Дата публикации: 01.03.2025
DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_01_22
УДК 612.821.2

Publication date: 01.03.2025
DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_01_22
UDC 612.821.2

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ α-ДИАПАЗОНА ИСХОДНОЙ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАММЫ ИСПЫТУЕМЫХ С РАЗЛИЧНОЙ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТЬЮ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАЧИ «N-BACK»

Н.А. Каратыгин[1], И.И. Коробейникова[1], Я.А. Венерина[2]
[1]Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр оригинальных и перспективных биомедицинских и фармацевтических технологий», г. Москва, Россия
[2]Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет), г. Москва, Россия

Аннотация. С целью выявления прогностических критериев результативности когнитивной деятельности человека по характеристикам фоновой электрической активности головного мозга у 38 испытуемых (мужчины, 20-21 год) регистрировали электроэнцефалограмму в 10 стандартных отведениях по схеме «10-20» в исходном состоянии и при выполнении задачи «n-back». По результату теста выделены группы успешных и неуспешных испытуемых. Рассчитывали автоспектры амплитуды общего (8-13 Гц), низкочастотного (8-10 Гц) и высокочастотного (10-13 Гц) диапазонов α-ритма исходной электроэнцефалограммы и абсолютные значения частоты индивидуального α-пика и его амплитуды. Установлены амплитудно-частотные различия в исходной электроэнцефалограмме между испытуемыми выделенных групп, что позволяет рассматривать их в качестве прогностических критериев успешности выполнения некоторых видов когнитивных задач.
Ключевые слова: когнитивная деятельность, результативность, поддиапазоны α-ритма исходной электроэнцефалограммы, частота и амплитуда α-пика.

SPECTRAL CHARACTERISTICS OF THE α-BAND OF THE INITIAL ELECTROENCEPHALOGRAM IN SUBJECTS WITH DIFFERENT RESULTS OF "N-BACK" TASK

N.A. Karatygin[1], I.I. Korobejnikova[1], Ya.A. Venerina[2]
[1]Federal Research Center for Innovator and Emerging Biomedical and Pharmaceutical Technologies, Moscow, Russia
[2]I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russia

Abstract. The main aim of this research was to identify prognostic criteria for the effectiveness of human cognitive activity based on the characteristics of the background electrical activity of the brain. electroencephalogram was recorded in 38 subjects (men, 20-21 years old) in 10 standard leads according to the "10-20" scheme in the initial state and during performing the "n-back" task. According to the test result, groups of successful and unsuccessful subjects were identified. We calculated the autospectrums of the amplitude of the general (8-13 Hz), low-frequency (8-10 Hz) and high-frequency (10-13 Hz) ranges of α-rhythm of the initial electroencephalogram and absolute values of individual α-peak frequency and its amplitude. Amplitude-frequency differences in the initial electroencephalogram between the subjects of the selected groups have been established, which makes it possible to consider them as prognostic criteria for the success of certain types of cognitive tasks.
Keywords: cognitive activity, effectiveness of performance, subbands of the α-rhythm of the initial electroencephalogram, frequency and amplitude of the α-peak.

Введение. Анализ фонового состояния коры головного мозга человека является одной из актуальных проблем когнитивной психофизиологии. Показано, что в состоянии спокойного бодрствования мозг активно работает и потребляет значительное количество энергии, причем при выполнении когнитивных задач количество потребляемой энергии увеличивается, но часто такое увеличение не превышает 5% [1].

Некоторые авторы совершенно справедливо делают предположение о том, что фоновое состояние мозга, не являясь пассивным, должно отражаться на параметрах предстоящей деятельности [2]. В ряде наших исследований и работ других авторов показана связь характеристик α- и других ритмов фоновой ЭЭГ с результативностью последующей деятельности [3, 4].

Известно, что α-диапазон ЭЭГ неоднороден. Выделение низкого и высокого поддиапазонов α-ритма обусловлено доказательствами их разной функциональной значимости: низкочастотный поддиапазон отражает общие базовые характеристики такие как готовность к действию и общий уровень активации, а высокочастотный связан с решением сложных когнитивных задач и отражает более специфические характеристики, например, процессы семантической памяти, и [5, 6].

Среди характеристик α-активности исходной ЭЭГ во многих исследованиях выделяют частоту индивидуального альфа пика (IAF), которая связывается с результативностью различных видов когнитивной деятельности [7-9]. Однако совсем небольшое количество исследований принимают во внимание амплитуду индивидуального альфа пика (AmpIAP), которая является не менее важной характеристикой исходной ЭЭГ. Предполагается, что AmpIAP отражает синхронность активации нейронных ансамблей [5]. Нужно отметить, что AmpIAP и IAF по-разному коррелируют с поведенческими показателями [10].

Принимая во внимание вышеизложенное, целесообразно включать в анализ как частотные, так и амплитудные характеристики α-диапазона исходной ЭЭГ, которые в дальнейшем могут быть использованы в качестве предикторов результативности различных видов когнитивной деятельности.

Целью исследования было выявление особенностей амплитудно-частотных характеристик α-диапазона исходной ЭЭГ, которые могут служить предикторами различной успешности выполнения когнитивной задачи.

Методы и организация исследования. В исследовании на основе добровольного информированного согласия участвовали 38 здоровых мужчин без неврологических заболеваний в возрасте 18-21 года, правши, с нормальной или скорректированной до нормальной остротой зрения. Исследования проведены в соответствии с Хельсинской декларацией [11] и одобрены этической комиссией ПМГМУ им. И.М. Сеченова № 02-20 от 05.02.2020.

В качестве модели когнитивной деятельности использовалась «n-back» задача, разработанная психологом В.К. Кирхнером, применяемая в нейрофизиологических исследованиях для оценки и развития рабочей памяти, логического мышления, способности к концентрации внимания [12]. Испытуемый находился в затемненной комнате в отсутствии посторонних раздражителей, сидя на расстоянии 50 см от экрана монитора. Использовался монитор Acer G276 с диагональю 27 дюймов. Частота обновления экрана монитора 75 Гц, контрастность 3000:1. Задачей испытуемого было запомнить геометрические фигуры, последовательно появляющиеся на экране монитора и указать (кнопкой мыши), если предъявляемая в данный момент фигура встречалась две позиции назад. Более подробно описание процедуры исследования представлено в работе [13]. По результатам выполнения компьютерной задачи для каждого испытуемого вычисляли количество правильно указанных геометрических фигур (максимальное число правильных выборов составляло 10) и количество ошибочных ответов (когда испытуемым указывалась фигура, которой не было две позиции назад).

Регистрация ЭЭГ осуществлялась с помощью электроэнцефалографа «Нейронспектр» (г. Иваново) монополярно по схеме «10–20» в затылочных (O2, O1), теменных (P4, P3), центральных (C4, C3), лобных (F4, F3) и височных (T4, T3) отведениях с объединенными референтными электродами на мочках ушей. Полоса фильтрации составляла 0,5-70,0 Гц, постоянная времени – 0,32 с, режективный фильтр – 50 Гц.

После регистрации все записи ЭЭГ были переведены в компьютерную систему анализа и топографического картирования электрической активности мозга «Brainsys» и обработаны с помощью аппаратно-программного комплекса «Нейро-КМ» (ООО «Статокин», г. Москва). Исключение артефактов и спектральный анализ ЭЭГ проводили с использованием программного комплекса анализа и топографического картирования электрической активности мозга «Brainsys». Эпоха анализа составляла 4 с при длительности каждого фрагмента в 1 мин, частота оцифровки – 200 Гц.

Проводили анализ ЭЭГ в состоянии спокойного бодрствования с закрытыми глазами (ЗГ). Рассчитывали автоспектры амплитуды общего (8-13 Гц), низкочастотного (8-10 Гц) и высокочастотного (10-13 Гц) диапазонов α-ритма ЭЭГ. Вычисляли абсолютные значения IAF и AmpIAP суммарно в теменно-затылочных отделах коры головного мозга (отведения O2, O1, P4, P3). Для этого рассчитывали значения спектральной плотности мощности ЭЭГ α-диапазона (8-13 Гц) с использованием метода «multitaper», реализованного посредством функции psd_multitaper модуля MNE-python [14].

При статистической обработке полученных данных и представлении результатов использовали пакет STATISTICA v.10. Достоверность различий анализируемых показателей у испытуемых выделенных групп оценивали с помощью дисперсионного анализа «Break down and one-way ANOVA». При нормальном распределении достоверность изменения значений показателей в разных ситуациях у одной группы испытуемых оценивали с использованием t-критерия для связанных выборок. При распределении отличном от нормального данные представлены в виде Me [Q1; Q3]. Сравнение независимых групп проводили с использованием Mann-Whitney U test. Различия считались значимыми при $p<0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение. Анализ результатов выполнения теста «n-back» показал, что по группе испытуемых в целом количество правильных ответов в тесте варьировало от 3 до 10, составив в среднем 7,47±0,36, при этом количество ошибок изменялось от 0 до 5, составив в среднем 1,4±0,23. По результату теста «n-back» выделены две группы испытуемых. 1-ю группу (n=15) составили испытуемые, у которых было 8-10 правильных ответов из 10 возможных. Во 2-ю группу (n=10) вошли лица, у которых количество правильных ответов было менее 8. Результат теста составил 9,50±0,13 в 1-й группе и 4,90±0,35 во 2-й. Количество неправильных ответов было 0,75±0,23 и 2,0±0,55 (p=0,026) соответственно группам.

Анализ значений амплитудного спектра общего диапазона α-ритма ЭЭГ показал, что амплитуда исходной ЭЭГ, зарегистрированной при ЗГ, выше у испытуемых 1-й группы в O1, p=0,042; P4, p=0,021; P3, p=0,016; C4, p=0,021; C3, p=0,009; F3, p=0,023; T3, p=0,014 отведениях. При анализе значений амплитудных спектров низкого и высокого диапазонов α-ритма ЭЭГ было установлено, что основные различия между испытуемыми 1-й и 2-й групп выявляются в низкочастотном диапазоне. В исходной ЭЭГ амплитуда низкочастотных колебаний α-спектра была выше у испытуемых 1-й группы (P4, p=0,042; P3, p=0,038; C4, p=0,037; C3, p=0,021; F3, p=0,022; T3, p=0,031). Значимые различия между испытуемыми 1-й и 2-й групп по амплитуде высокочастотного спектра α-ритма были зарегистрированы только в отведении P3 (p=0,049) (табл.).

Анализ IAF и AmpIAP исходной ЭЭГ, зарегистрированной при ЗГ в затылочно-теменных областях коры, не выявил значимых отличий между испытуемыми выделенных групп. В исходном состоянии при ЗГ значения IAF у испытуемых выделенных групп значимо не различались (U=60,5; Z= –0,804; p=0,42) и составили 10,3 [9,4; 11,9] Гц у испытуемых 1-й и 10,3 [10,1; 11,0] Гц у 2-й групп. Различия по AmpIAP у испытуемых 1-й и 2-й групп также не зарегистрированы, (U=47,0; Z=1,55; p=0,12), ее величина была равной 27,1 [2,9; 50,8] и 8,6 [3,3; 11,2] мкВ соответственно группам. Однако, обращает на себя внимание значительный разброс значений AmpIAP в затылочно-теменных областях коры испытуемых 1-й группы. Визуальный анализ распределения показателей

IAF и AmpIAP в затылочно-теменных отведениях у испытуемых 1-й и 2-й групп позволяет сделать предположение о нелинейном характере взаимодействия этих показателей с успешностью выполнения теста «n-back». Неуспешные испытуемые имеют по большей части низкую амплитуду IAP и среднюю IAF, тогда как для успешных испытуемых характерен сложный паттерн распределения. Среди успешных испытуемых имеются лица с низкой AmpIAP и IAF, которая либо существенно ниже, либо выше средних значений. Наряду с этим в группе успешных есть испытуемые со сходными с неуспешными испытуемыми значениями IAF, но при этом имеющие более высокую AmpIAP. Наглядно демонстрация этого тезиса представлена на рисунке.

Таблица

Автоспектры амплитуды (M±m, МкВ) общего, низкого и высокого диапазонов α-ритма ЭЭГ, зарегистрированной в состоянии покоя при закрытых глазах у испытуемых 1-й и 2-й групп, M±m

Отведения ЭЭГ		α-общ. (8-13 Гц)		α1 (7-10 Гц)		α2 (10-13 Гц)	
		1-я группа	2-я группа	1-я группа	2-я группа	1-я группа	2-я группа
Затылочные	O2	14,5±1,9	10,1±1,2	9,3±1,6	6,1±1,1	10,9±1,6	7,9±1,0
	O1	15,1±1,9	9,4±1,2*	10,1±1,8	5,8±0,9	11,0±1,3	7,4±0,9
Теменные	P4	11,0±1,4	6,7±0,7*	8,1±1,3	4,5±0,5*	7,7±0,9	5,3±0,6
	P3	10,9±1,3	6,4±0,6*	8,0±1,3	4,2±0,5*	7,5±0,9	5,0±0,6*
Центральные	C4	8,1±0,8	5,7±0,5*	6,4±0,8	4,2±0,4*	5,7±0,5	4,4±0,4
	C3	8,2±0,7	5,6±0,5*	6,3±0,7	4,2±0,4*	5,8±0,6	4,2±0,4
Лобные	F4	6,8±0,6	5,6±0,4	5,5±0,6	4,2±0,4	4,9±0,5	4,2±0,4
	F3	7,1±0,5	5,5±0,4*	5,8±0,5	4,2±0,3*	5,0±0,5	4,0±0,4
Височные	T4	4,1±0,4	3,1±0,3	3,2±0,4	2,2±0,2	2,8±0,3	2,4±0,3
	T3	4,6±0,4	3,2±0,3*	3,6±0,4	2,3±0,2*	3,2±0,3	2,5±0,3

Примечание: ЭЭГ – электроэнцефалограмма; статистические различия значений амплитуды диапазонов α-ритма испытуемых 1-й и 2-й групп * – при p<0,05.

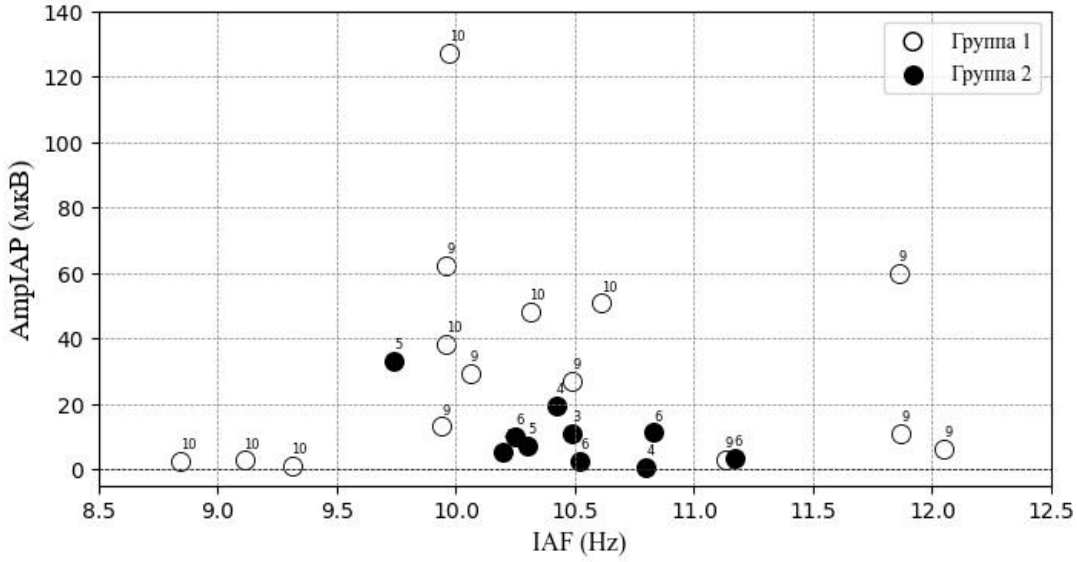


Рис. Распределение показателей амплитуды (AmpIAP) и частоты (IAF) индивидуального альфа-пика в затылочно-теменных областях коры у испытуемых 1-й и 2-й групп. Рядом с маркерами указано количество правильных ответов в тесте

Таким образом, основным отличием высокорезультативных испытуемых явилась высокая амплитуда низкочастотного диапазона α-ритма. Несмотря на то, что по частоте

индивидуального α-пика и по его амплитуде достоверных отличий между испытуемыми выделенных групп не зарегистрировано, можно предположить существование нелинейных взаимосвязей этих показателей с результативностью выполнения теста «n-back». По-видимому, только совместный анализ частоты и амплитуды индивидуального α-пика может служить в качестве предиктора успешности выполнения теста.

В ряде исследований высокая амплитуда α-диапазона рассматривается как позитивный признак. Выявлены значимые положительные корреляции между уровнем общего интеллекта и амплитудой α-ритма в лобных и центральных отведениях [15]. Установлено, что у успешных в обучении испытуемых амплитуда α-ритма была выше, чем у менее успешных [16]. Увеличение амплитуды α-ритма в рамках проведения α-стимулирующего тренинга способствует достижению спортсменами более высоких результатов в спортивной деятельности [17]. Согласно полученным в настоящем обследовании данным более высокая амплитуда общего диапазона α-ритма фоновой ЭЭГ в группе более успешных испытуемых определяется высокой амплитудой низкочастотного α-диапазона ЭЭГ. При этом важно отметить, что такая высокая амплитуда низкочастотного α-диапазона носила пространственно-генерализованный характер, т.е. была значимо выше практически во всех обследованных областях коры больших полушарий. Это согласуется с рассмотренными ранее положениями о разной функциональной значимости низкого и высокого поддиапазонов α-ритма. Показано, что низкочастотный α-ритм в ситуации относительного покоя хорошо выражен у индивидов с высокоразвитой системой избирательного торможения, лежащего в основе произвольного внимания. Такие особенности функционирования неокортекса обеспечивают успешное выполнение задач, требующих особой сосредоточенности [18]. В наших предыдущих исследованиях показано, что испытуемые, с исходно высокой мощностью низкочастотного диапазона α-ритма, были более успешны в тестах с элементами логического мышления, требующих высокой концентрации внимания, аналитических навыков и способности к сравнению [19].

Таким образом, анализ результативности разных видов когнитивной деятельности показал, что успешнее в подобных тестах будут лица с преобладанием в фоновой ЭЭГ низкочастотного диапазона α-ритма. Во всех вышерассмотренных моделях для успешного выполнения задания необходимо задействование механизмов селективного внимания и оперативной памяти. По-видимому, выраженность низкочастотных α-колебаний в исходной ЭЭГ создает условия для оптимального использования таких механизмов, что в дальнейшем приводит к высокому результату деятельности.

Заслуживает внимания полученный в настоящем исследовании факт распределения соотношения AmpIAP и IAF в затылочно-теменных областях коры у успешных испытуемых, которое носит нелинейный характер, однако этот вопрос требует отдельного рассмотрения, что является задачей будущих исследований.

Заключение. Анализ характеристик фоновой электрической активности головного мозга позволил выявить некоторые прогностические критерии высокой результативности деятельности человека в заданиях, предъявляющих высокие требования к рабочей памяти, логическому мышлению и способности к концентрации внимания. У успешных испытуемых, в отличии от неуспешных, в состоянии спокойного бодрствования при закрытых глазах практически во всех обследованных областях коры больших полушарий были зарегистрированы более высокие значения амплитуды низкочастотного α-диапазона. Предполагается, что выраженность низкочастотных α-колебаний исходной ЭЭГ создает предпосылки для оптимального функционирования механизмов селективного внимания и оперативной памяти, что в дальнейшем приводит к высокому результату предложенного вида деятельности.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Greater brain activity during the resting state and the control of activation during the performance of tasks / J. Huang // Scientific reports. – 2019 – Vol. 9. – № 1. – P. 5027. DOI: 10.1038/s41598-019-41606-2.
2. Станкова, Е.П. Роль фоновой активности мозга в обеспечении когнитивной деятельности / Е.П. Станкова // Вестник ЯрГУ. Серия Гуманитарные науки. – 2018. – № 2. – С. 116–120.
3. Пространственные характеристики α-ритма ЭЭГ человека при выполнении заданий на концентрацию и переключение внимания в условиях экзогенных помех / И.И. Коробейникова, Н.А. Каратыгин, Я.А. Венерина, Е.В. Бирюкова // Психическое здоровье. – 2019. – №6. – С. 45–52. DOI: 10.25557/2074-014X.2019.06.45-52.
4. Станкова, Е.П. О связи индивидуальных характеристик ЭЭГ с уровнем интеллекта / Е.П. Станкова, И.Ю. Мышкин // Вестник Московского университета. Сер.6. Биология. – 2016. – № 4. – С. 83–88.
5. Klimesch, W. EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: A review and analysis / W. Klimesch // Brain Res. Rev. – 1999. – № 29. – P. 169–195. DOI: 10.1016/S0165-0173(98)00056-3.
6. Костандов, Э.А. Изменения низко- и высокочастотных колебаний α-диапазона ЭЭГ на отдельных отрезках времени между значимыми зрительными стимулами / Э.А. Костандов, Е.А. Черемушкин // Физиология человека. – 2013. – Т. 39. – № 4. – С. 1–8. DOI: 10.7868/S0131164613040073.
7. Математическая модель управления нейропластичностью мозга при нейробиоуправлении / И.В. Нуйдель, А.В. Колосов, С.А. Пермяков [и др.] // Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика. – 2024. – Т. 32. – № 4. – С. 472–491. DOI: 10.18500/0869-6632-003109.
8. Электроэнцефалографические маркеры функционального состояния центральной нервной системы в спортивной практике / Н.В. Балиоз, Е.Е. Архипова [и др.] // Ульяновский медико-биологический журнал. – 2023. – № 3. – С. 30–48. DOI: 10.34014/2227-1848-2023-3-30-48.
9. Начарова, М.А. Особенности взаимосвязи между индивидуальной пиковой частотой α-ритма ЭЭГ и характеристиками общего интеллекта / М.А. Начарова, С.А. Махин, В.Б. Павленко // Ученые записки Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского. Биология. Химия. – 2019. – Т. 5. – № 2. – С. 132–144.
10.Frequency of alpha oscillation predicts individual differences in perceptual stability during binocular rivalry / S. Katyal, S. He, B. He, S.A. Engel // Hum. Brain Mapp. – 2019. – № 40. – P. 2422–2433. DOI: 10.1002/hbm.24533/.
11.World Medical Association Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects. – JAMA. – 2013. – Vol. 310. – № 20. – P. 2191–2194.
12.Kirchner, W.K. Age differences in short-term retention of rapidly changing information / W.K. Kirchner // Journal of Experimental Psychology. – 1958. – Vol. 55. – № 4. – P. 352–358.
13.Коробейникова, И.И. Электрофизиологические корреляты достижения результата целенаправленной деятельности человека в условиях ритмически организованной оптической стимуляции частотой 10 Гц. Методические аспекты и разработки / И.И. Коробейникова, Н.А. Каратыгин, Я.А. Венерина // Психическое здоровье. – 2020. – № 7. – С. 9–15. DOI: 10.25557/2074-014x.2020.07.9-15.
14.MEG and EEG data analysis with MNE-Python / A. Gramfort, M. Luessi, E. Larson [et al] // Frontiers in neuroscience. – 2013. – Vol. 7. – P. 1–13. DOI: 10.3389/fnins.2013.00267.
15.Павленко, В.Б. Взаимосвязь уровней общего и эмоционального интеллекта с амплитудой альфа- и бета-ритмов ЭЭГ покоя / В.Б. Павленко, М.А. Аликина, С.А. Махин // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского Биология. Химия. – 2018. – Т. 4. – № 3. – С. 134–142.
16.Александров, А.М. О корреляции альфа-ритма и успешности обучения / А.М. Александров, О.В. Савокина, М.И. Сизинцев // В материалах Итоговой конференции военно-научного общества курсантов, студентов и слушателей Военно-медицинской академии имени С.М. Кирова. – 2023. – С. 32–35.
17.Акбарходжаева, З.А. Альфа-стимулирующий тренинг у спортсменов-единоборцев и его влияние на изменения потенциалов головного мозга / З.А. Акбарходжаева, А.А. Садиков, Д.А. Алиева // Прикладная спортивная наука. – 2022. – Т. 2. – № 16. – С. 5–10.

18.Schuher, F. Reflection of mental exercise in the dynamic quantitative topographical EEG / F. Schuher, R. W. Schellenherg, W. Dimpjd // Neuropsychobiology. – 1995. – Vol. 31. – № 2. – P. 98–112.
19.Коробейникова, И.И. Связь результативности интеллектуальной тестовой деятельности человека с различными спектральными характеристиками α-ритма фоновой ЭЭГ / И.И. Коробейникова // Тюменский медицинский журнал. – 2014 – Т. 16. – № 3. – С. 50–53.

REFERENCES:

1. Huang J. Greater brain activity during the resting state and the control of activation during the performance of tasks. *Scientific reports*, 2019, vol. 9, no. 1, pp. 5027. DOI: 10.1038/s41598-019-41606-2.
2. Stankova E.P. The role of background brain activity in providing cognitive performance. *Vestnik YarSU*, 2018, no. 2, pp. 116–120. (in Russ.)
3. Korobeinikova I.I., Karatygin N.A., Venerina Y.A., Birukova E.V. Spatial characteristics of EEG alpha rhythm while performing attention switching cognitive task in conditions of exogenous noise. *Mental health*, 2019, no. 6, pp. 45–52. DOI: 10.25557/2074-014X.2019.06.45-52. (in Russ.)
4. Stankova E.P., Myshkin I.Y. Association between individual EEG characteristics and the level of intelligence. *Moscow University Biological Sciences Bulletin*, 2016, vol. 71, no. 4, pp. 256–261. (in Russ.)
5. Klimesch W. EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: A review and analysis. *Brain Res. Rev.*, 1999, no. 29, pp. 169–195. DOI: 10.1016/S0165-0173(98)00056-3.
6. Kostandov E.A., Cheremushkin E.A. Changes in the low- and high-frequency oscillations of the EEG α-band in the intervals between meaningful visual stimuli. *Human Physiology*, 2013, vol. 39, no. 4, pp. 339–345. (in Russ.)
7. Nuidel I.V., Kolosov A.V., Permiakov S.A., Egorov I.S., Polevaia S.A., Yakhno V.G. Mathematical model for controlling brain neuroplasticity during neurofeedback. *News of higher education. Applied nonlinear dynamics*, 2024, vol. 32, no. 4, pp. 472–491. DOI: 10.18500/0869-6632-003109. (in Russ.)
8. Balioz N.V., Arkhipova E.E., Mozolevskaya N.V., Krivoshchekov S.G. Electroencephalographic markers of CNS functional state in sport. *Ulyanovsk medical-biological J*, 2023, no. 3, pp. 30–48. DOI: 10.34014/2227-1848-2023-3-30-48. (in Russ.)
9. Nacharova M.A., Makhin S.A., Pavlenko V.B. Relationship between the EEG individual alpha peak frequency and general intelligence indices. *Scientific notes of Crimea Federal University of V.I. Vernadskiy. Biology. Chemistry*, 2019, vol. 5, no. 2, pp. 132–144. (in Russ.)
10.Katyal S., He S., He B., Engel S. A. Frequency of alpha oscillation predicts individual differences in perceptual stability during binocular rivalry. *Hum.Brain Mapp*., 2019, no. 40, pp. 2422–2433. DOI: 10.1002/hbm.24533/
11.World Medical Association Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects. *JAMA*, 2013, vol. 310, no. 20, pp. 2191–2194.
12.Kirchner W.K. Age differences in short-term retention of rapidly changing information. *Journal of Experimental Psychology*, 1958, vol. 55, no. 4, pp. 352–358.
13.Korobeinikova I.I., Karatygin N.A., Venerina Y.A. EEG correlates of result achievement in goal-directed activity in conditions of rhythmically organized optical stimulation with 10 Hz. methodological aspects and studies. *Mental health*, 2020, no. 7, pp. 9–15. DOI: 10.25557/2074-014x.2020.07.9-15. (in Russ.)
14.Gramfort A., Luessi M., Larson E., Engemann D.A., Strohmeier D., Brodbeck C., Goj R., Jas M., Brooks T., Parkkonen L., Hämäläinen M. MEG and EEG data analysis with MNE-Python. *Frontiers in neuroscience*, 2013, vol. 7, article 267, pp. 1–13. DOI: 10.3389/fnins.2013.00267.
15.Pavlenko V.B., Alikina M.A., Makhin S.A. Relationships between general and emotional intelligence levels and EEG alpha and beta rhythm amplitude at rest. *Scientific notes of Crimea Federal University of V.I. Vernadskiy. Biology. Chemistry*, 2018, vol. 4, no. 3, pp. 134–142. (in Russ.)
16.Alexandrov A.M., Savokina O.V., Sizintcev M.I. About the correlation of alpha rhythm and learning success. *In material of the Final Conference of the Military-Scientific Society of Cadets, Students and Listeners of the Kirov Military Medical Academy*, 2023, pp. 32–35. (in Russ.)
17.Akbarkhodjaeva Z.A., Sadikov A.A., Alieva D.A. Alpha-stimulating training for martial artists and its effect on changes in brain potentials. *Applied sports science*, 2022, vol. 2, no. 16, pp. 5–10. (in Russ.)
18.Schuher F., Schellenherg R., Dimpjd W. Reflection of mental exercise in the dynamic quantitative topographical EEG. *Neuropsychobiology*, 1995, vol. 31, no. 2, pp. 98–112.
19.Korobeinikova I.I. Relationship of human intellectual test performance with different spectral characteristics of the alpha rhythm of the initial EEG. *Tumen medical journal*, 2014, vol. 16, no. 3, pp. 50–53. (in Russ.)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:
Николай Алексеевич Каратыгин – ведущий научный сотрудник, кандидат биологических наук, ФГБНУ «ФИЦ оригинальных и перспективных биомедицинских и фармацевтических технологий», Москва, e-mail: nikol.karatygin@yandex.ru.
Ирина Ивановна Коробейникова – ведущий научный сотрудник, кандидат биологических наук, ФГБНУ «ФИЦ оригинальных и перспективных биомедицинских и фармацевтических технологий», Москва, e-mail: i_korobeinikova@mail.ru.
Яна Андреевна Венерина – ассистент кафедры нормальной физиологии, кандидат медицинских наук Первого МГМУ им. И. М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, e-mail: yana.venerina@gmail.com.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS
Nikolaj A. Karatygin – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher, Federal Research Center for Innovator and Emerging Biomedical and Pharmaceutical Technologies, Moscow; e-mail: nikol.karatygin@yandex.ru.
Irina I. Korobejnikova – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher, Federal Research Center for Innovator and Emerging Biomedical and Pharmaceutical Technologies, Moscow; e-mail: i_korobeinikova@mail.ru.
Yana A. Venerina – Candidate of Medical Sciences, Assistant professor, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, e-mail: yana.venerina@gmail.com.

Для цитирования: Каратыгин, Н.А. Спектральные характеристики α-диапазона исходной электроэнцефалограммы испытуемых с различной результативностью выполнения задачи «n-back» / Н.А. Каратыгин, И.И. Коробейникова, Я.А. Венерина // Современные вопросы биомедицины. – 2025. – Т. 9. – № 1(31). DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_01_22

For citation: Karatygin N.A., Korobejnikova I.I., Venerina Ya.A. Spectral characteristics of the α-band of the initial electroencephalogram in subjects with different results of “n-back” task. *Modern Issues of Biomedicine,* 2025, vol. 9, no. 1(31). DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_01_22