECTRICAL BRAIN ACTIVITY IN STUDENTS DURING COGNITIVE ACTIVITY UNDER TIME LIMITATION

*N.V. Zvyagina, A.I. Taleeva, K.V. Novoselova,
A.S. Cherkasova, T.C. Chang, N.V. Popov*

Abstract

Background. Time-constrained cognitive activity is regarded as activity under stress. Students in the educational process often face the need of solving learning tasks in a short time. The study of bioelectrical brain activity according to the parameters of spectral power of the main EEG rhythms in students and success of cognitive activity in conditions of time pressure will contribute to the understanding of neurophysiological mechanisms of performing such activity, will allow to reveal EEG correlates of search reading with time constraint.

Purpose. Studying of the bioelectrical activity of students' brain during cognitive activity with time limitation.

Materials and methods. 30 students of Northern (Arctic) federal university named after M.V. Lomonosov (average age 19 y.o.) were examined. The bioelectrical activity of the students' brain was investigated in the state of quiet wakefulness with open eyes, during cognitive activity without and with time limitation with fixation of success rate of cognitive tasks performance. The bioelectrical activity of the students' brain was analyzed by the parameters of the average spectral power of the main EEG rhythms using the Brainstorm program.

Results. During search reading regardless of the conditions function-specific changes in the spectral power of the main EEG rhythms are observed, which intensify during time-limited activity. Such changes in brain activity accompany an increase in the speed of cognitive task performance (within 10-20%) and a 2.5 rise in the number of errors.

Conclusion. The observed changes in bioelectrical brain activity mark more intense cognitive activity in conditions of time pressure and emotional component in response to stress.

Keywords: cognitive activity; bioelectrical brain activity; spectral power of the main EEG rhythms; electroencephalogram; time limitation; stress

For citation. Zvyagina, N. V., Taleeva, A. I., Novoselova, K. V., Cherkasova, A. S., Chang, T. C., & Popov, N. V. (2025). Bioelectrical brain activity in students during cognitive activity under time limitation. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(6-1), 51-75. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-6-1-1317>

Введение

В условиях информационной перегруженности особое значение имеют исследования эффективности когнитивной деятельности в условиях цейтнота. Известно, что дефицит времени, оценивается как стресс-фактор, который можно рассматривать в качестве дополнительной нагрузки, вызывающей напряжение в работе многих физиологических систем организма, в том числе и головного мозга [3; 26]. Временные ограничения могут привести к снижению качества выполнения задач, повышению уровня стресса, изменению стратегий обработки информации [2; 7]. В таких условиях мозговая деятельность приобретает особое значение, поскольку от этого зависит способность быстро принимать решения и решать задачи, эффективно использовать имеющиеся физиологические ресурсы.

В данной парадигме весьма оправданным является использование методов регистрации биоэлектрической активности головного мозга в процессе когнитивной деятельности с ограничением времени. Современные исследования в данном направлении охватывают некоторые аспекты влияния временных ограничений на процессы внимания, памяти, принятие решений, когнитивный контроль [14; 20]. В частности, выявлено, что представители с высокой активностью префронтальной коры лучше справляются с заданиями в условиях дефицита времени. Префронтальная кора играет ключевую роль в контроле внимания, рабочей памяти и принятии решений [22; 24]. Именно эта область мозга подвергается наибольшей нагрузке при когнитивной деятельности в условиях ограничения времени.

В реализации разных когнитивных функций ключевую роль играют нейронные ансамбли коры головного мозга, активность которых маркируют осцилляции основных ритмов ЭЭГ. Однако локализация изменений биоэлектрической активности (БЭА) при поисковом чтении в условиях цейтнота, как именно эмоции и стресс связаны со спектральными характеристиками ЭЭГ требуют дальнейших исследований. Интересна связь этих изменений с параметрами эффективности деятельности. Подобные исследования позволят дополнить представления о нейрофизиологических особенностях поисковой когнитивной деятельности в условиях лимита времени, о процессах адаптации мозга к таким стрессовым воздействиям, об эффектах временного ограничения на точность и скорость решения когнитивной задачи.

Цель исследования – изучить биоэлектрическую активность мозга студентов при когнитивной деятельности с ограничением времени.

Методика и метод исследования

В исследовании участвовали 30 студентов Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова (средний возраст $19 \pm 0,5$ лет, по 15 человек в каждой половой группе). На момент обследования участники отмечали физическое, психическое и социальное благополучие. Критериями исключения были такие факторы, как наличие в анамнезе хронических заболеваний, психических расстройств, черепно-мозговых травм, приём лекарственных препаратов. Исследование проводили с соблюдением принципов Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации 2024 г. при наличии письменного информированного согласия на участие в исследовании и после предварительного ознакомления с процедурой исследования. Факторы, способные повлиять на результаты исследования, были сведены к минимуму: обследование осуществлялось вне периода сессии, в первой половине дня, индивидуально, в специально оборудованном кабинете, изолированном от постороннего шума.

Исследовали БЭА головного мозга студентов при когнитивной деятельности в двух временных режимах с фиксацией успешности выполнения когнитивных задач. ЭЭГ записывали в трех состояниях: фоновое состояние с открытыми глазами при визуальной фиксации точки на экране монитора (не менее 120 сек); 1-я функциональная проба (1-я серия стимулов) – решение когнитивной задачи без ограничения времени; 2-я функциональная проба (2-я серия стимулов) – решение когнитивной задачи с ограничением времени (по 120 секунд).

Когнитивная деятельность заключалась в поиске и подсчете определенной буквы в предложении в разных временных режимах – без ограничения времени и в условиях временного лимита. В качестве стимульного материала в обоих пробах использовали повествовательные предложения, отобранные генератором случайных предложений из русской литературы. Стимульный материал не содержал иностранные буквы и слова, устаревшую лексику. Количество слов во всех предложениях находилось в диапазоне 11–13, не включая предлоги и местоимения, количество слогов в каждом слове не превышало 5. В качестве поисковых букв использовали набор конкретных букв (16), который в случайном порядке чередовался. Общее количество слайдов с предложениями в обеих сериях составляло 50 (по 25 слайдов с заданиями на каждую серию). Общее количество поисковых букв на каждом слайд варьировалось от 1 до 4. В отобранных предложениях отсутствовали слова с надстрочными (буква «Й») и подстрочными буквенными знаками (буквы «Ц», «Щ», «Д») в качестве поисковых, поскольку такие буквы быстрее дифференцируются и различаются в процессе зрительного восприятия текста, что упрощает когнитивную задачу [8]. Задание 1-й функциональной пробы студенты выполняли в произвольном темпе, при этом при обработке результатов учитывали объем заданий, выполненных за 120 сек – было скрытое ограничение по времени, о котором обследуемый не был проинформирован. Выполнение заданий серии 2 осуществляли с ограничением по времени – 120 секунд, о чем обследуемые были проинформированы и могли отслеживать оставшееся время по таймеру на экране монитора. Смену предложений осуществляли после озвучивания количества искомого буквы. Для устранения эффекта утомления между сериями был сделан 2-х минутный перерыв. Фиксировали объем выполненного задания и ошибки для оценки эффективности решения когнитивной задачи.

ЭЭГ регистрировали электроэнцефалографом «Neuroscor-416» (НПФ Биола). Электроды размещали в соответствии с международной схемой «10–20», использовали 19 активных электродов и 2 референтных ушных электрода (Fp1, Fp2, F3, F4, F7, F8, Fz, C3, C4, Cz, P3, P4, Pz, O1, O2, T3, T4, T5, T6; рис.1–IV) [28].

Анализ БЭА головного мозга студентов проводили с учетом изменений частотно-амплитудных параметров основных ритмов ЭЭГ при помощи программы Brainstorm (Mat Lab R2010a). Из ЭЭГ в фоновом состоянии и при когнитивной деятельности в разных временных условиях с помощью метода независимых компонент, удаляли артефакты и помехи с со-

хранением значимой части ЭЭГ сигнала. В качестве модели, отражающей топографическое строение коры больших полушарий, использовали стандартный анатомический шаблон ICBM152 anatomy. Выделение структур и цитоархитектонических полей Бродмана, на которых были выявлены максимальные статистически значимые различия спектральной мощности (СМ) усредненного ритма, осуществляли с помощью системы координат Монреальского неврологического института (MNI). Математическую обработку полученных данных осуществляли на основе расчета средней спектральной мощности по методу Уэлча, эпоха анализа составила 4 секунды с перекрытием 50%. Полученные значения данного показателя переводили в относительные величины для диапазонов частот тета (4-8 Гц), альфа (8-13 Гц) и бета (13-30 Гц) ритмов.

Статистический анализ полученных данных осуществляли в программе IBM SPSS Statistics 22.0. Все изучаемые показатели проходили процедуру проверки на нормальность распределения с применением критерия Шапиро-Уилка. Было установлено, что распределение выборки не является нормальным, в связи с этим далее использовали непараметрические критерии. Оценка достоверности отличий параметров ЭЭГ и успешности выполнения когнитивной задачи студентами в разных временных режимах проводили с использованием непараметрического критерия знаковых рангов Уилкоксона. Статистически значимыми считали отличия при величине вероятности ошибочного принятия нулевой гипотезы $p < 0,05$.

При сравнении изучаемых параметров с учётом пола статистически значимых отличий не было обнаружено, в связи с чем далее будут представлены общие данные по выборке.

Результаты исследования

Результаты эффективности решения когнитивной задачи студентами в разных временных условиях (по количеству допущенных ошибок и объёму выполненного задания) представлены в таблице 1. Анализ данных показал, что временные ограничения при поисковом чтении влияют на успешность его выполнения. У всех представителей при введении временного лимита количество ошибок увеличилось более чем в 2,5 раза, объём выполненного задания также достоверно увеличился (табл. 1).

Анализ биоэлектрической активности головного мозга при когнитивной деятельности по сравнению с фоновым состоянием выявил статистически значимые изменения спектров мощности ритмических составляющих ЭЭГ функционально значимых областей (рисунок 1, I-III).

Таблица 1.

**Успешность выполнения когнитивной задачи студентами
в разных временных условиях**

N	Условия выполнения задания	Количество ошибок Me (Q1;Q3)	P	Объем выполненного задания – количество предложений? Me (Q1;Q3)	P
1	Без ограничения времени	1,5 (0,0; 2,2)	0,0001	10,0 (8,7; 12,0)	0,0001
2	С ограничением времени	4,0 (3,0; 6,0)		12,0 (10,0; 14,0)	

Примечание: P - отличия статистически значимые отличия в ситуациях с/ без ограничения времени.

Наблюдалось повышение спектральной мощности тета-ритма в районе лобных извилин и затылочной коры (рис. 1-I). Максимальные значения CM зафиксированы в треугольной области нижней лобной извилины сорок пятого поля по Бродману, в правом (координаты MNI 56; 31; -1) и в левом (координаты MNI -57; 34; 1) полушариях головного мозга. Также максимальные изменения CM этого ритма выявлены в латерально-затылочной борозде правой вторичной зрительной области восемнадцатого (18) поля по Бродману, (координаты MNI 22, -105, -2).

При когнитивной деятельности в произвольном темпе по сравнению фоновым состоянием выявлено снижение CM альфа-ритма (рис. 1-II). Максимальное снижение зафиксировано в первичной соматосенсорной области постцентральной извилины первого (1) поля по Бродману правого (координаты MNI 12; -38; 82) и левого (координаты MNI -10; -37; 81) полушарий головного мозга; первичной моторной коре верхних отделов теменной доли постцентральной извилины седьмого поля по Бродману правого (координаты MNI 8; -78; 54) и левого (координаты MNI -10; -79; 57) полушарий; в зрительной области затылочной доли верхней теменной извилины девятнадцатого (19) поля по Бродману правого (координаты MNI 12; -94; 31) и левого (координаты MNI -7; -101; 19) полушарий; в латерально-затылочной борозде левой вторичной зрительной области восемнадцатого (18) поля по Бродману (координаты MNI -30; -101; -5); в средней височной извилине левого полушария двадцать первого (21) поля по Бродману (координаты MNI -71; -25; -13) (рис. 1-II).

Когнитивная деятельность в обычных временных условиях сопровождалась снижением CM бета-ритма в постцентральной и теменной извилинах (рис. 1-III). Максимальное снижение CM зарегистрировано в первичной соматосенсорной области первого поля по Бродману правого (координаты

MNI 12; -38; 82) и левого (координаты MNI -5; -33; 77) полушарий головного мозга; в первичной моторной коре теменной доли седьмого поля по Бродману правого (координаты MNI 6; -86; 41) и левого (координаты MNI -8; -80; 52) полушарий головного мозга, а также в зрительной области затылочной доли девятнадцатого (19) поля по Бродману правого (координаты MNI 12; -94; 31) и левого (координаты MNI -7; -101; 19) полушарий головного мозга.

Поскольку дефицит времени, оценивается как стресс-фактор, логично предположить, что когнитивная деятельность в условиях цейтнота будет сопровождаться изменениями биоэлектрической активности отделов головного мозга, ответственных за реализацию поискового чтения и в структурах, которые активируются в стрессовых условиях.

При деятельности в условиях лимита времени наблюдалось локальное повышение спектральной мощности тета-ритма в лобных и затылочных участках коры больших полушарий головного мозга (рисунок 2-1). Максимальные значения зарегистрированы в правой вторичной зрительной области восемнадцатого (18) поля по Бродману (координаты MNI 26; -102; -1), а также в треугольной части сорок пятого поля по Бродману, в правом полушарии головного мозга (координаты MNI 58; 32; 3). При когнитивной деятельности с ограничением времени зафиксировано снижение СМ альфа-ритма, топографически совпадающее с изменениями при когнитивной деятельности без ограничения времени (рис. 2- II).

Наибольшие изменения СМ при деятельности в условиях ограничения времени коснулись бета ритма (рис. 2 – III). Отмечено усиление СМ бета-ритма в латерально–затылочной борозде правой вторичной зрительной области 18 поля по Бродману (координаты MNI 21; -104; -3).

Наиболее информативным в отношении изменений ритмической активности мозга при когнитивной деятельности в разных временных условиях является сравнение показателей БЭА головного мозга при поисковом чтении без и с ограничением времени. Такое сравнение позволит выявить изменения БЭА головного мозга, связанные с ускорением деятельности и эмоциональным (стрессовым) компонентом в ситуации временного лимита. На энцефалограммах мозга отчетливо видны достоверные изменения (увеличение) СМ по всем изучаемым ритмам ЭЭГ (рис.3).

При деятельности в условиях ограничения времени по сравнению с работой без ограничения времени наблюдалось увеличение СМ тета-ритма в первичной соматосенсорной области первого поля по Бродману правого полушария головного мозга (координаты MNI 20; -22; 77), в первичной моторной коре верхних отделов теменной доли седьмого поля по Бродману правого полушария головного мозга (координаты MNI 15; -22; 79) (рис.3-1)

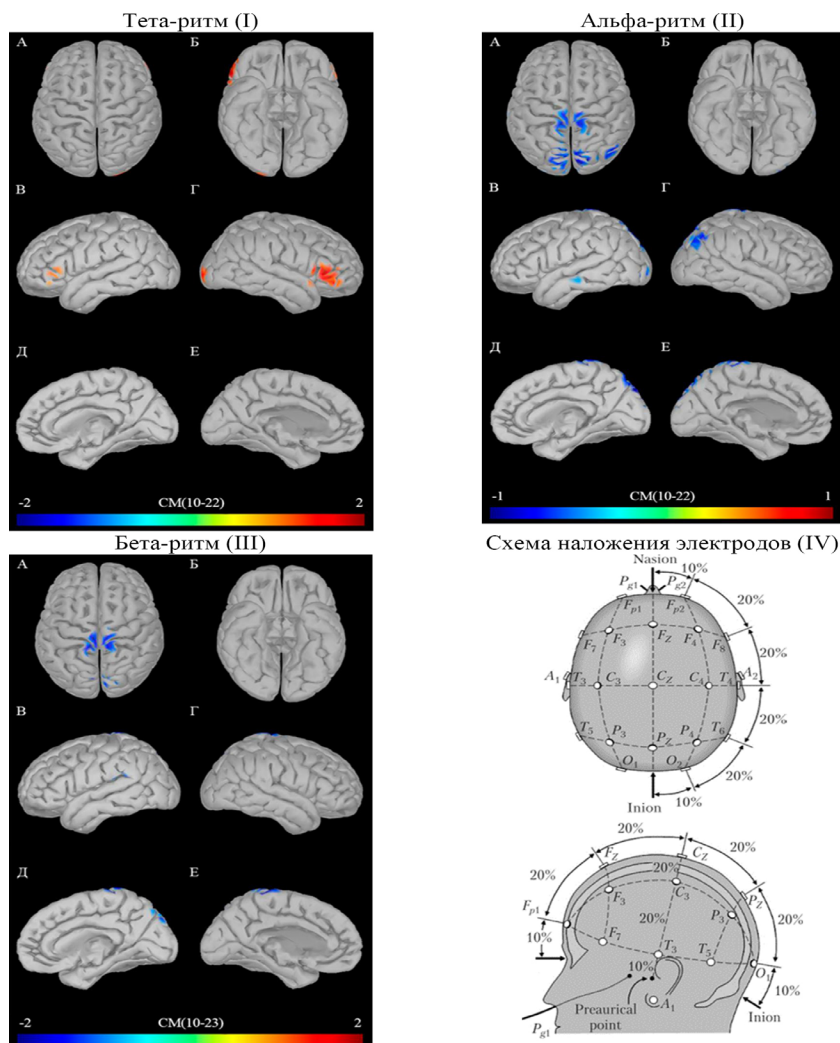


Рис. 1. Изменения спектральной мощности ритмов ЭЭГ студентов при выполнении когнитивной задачи без ограничения времени по сравнению с фоновым состоянием.

Примечание: А – вид сверху обеих полушарий головного мозга; Б – вид снизу обеих полушарий головного мозга; В – вид сбоку левого полушария мозга; Г – вид сбоку правого полушария мозга; Д и Е – вид изнутри в разрезе левого и правого полушарий мозга. Цветная шкала отражает величину спектральной мощности ритмов (синий – минимальные значения, красный – максимальные).

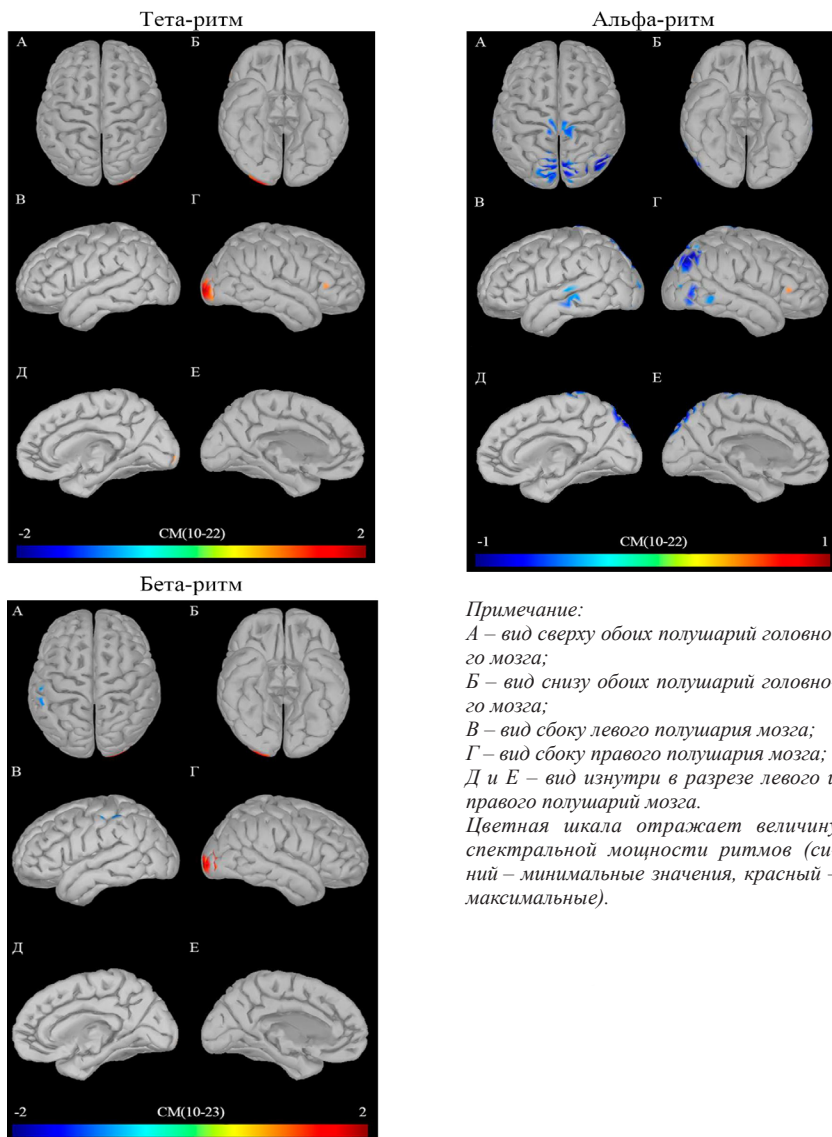


Рис. 2. Изменения спектральной мощности ритмов ЭЭГ студентов при выполнении когнитивной задачи с ограничением времени по сравнению с фоновым состоянием.

Относительно альфа-ритма отмечается достоверное увеличение СМ в латерально-затылочной борозде левой вторичной зрительной области восемнадцатого поля по Бродману (координаты MNI -49; -86; 1) (рисунок 3-II).

Изменение показателей СМ бета-ритма отражено на рисунке 3-III. Достоверное усиление СМ бета ритма при поисковом чтении с ограничением времени по сравнению с деятельностью в произвольном темпе зафиксировано в латерально-затылочной борозде, угловой и затылочной извилине: во вторичной зрительной области восемнадцатого поля по Бродману правого (координаты MNI 54; -75; -1) и левого (координаты MNI -51; -82; -2) полушарий головного мозга; в теменной доле (часть области Вернике тридцать девятого поля по Бродману левого полушария (координаты MNI -46; -79; 35); в средней височной извилине двадцать первого поля по Бродману правого (координаты MNI 66; -56; 6) и левого (координаты MNI -65; -59; 1) полушарий головного мозга.

Обсуждение

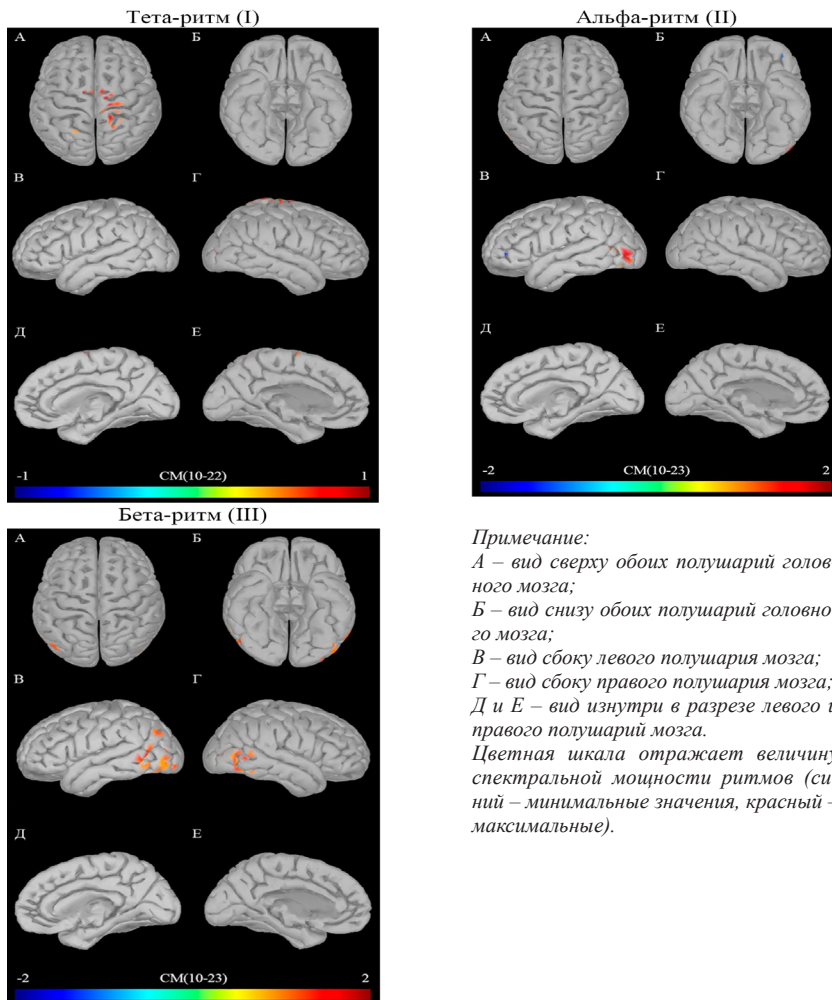
Как показало исследование успешности выполнения когнитивного задания, временные ограничения и визуализация оставшегося времени в виде активного таймера с отсчетом оставшегося времени являются мотивирующим фактором для увеличения скорости/объема решения когнитивной задачи, однако качество выполнения значительно снижается.

Любая когнитивная деятельность сопровождается изменениями БЭА мозга по сравнению с фоном. При поисковом чтении в произвольном ритме выявлены изменения СМ тета-, альфа- и бета-ритмов в специфических для данной деятельности областях полушарий головного мозга.

СМ тета-осцилляций достоверно увеличиваются в речевой и зрительной зонах. Известно, что тета-ритм связан с реализацией когнитивных функций и отражает рабочее напряжение человека, готовность к выполнению задания, повышенный уровень внимания. В научной литературе описаны изменения мощности тета-ритма в 45 поле при осуществлении лексического поиска и принятия лексических решений. Изменения параметров БЭА тета-ритма с такой локализацией связывают с процессом извлечения слов из памяти.

Таким образом, решение поисковой задачи при чтении предложений ожидаемо сопровождается активностью в речевых центрах коры. Статистически значимые изменения параметров спектральной мощности тета-ритма в зрительной зоне коры полушарий головного мозга ожидаемы при восприятии текстовой зрительной информации, поскольку функционально данная область коры связана с формированием зрительного образа и его пространственным расположением [16]. Также можно предположить, что появление

медленных тета-волн при выполнении задания (столкновение с новым, несогласование) вызвано необходимостью формирования поведенческой адаптации нового типа, что сопровождается повышенной эмоциональностью и увеличением вклада низкодифференцированных систем [4; 6].



Примечание:

А – вид сверху обеих полушарий головного мозга;

Б – вид снизу обеих полушарий головного мозга;

В – вид сбоку левого полушария мозга;

Г – вид сбоку правого полушария мозга;

Д и Е – вид изнутри в разрезе левого и правого полушарий мозга.

Цветная шкала отражает величину спектральной мощности ритмов (синий – минимальные значения, красный – максимальные).

Рис. 3. Изменения спектральной мощности ритмов ЭЭГ студентов при выполнении когнитивной задачи с ограничением времени по сравнению с когнитивной деятельностью без временного ограничения.

Снижение СМ альфа-ритма при решении когнитивной задачи без ограничения времени по сравнению с фоном свидетельствует о депрессии ритма покоя в специфических для изучаемой когнитивной деятельности участках коры больших полушарий головного мозга, вероятно, ослабление мощности альфа-диапазона освобождает необходимые для решения задачи области от торможения [10]. Известно, что снижение СМ альфа-ритма в первичной соматосенсорной области связано с получением и интерпретацией информации, которая исходит в том числе от орофациальной мускулатуры. При чтении про себя могут проявляться непроизвольные микродвижения артикуляционных мышц, которые активизируют соматосенсорную область и угнетают альфа-ритм [1]. Снижение СМ альфа-ритма в зрительных областях связано с повышенной нагрузкой при распознавании зрительного образа – при поисковом чтении осуществляется анализ формы, распознавание и различение букв. Участки зрительной ассоциативной коры, локализованной в височной доле, также вовлечены в обработку визуальной информации (поле 21 в средней височной извилине) [9; 12; 24]

Как показали наши исследования, когнитивная деятельность в обычных временных условиях сопровождалась снижением СМ бета-ритма в постцентральной и теменной извилинах. Известно, что бета-ритм является маркером активной когнитивной деятельности, концентрации внимания и процессов памяти [17]. В нашем случае наблюдалось снижение СМ бета активности. Возможно, в состоянии спокойного бодрствования с открытыми глазами (фоновое состояние) мозг находится в состоянии ожидания, поддерживая общий уровень активации мозга и диффузное внимание, что и маркируется бета ритмом, а при когнитивной деятельности происходит ингибирование фоновых процессов, в том числе бета активности, и перераспределение ресурсов мозга для выполнения когнитивной задачи [15].

При введении ограничивающего временного фактора в процессе поискового чтения по сравнению с фоновым состоянием, также были зафиксированы изменения СМ тета-, альфа- и бета-ритмов с разной направленностью, локализацией и интенсивностью. Топографически увеличение СМ тета-ритма и снижение СМ альфа-ритма задевают те же участки коры головного мозга, что и при деятельности без временных ограничений, но данные изменения стали более локальны и по тета-ритму смещены в правое полушарие.

Наибольшие изменения СМ при деятельности в условиях ограничения времени коснулись бета-ритма в полях 18 и 19 по Бродману. Вторичные зрительные области (поля 18 и 19) обеспечивают более активную и пол-

ную оценку зрительной информации. Поле 18 также именуется как центр восприятия письменной речи. При выполнении когнитивной задачи с ограничением времени по сравнению с фоном, несомненно, увеличивается нагрузка на зрительный анализатор [16].

Сравнение ритмической активности мозга при когнитивной деятельности в разных временных условиях выявило изменения БЭА головного мозга, связанные с эмоциональным (стрессовым) компонентом в ситуации временного лимита. СМ по всем изучаемым ритмам ЭЭГ имели достоверное увеличение.

Усиление осцилляций СМ тета-ритма наблюдалось в первичной соматосенсорной и моторной коре правого полушария головного мозга. Активацию тета-ритма традиционно связывают с деятельностью гиппокампа и активацией лобной коры [5; 27]. В процессе деятельности с ограничением времени увеличивается нагрузка на оперативную память, что и вызывает рост СМ тета-ритма. При интенсивном использовании процессов памяти такие изменения могут наблюдаются и в других областях коры головного мозга. Локализация их в теменной коре и постцентральной извилине, вероятно, связана с обработкой сенсорной информации и активацией внимания. Известно, что при усложнении задачи или/и условий ее выполнения тета-активность усиливается, особенно если когнитивная деятельность требует длительного поддержания внимания. Также определенное значение имеют и лимитирующие факторы – ограничение времени работает как стресс-фактор. Выявлено, что в этих условиях происходит выделение кортизола и перераспределение мозговой активности, в том числе по тета-ритму. Смещение этих изменений в правое полушарие связано с его большей чувствительностью к стрессовым воздействиям. Кроме того, повышение мощности тета-ритма в правополушарных отведениях характерно при переходе от решения образных и пространственных к решению вербальных задач. Правое полушарие специализируется на обработке информации, которая выражается не в словах, а в символах и образах. Вероятно, большее увеличение мощности тета-ритма в правом полушарии связано с активностью процессов внимания, так как обследуемый пытался различить, дифференцировать букву на время [21; 22].

Увеличение СМ альфа-ритма при поисковом чтении с ограничением времени по сравнению с аналогичной деятельностью в произвольном ритме зафиксировано в латерально-затылочной борозде левого полушария. Как известно, альфа-ритм – это ритм спокойного бодрствования с закрытыми глазами. Наличие альфа-ритма при регистрации ЭЭГ наблюдается

в тех областях, которые не занимаются активно обработкой информации в данный момент времени. Однако, увеличение СМ альфа-ритма с данной локализацией может быть связано с концентрацией внимания при более напряженной когнитивной деятельности, что соответствует условиям выполнения поискового чтения с ограничением времени. Локализация этих изменений слева связана со спецификой деятельности – левое полушарие ответственно за вербальные функции (включая чтение и распознавание букв). Кроме того, усиление представленности альфа-ритма связывают с компенсаторными процессами в мозге при деятельности в условиях стресса: повышение торможения посторонних сигналов через альфа-активность для оптимизации работы отделов мозга, ответственных за поисковое чтение в условиях цейтнота [15; 18].

Достоверное усиление СМ бета-ритма при поисковом чтении с ограничением времени по сравнению с деятельностью в произвольном темпе зафиксировано в латерально-затылочной борозде, угловой и затылочной извилин: во вторичной зрительной области правого и левого полушарий головного мозга; в теменной доле левого полушария и в средней височной извилине правого и левого полушарий головного мозга. Увеличение мощности бета-частот в ЭЭГ указанных областей головного мозга связано с их участием в регуляции уровня бодрствования и внимания, анализе зрительной информации и процессах «категоризации», реакциях на новые стимулы. Все эти процессы активируются не только деятельностью, но и стрессовыми условиями: ограничение времени стимулирует активацию когнитивной деятельности для быстрого выполнения задачи, что сопровождается усилением СМ бета ритма и приводит к более эффективному использованию доступных ресурсов мозга [4, 18] Повышение спектральной мощности бета-ритма в затылочной области, несомненно, связано с возрастающей активностью зрительного анализатора. Одна часть данного центра является проекционной зоной, а другая обеспечивает зрительное ориентирование в пространстве, а также хранение и распознавание уже известных зрительных образов. Повышение СМ бета-ритма в 39-ом поле по Бродману связано с различением письменной речи. Так, например, при повреждении нижней теменной доли сохраняется зрение, но теряется способность читать (алексия), т. е. анализировать написанные буквы и слагать из них слова и фразы [11]. Также имеются сведения об ингибиторной роли бета-ритма при поисковой когнитивной деятельности: бета-активность растет в специфических для данной деятельности областях полушарий головного мозга, исключая влияние на активность мозга

второстепенных деталей, что позволяет сосредоточиться на решении основной задачи [29]. Характерным признаком проявления бета-активности является и состояние настороженности, волнения при интенсивной умственной деятельности, например, в условиях ограничения времени. Кроме того, эта-избыточность может привести к чрезмерной активации нервных структур и снижению концентрации внимания и эффективности когнитивной деятельности [13].

Заключение

При выполнении поискового задания в процессе чтения, независимо от условий, наблюдаются специфические для данной функции изменения СМ основных ритмов ЭЭГ, которые усиливаются при деятельности с ограничением времени, маркируя тем самым более напряжённую когнитивную деятельность, сопровождаемую эмоциональным компонентом в ответ на стресс. Тета-осцилляции при данной деятельности выражены в первичной соматосенсорной области и в первичной моторной коре верхних отделов теменной доли правого полушария головного мозга; альфа – в латерально-затылочной борозде левой вторичной зрительной области; бета – в латерально-затылочной борозде, угловой и затылочной извилин. Такие изменения БЭА головного мозга сопровождают увеличение скорости выполнения когнитивного задания (в пределах 10-20%), но при этом количество ошибок возрастает в 2,5 раза. Очевидно, что деятельность в условиях цейтнота увеличивает нагрузку на рабочую память, перегружая когнитивные ресурсы мозга, интенсифицирует БЭА головного мозга в ответ на стресс, снижая точность выполнения задания.

Заключение комитета по этике. Исследование было проведено в соответствии с принципами положения Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (Declaration of Helsinki, and approved by the Institutional Review Board).

Информированное согласие. Информированное согласие было получено от всех субъектов, участвовавших в исследовании».

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Гуляев, С. А. (2021). Электроэнцефалография и исследования функциональной активности головного мозга. *Русский журнал детской неврологии*,

- (4), 59–68. <https://doi.org/10.17650/2073-8803-2021-16-4-59-68>. EDN: <https://elibrary.ru/KASUVX>
2. Завалишина, Д. Н., & Ломов, Б. Ф. (1977). Деятельность оператора в условиях дефицита времени. В *Инженерная психология* (с. 190–218). Москва. EDN: <https://elibrary.ru/XAPHZT>
 3. Канеман, Д. (2006). *Внимание и усилие*. Москва: Смысл, 287 с.
 4. Каратыгин, Н. А., Коробейникова, И. И., Венерина, Я. А., Венерин, А. А., & Александров, Ю. И. (2022). Связь спектральных характеристик тета-ритма ЭЭГ с результативностью выполнения когнитивного теста «n-back». *Экспериментальная психология*, 15(2), 95–110. <https://doi.org/10.17759/exppsy.2022150208>. EDN: <https://elibrary.ru/TVBXJH>
 5. Кичигина, В. Ф. (2019). Нарушения тета- и гамма-осцилляций в мозге с патологиями, характерными для болезни Альцгеймера и височной эпилепсии. *Журнал высшей нервной деятельности им. И. П. Павлова*, 69(4), 395–412. <https://doi.org/10.1134/S0044467719040075>. EDN: <https://elibrary.ru/MPTKLP>
 6. Коробейникова, И. И. (2016). Спектральные характеристики тета-ритма ЭЭГ и эффективность интеллектуальной деятельности. *Тюменский медицинский журнал*, (2), 51–55. EDN: <https://elibrary.ru/WHMREN>
 7. Меркулова, А. Г., & Калинина, С. А. (2017). Распределение зрительного внимания при подготовке пилотов-курсантов к лётной деятельности. *Гигиена и санитария*, (8), 752–755. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2017-96-8-752-755>. EDN: <https://elibrary.ru/ZGCTDJ>
 8. Морозова, Л. В., & Мурин, И. Н. (2013). Психофизиологическая специфика восприятия печатного шрифта. *Arctic Environmental Research*, (3), 76–85. EDN: <https://elibrary.ru/RTUMHJ>
 9. Павленко, В. Б., Аликина, М. А., & Махин, С. А. (2018). Взаимосвязь уровня общего и эмоционального интеллекта с амплитудой альфа- и бета-ритмов ЭЭГ покоя. *Учёные записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия*, (3), 134–142. EDN: <https://elibrary.ru/VLBZQB>
 10. Поликанова, И. С., Михеев, И. Н., Леонов, С. В., & Мартынова, О. В. (2024). Возрастные особенности динамики альфа-ритма: краткий обзор. *Клиническая и специальная психология*, 13(4), 29–50. https://psyjournals.ru/journals/cpse/archive/2024_n4/Polikanova_Mikheev_et_al (дата обращения: 27.02.2024). <https://doi.org/10.17759/cpse.2024130402>. EDN: <https://elibrary.ru/EKRUJA>
 11. Bonzano, L., Bisio, A., Pedullà, L., & Bricchetto, G. (2010). Right inferior parietal lobule activity is associated with handwriting spontaneous. *Frontiers in Neuroscience*, 98–107. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2010.00186>

12. Gundlach, C., Müller, M. M., Nierhaus, T., Villringer, T., & Sehm, A. (2018). Modulation of somatosensory alpha rhythm by transcranial alternating current stimulation at mu-frequency. *Frontiers in Human Neuroscience*, 72–80. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00432>. EDN: <https://elibrary.ru/YJXYXS>
13. Haegens, S., Osipova, D., Oostenveld, R., & Jensen, O. (2009). Somatosensory working memory performance in humans depends on both engagement and disengagement of regions in a distributed network. *Human Brain Mapping*, 31, 26–35. <https://doi.org/10.1002/hbm.20842>
14. Cavanagh, J. F., & Shackman, A. J. (2015). Frontal midline theta reflects anxiety and cognitive control: Meta-analytic evidence. *Journal of Physiology — Paris*, 109, 3–15. <https://doi.org/10.1016/j.jphysparis.2014.04.003>
15. Jensen, O., & Mazaheri, A. (2010). Shaping functional architecture by oscillatory alpha activity: Gating by inhibition. *Frontiers in Human Neuroscience*, 4, 186. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2010.00186>
16. Kawachi, J. (2017). Brodmann areas 17, 18, and 19 in the human brain: An overview. *Brain Nerve*, 48–60. <https://doi.org/10.11477/mf.1416200756>
17. Klepsch, M., Schmitz, F., & Seufert, T. (2017). Development and validation of two instruments measuring intrinsic, extraneous, and germane cognitive load. *Frontiers in Psychology*, 137–150. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01997>
18. Klimesch, W. (2012). Alpha-band oscillations, attention, and controlled access to stored information. *Trends in Cognitive Sciences*, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2012.10.007>
19. Engel, A. K., & Fries, P. (2010). Beta-band oscillations — signalling the status quo? *Current Opinion in Neurobiology*, 20, 156–165. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2010.02.015>. EDN: <https://elibrary.ru/NAPLRN>
20. Maule, A. J., Hockey, G. R., & Bdzola, L. (2000). Effects of time-pressure on decision-making under uncertainty: Changes in affective state and information processing strategy. *Acta Psychologica*, 104, 283–301. [https://doi.org/10.1016/s0001-6918\(00\)00033-0](https://doi.org/10.1016/s0001-6918(00)00033-0)
21. Maurer, U., Brem, S., Liechti, M., Maurizio, S., Michels, L., & Brandeis, D. (2015). Frontal midline theta reflects individual task performance in a working memory task. *Brain Topography*, 28(1), 127–134. <https://doi.org/10.1007/s10548-014-0361-y>. EDN: <https://elibrary.ru/AJVUKM>
22. Miller, E. K., & Cohen, J. D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual Review of Neuroscience*, 24, 167–202. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.24.1.167>
23. Pruessner, J. C., Dedovic, K., Pruessner, M., Lord, C., Buss, C., Collins, L., Dagher, A., & Lupien, S. J. (2010). Stress regulation in the central nervous sys-

- tem: Evidence from structural and functional neuroimaging studies in human populations – 2008 Curt Richter Award Winner. *Psychoneuroendocrinology*, 35(1), 179–191. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2009.02.016>. EDN: <https://elibrary.ru/NZCQOJ>
24. Sarter, M., Gehring, W. J., & Kozak, R. (2006). More attention must be paid: The neurobiology of attentional effort. *Brain Research Reviews*, 51(2), 145–160. <https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2005.11.002>
25. Sigala, R., Haufe, S., Roy, D., & Dinse, H. R. (2015). The role of alpha-rhythm states in perceptual learning: Insights from experiments and computational models. *Frontiers in Computational Neuroscience*, 58–67. <https://doi.org/10.3389/fncom.2014.00036>
26. Sussman, R. F., & Sekuler, R. (2022). Feeling rushed? Perceived time pressure impacts executive function and stress. *Acta Psychologica*, 229, 103702. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2022.103702>. EDN: <https://elibrary.ru/CWTZGU>
27. Tan, E., Troller-Renfree, S. V., Morales, S., Buzzell, G. A., McSweeney, M., Antúnez, M., & Fox, N. A. (2024). Theta activity and cognitive functioning: Integrating evidence from resting-state and task-related developmental electroencephalography (EEG) research. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 67, 101404. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2024.101404>. EDN: <https://elibrary.ru/YZUPRF>
28. Toppi, J., Astolfi, L., Riseti, M., & Anzolin, A. (2018). Different topological properties of EEG-derived networks describe working memory phases as revealed by graph theoretical analysis. *Frontiers in Human Neuroscience*, 162–180. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00637>
29. Zanto, T. P., Rubens, M. T., Thangavel, A., & Gazzaley, A. (2011). Causal role of the prefrontal cortex in top-down modulation of visual processing and working memory. *Nature Neuroscience*, 14, 656–661. <https://doi.org/10.1038/nn.2773>

References

1. Gulyaev, S. A. (2021). Electroencephalography and studies of functional brain activity. *Russian Journal of Child Neurology*, (4), 59–68. <https://doi.org/10.17650/2073-8803-2021-16-4-59-68>. EDN: <https://elibrary.ru/KASUVX>
2. Zavalishina, D. N., & Lomov, B. F. (1977). Operator activity under time pressure. In *Engineering Psychology* (pp. 190–218). Moscow. EDN: <https://elibrary.ru/XAPHZT>
3. Kahneman, D. (2006). *Attention and effort*. Moscow: Smysl, 287 p.
4. Karatygin, N. A., Korobeynikova, I. I., Venerina, Ya. A., Venerin, A. A., & Aleksandrov, Yu. I. (2022). Relationship between spectral characteristics of

- EEG theta rhythm and performance in the “n-back” cognitive test. *Experimental Psychology*, 15(2), 95–110. <https://doi.org/10.17759/exppsy.2022150208>. EDN: <https://elibrary.ru/TVBXJH>
5. Kichigina, V. F. (2019). Disturbances of theta and gamma oscillations in the brain with pathologies characteristic of Alzheimer’s disease and temporal lobe epilepsy. *Journal of Higher Nervous Activity named after I. P. Pavlov*, 69(4), 395–412. <https://doi.org/10.1134/S0044467719040075>. EDN: <https://elibrary.ru/MPTKLP>
 6. Korobeynikova, I. I. (2016). Spectral characteristics of EEG theta rhythm and intellectual performance efficiency. *Tyumen Medical Journal*, (2), 51–55. EDN: <https://elibrary.ru/WHMREH>
 7. Merkulova, A. G., & Kalinina, S. A. (2017). Distribution of visual attention in training pilot cadets for flight activities. *Hygiene and Sanitation*, (8), 752–755. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2017-96-8-752-755>. EDN: <https://elibrary.ru/ZGCTDJ>
 8. Morozova, L. V., & Murin, I. N. (2013). Psychophysiological specifics of printed font perception. *Arctic Environmental Research*, (3), 76–85. EDN: <https://elibrary.ru/RTUMHJ>
 9. Pavlenko, V. B., Alikina, M. A., & Makhin, S. A. (2018). Relationship between levels of general and emotional intelligence and amplitude of resting-state alpha and beta EEG rhythms. *Scientific Notes of V. I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry*, (3), 134–142. EDN: <https://elibrary.ru/VLBZQB>
 10. Polikanova, I. S., Mikheev, I. N., Leonov, S. V., & Martynova, O. V. (2024). Age-related features of alpha rhythm dynamics: a brief review. *Clinical and Special Psychology*, 13(4), 29–50. https://psyjournals.ru/journals/cpse/archive/2024_n4/Polikanova_Mikheev_et_al (accessed: 27.02.2024). <https://doi.org/10.17759/cpse.2024130402>. EDN: <https://elibrary.ru/EKRUJA>
 11. Bonzano, L., Bisio, A., Pedullà, L., & Bricchetto, G. (2010). Right inferior parietal lobule activity is associated with handwriting spontaneous. *Frontiers in Neuroscience*, 98–107. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2010.00186>
 12. Gundlach, C., Müller, M. M., Nierhaus, T., Villringer, T., & Sehm, A. (2018). Modulation of somatosensory alpha rhythm by transcranial alternating current stimulation at mu-frequency. *Frontiers in Human Neuroscience*, 72–80. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00432>. EDN: <https://elibrary.ru/YJXYXS>
 13. Haegens, S., Osipova, D., Oostenveld, R., & Jensen, O. (2009). Somatosensory working memory performance in humans depends on both engagement and disengagement of regions in a distributed network. *Human Brain Mapping*, 31, 26–35. <https://doi.org/10.1002/hbm.20842>

14. Cavanagh, J. F., & Shackman, A. J. (2015). Frontal midline theta reflects anxiety and cognitive control: Meta-analytic evidence. *Journal of Physiology — Paris*, *109*, 3–15. <https://doi.org/10.1016/j.jphysparis.2014.04.003>
15. Jensen, O., & Mazaheri, A. (2010). Shaping functional architecture by oscillatory alpha activity: Gating by inhibition. *Frontiers in Human Neuroscience*, *4*, 186. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2010.00186>
16. Kawachi, J. (2017). Brodmann areas 17, 18, and 19 in the human brain: An overview. *Brain Nerve*, 48–60. <https://doi.org/10.11477/mf.1416200756>
17. Klepsch, M., Schmitz, F., & Seufert, T. (2017). Development and validation of two instruments measuring intrinsic, extraneous, and germane cognitive load. *Frontiers in Psychology*, 137–150. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01997>
18. Klimesch, W. (2012). Alpha-band oscillations, attention, and controlled access to stored information. *Trends in Cognitive Sciences*, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2012.10.007>
19. Engel, A. K., & Fries, P. (2010). Beta-band oscillations — signalling the status quo? *Current Opinion in Neurobiology*, *20*, 156–165. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2010.02.015>. EDN: <https://elibrary.ru/NAPLRN>
20. Maule, A. J., Hockey, G. R., & Bdzola, L. (2000). Effects of time-pressure on decision-making under uncertainty: Changes in affective state and information processing strategy. *Acta Psychologica*, *104*, 283–301. [https://doi.org/10.1016/s0001-6918\(00\)00033-0](https://doi.org/10.1016/s0001-6918(00)00033-0)
21. Maurer, U., Brem, S., Liechti, M., Maurizio, S., Michels, L., & Brandeis, D. (2015). Frontal midline theta reflects individual task performance in a working memory task. *Brain Topography*, *28*(1), 127–134. <https://doi.org/10.1007/s10548-014-0361-y>. EDN: <https://elibrary.ru/AJVUKM>
22. Miller, E. K., & Cohen, J. D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual Review of Neuroscience*, *24*, 167–202. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.24.1.167>
23. Pruessner, J. C., Dedovic, K., Pruessner, M., Lord, C., Buss, C., Collins, L., Dagher, A., & Lupien, S. J. (2010). Stress regulation in the central nervous system: Evidence from structural and functional neuroimaging studies in human populations – 2008 Curt Richter Award Winner. *Psychoneuroendocrinology*, *35*(1), 179–191. <https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2009.02.016>. EDN: <https://elibrary.ru/NZCQOJ>
24. Sarter, M., Gehring, W. J., & Kozak, R. (2006). More attention must be paid: The neurobiology of attentional effort. *Brain Research Reviews*, *51*(2), 145–160. <https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2005.11.002>
25. Sigala, R., Haufe, S., Roy, D., & Dinse, H. R. (2015). The role of alpha-rhythm states in perceptual learning: Insights from experiments and computational mod-

- els. *Frontiers in Computational Neuroscience*, 58–67. <https://doi.org/10.3389/fncom.2014.00036>
26. Sussman, R. F., & Sekuler, R. (2022). Feeling rushed? Perceived time pressure impacts executive function and stress. *Acta Psychologica*, 229, 103702. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2022.103702>. EDN: <https://elibrary.ru/CWTZGU>
27. Tan, E., Troller-Renfree, S. V., Morales, S., Buzzell, G. A., McSweeney, M., Antúnez, M., & Fox, N. A. (2024). Theta activity and cognitive functioning: Integrating evidence from resting-state and task-related developmental electroencephalography (EEG) research. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 67, 101404. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2024.101404>. EDN: <https://elibrary.ru/YZUPRF>
28. Toppi, J., Astolfi, L., Riseti, M., & Anzolin, A. (2018). Different topological properties of EEG-derived networks describe working memory phases as revealed by graph theoretical analysis. *Frontiers in Human Neuroscience*, 162–180. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00637>
29. Zanto, T. P., Rubens, M. T., Thangavel, A., & Gazzaley, A. (2011). Causal role of the prefrontal cortex in top-down modulation of visual processing and working memory. *Nature Neuroscience*, 14, 656–661. <https://doi.org/10.1038/nn.2773>

ВКЛАД АВТОРОВ

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку статьи для публикации.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

The authors contributed equally to this article.

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Звягина Наталья Васильевна, канд. биол. наук, доцент заведующий кафедрой биологии человека и биотехнических систем
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова
ул. Набережная Северной Двины, 17, г. Архангельск, 163002, Российская Федерация
n.zvyagina@narfu.ru

Талсева Анна Ильинична, канд. биол. наук

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

*ул. Набережная Северной Двины, 17, г. Архангельск, 163002, Российская Федерация
a.taleeva@narfu.ru*

Новоселова Ксения Валерьевна

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова
ул. Набережная Северной Двины, 17, г. Архангельск, 163002, Российская Федерация
ksen.nik@yandex.ru*

Черкасова Анна Сергеевна

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова
ул. Набережная Северной Двины, 17, г. Архангельск, 163002, Российская Федерация
a.s.cherkasova@narfu.ru*

Чанг Тху Чанг, аспирант

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова
ул. Набережная Северной Двины, 17, г. Архангельск, 163002, Российская Федерация
trangbo189@yandex.ru*

Попов Николай Владимирович, аспирант

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова
ул. Набережная Северной Двины, 17, г. Архангельск, 163002, Российская Федерация
pnpnick@mail.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Natalya V. Zvyagina, MD, Cand. Sc. (Biology)
Northern (Arctic) Federal University

17, Northern Dvina Embankment, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation

n.zvyagina@narfu.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8384-0424>

SPIN-code: 8090-7591

ResearcherID: ABA-4815-2021

Scopus Author ID: 23669919700

Anna I. Taleeva, Cand. Sc. (Biology)

Northern (Arctic) Federal University

17, Northern Dvina Embankment, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation

a.taleeva@narfu.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9346-6357>

SPIN-code: 5850-6715

ResearcherID: ABA-5994-2021

Scopus Author ID: 5720517223

Ksenia V. Novoselova, Postgraduate Studies

Northern (Arctic) Federal University

17, Northern Dvina Embankment, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5996-6318>

ksen.nik@yandex.ru

Anna S. Cherkasova

Northern (Arctic) Federal University

17, Northern Dvina Embankment, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation

a.s.cherkasova@narfu.ru

SPIN-code: 6645-9443

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4091-3918>

Scopus Author ID: 56993345800

Thu C. Chang, Postgraduate Studies

Northern (Arctic) Federal University

17, Northern Dvina Embankment, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation

trangbo189@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0660-3569>

Nikolay V. Popov, Postgraduate Studies

Northern (Arctic) Federal University

17, Northern Dvina Embankment, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation

pnynick@mail.ru

ORCID: <http://orcid.org/0009-0009-6220-0490>

SPIN-code: 1138-5057

Поступила 17.04.2025

После рецензирования 14.05.2025

Принята 25.05.2025

Received 17.04.2025

Revised 14.05.2025

Accepted 25.05.2025