ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ/HUMAN AND ANIMAL PHYSIOLOGY

DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.162.127

ВЛИЯНИЕ КОГНИТИВНЫХ ТРЕНИНГОВ НА БИОЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ГОЛОВНОГО МОЗГА У СТУДЕНТОВ

Научная статья

Долецкий А.Н.[1, *], Кальдинова О.В.[2], Сулимова А.В.[3], Везиров Э.Ш.[4]
[2] ORCID : 0009-0008-4756-8214;
[3] ORCID : 0009-0004-3787-0613;
[1, 2, 3, 4] Волгоградский государственный медицинский университет, Волгоград, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (andoletsky[at]gmail.com)

Аннотация

Актуальность. Вопрос улучшения когнитивных функций актуален для широких групп населения: учащихся школ и высших учебных заведений, работников дорожно-транспортной службы, диспетчеров и других лиц, в силу профессии сталкивающихся с необходимостью запоминания больших объемов информации и дефицитом времени для принятия решения. Студенты высших учебных заведений сталкиваются с обеими проблемами: дефицитом времени и большим объемом запоминаемой информации, и поэтому часто сталкиваются с вопросом повышения когнитивных функций. Имеются доказательства пользы когнитивных тренировок у пожилых лиц. Вместе с тем отмечается дефицит информации, касающейся пользы от подобных нагрузок у лиц молодого возраста.

Цель. Оценить влияние когнитивных тренингов на биоэлектрическую активность головного мозга у студентов вуза.

Материалы и методы. В исследовании приняли участие 50 учащихся вузов Волгограда. Возраст участников 17–25 лет. Все участники должны были проходить ежедневные когнитивные тренинги по 15 минут в течение 30 дней. До и после курса когнитивных тренингов проводилось нейрофизиологическое и психологическое тестирование.

Результаты. По результатам когнитивных тестов отмечалось отличие между группами с различной эффективностью освоения тренингов. Данные электроэнцефалографии показали более выраженные отличия, наиболее значимыми оказались изменения амплитуды усредненных значений тета-активности и индивидуальные значения доминирующей частоты альфа-ритма.

Выводы. По амплитуде основных ритмов биоэлектрической активности можно предположить успешность обучения и эффективность когнитивных тренингов у студентов, заранее выявив группы лиц, у которых такой тренинг окажется наиболее эффективным.

Ключевые слова: когнитивные функции, когнитивные тренировки, ЭЭГ, память, внимание.

THE INFLUENCE OF COGNITIVE TRAINING ON THE BIOELECTRICAL ACTIVITY OF THE BRAIN IN STUDENTS

Research article

Doletskii A.N.[1, *], Kaldinova O.V.[2], Sulimova A.V.[3], Vezirov E.S.[4]
[2] ORCID : 0009-0008-4756-8214;
[3] ORCID : 0009-0004-3787-0613;
[1, 2, 3, 4] Volgograd State Medical University, Volgograd, Russian Federation

* Corresponding author (andoletsky[at]gmail.com)

Abstract

Relevance. The issue of improving cognitive functions is relevant for broad segments of the population: school and university students, road transport service employees, dispatchers, and others who, due to their profession, are faced with the need to memorise large amounts of information and have limited time to make decisions. University students face both problems: a lack of time and a large amount of information to memorise, and therefore often face the issue of improving cognitive functions. There is evidence of the benefits of cognitive training in older people. However, there is a lack of information on the benefits of such training for young people.

Objective. To evaluate the effect of cognitive training on the bioelectrical activity of the brain in university students.

Materials and methods. 50 students from Volgograd universities took part in the survey. The participants were aged between 17 and 25. All participants had to undergo daily cognitive training sessions lasting 15 minutes for 30 days. Neurophysiological and psychological testing was carried out before and after the cognitive training course.

Results. Cognitive test results showed differences between groups with varying levels of training effectiveness. Electroencephalography data showed more pronounced differences, with the most significant being changes in the amplitude of average theta activity values and individual values of the dominant alpha rhythm frequency.

Conclusions. Based on the amplitude of the main rhythms of bioelectrical activity, it is possible to predict the success of learning and the effectiveness of cognitive training in students by identifying in advance the groups of individuals for whom such training will be most effective.

Keywords: cognitive functions, cognitive training, EEG, memory, attention.

Введение

В обществе есть устойчивый стереотип, что когнитивные нарушения встречаются только у пожилых людей, однако по результатам опроса у 12% людей в возрасте 45–64 лет наблюдались жалобы на легкие нарушения памяти (быстрая утомляемость, рассеянность, низкая концентрация внимания, общее снижение трудоспособности) [1]. Согласно результатам международного тестирования TIMSS-R, у учащихся старших классов наблюдается низкий уровень умения анализировать данные и применения этих знаний в повседневной жизни [2].

Существует множество онлайн приложений, заявляющих о способности улучшить память, повысить концентрацию внимания и увеличить скорость принятия решений. В качестве примера можно привести NeuroNational, Lumosity, CogniFit, «Викиум». Обзор исследований по теме когнитивных тренировок показал, что систематические занятия помогают оттачивать отдельные специфические движения (нахождение похожих предметов), однако до сих пор не доказано, что они повышают работоспособность мозга в других областях и решаемых задачах [3], [4], [5]. Bastian с соавт. указывает на трудности переноса результата когнитивных тренировок на другие функции, отличные от тренируемых [6].

Для объективизации изменений когнитивных функций предпринимаются разные попытки поиска критериев эффективности. Наиболее часто при этом используются результаты электроэнцефалографии (ЭЭГ). Taya F. с соавт. в своем обзоре [7] предлагает использовать мониторинг когнитивной нагрузки в реальном времени, оценивая как индивидуальные характеристики активности нервной системы, так и динамику прогресса обучения.

Сведения об изменениях характеристик ЭЭГ при тренировке рабочей памяти есть и в работе [8]. Авторы описывают вызванные данным вариантом когнитивного тренинга усиление тета-ритма в лобных долях, повышение когерентности нейронных матриц лобной и затылочной областей в альфа диапазоне и повышение активности бета-активности в лобных, височных и затылочных отведениях.

В работе [9] авторы изучили изменения в функциональных сетях мозга подростков после шести недель тренировок когнитивного контроля. С помощью высокопольного фМРТ-томографа было выявлено, что после когнитивной тренировки у подростков 12–14 лет увеличивается степень связности между циркулярно-оперкулярной сетью (CON) и остальными частями мозга.

Таким образом, проблема улучшения когнитивных функций актуальна среди лиц молодого возраста, которые сталкиваются с высокой интеллектуальной нагрузкой и дефицитом времени для принятия решений. Данные о результатах использования когнитивных тренингов в данной группе отрывочны и не могут быть экстраполированы из исследований других возрастных групп в силу разных нагрузок и особенностей функционирования функциональных сетей мозга в разные возрастные периоды. Поэтому актуальным являлось проведение исследования эффективности когнитивных тренингов у студентов высших учебных заведений.

Методы и принципы исследования

Выборку исследования составили 50 студентов-медиков в возрасте от 17 до 25 лет.

Исследование состояло из трех этапов:

1. Психологическое и нейрофизиологическое обследование до прохождения когнитивных тренингов.
2. Прохождение ежедневных занятий в течение 30 дней на базе онлайн-сервиса «Викиум».
3. Психологическое и нейрофизиологическое обследование после прохождения когнитивных тренингов.

Психологическое обследование включало в себя оценку уровня тревожности (тест Спилбергера); оценку самочувствия, активности, настроения (тест САН); определение уровня дневной сонливости в различных ситуациях (шкала сонливости Epworth); оценку субъективных характеристик сна Шпигеля.

Нейрофизиологическое обследование проводилось в три этапа. На первом этапе у испытуемого регистрировалась электроэнцефалограмма в состоянии покоя с закрытыми глазами (фоновая запись) в течение 5 минут и оценивалась реакция активации в пробе с открытием глаз (10–15 с). На втором этапе исследуемому предлагалось пройти тесты на скорость реакции (тест Струпа, таблицы Шульте) и на запоминание (тест «Память на числа», тест «Узнавание фигур» (тест Бернштейна). Во время выполнения тестов регистрировалась электроэнцефалограмма. На третьем этапе, сразу после прохождения когнитивных тестов, у обследуемых повторно регистрировалась электроэнцефалограмма в состоянии покоя с закрытыми глазами в течение 5 минут.

Электроэнцефалографические показатели, характеризующие активность различных отделов коры больших полушарий мозга, регистрировали в 21 отведении по международной схеме «10-20». В качестве референтного использовали объединенный ушной электрод. Выполнялся спектральный анализ полученных записей в свободных от артефактов 6 секундных фрагментах ЭЭГ. В качестве ЭЭГ показателя использовали амплитуду альфа- и бета1-ритма и доминирующую частоту в альфа-диапазоне. Данные частотные диапазоны были выбраны, поскольку большинством авторов считается, что на их формирование и выраженность влияют процессы памяти, внимания, обучения [10], [11].

Статистическая обработка данных проводилась с использованием программы обработки данных R (версия 4.2.1). Проводилась оценка нормальности распределений тестом Шапиро-Уилка. Оценка различий между группами проводилась с помощью непараметрического критерия Краскела-Уоллиса. Оценку различий между парными выборками проводили с использованием t-критерия Стьюдента при нормальном распределении, критериев Вилкоксона и Манна-Уитни при распределении переменных, отличающемся от нормального. Оценивались как исходные значения исследуемых показателей, так и динамика, рассчитываемая как отношение разницы значений после тренинга и исходных величин к значениям показателей до проведения тренингов.

Для выявления скрытых неоднородностей выборки использовали кластерный анализ методом K-средних. Для выбора количества кластеров использовался критерий «каменистой осыпи» Кеттела.

Для выявления зависимостей между изучаемыми параметрами проводили корреляционный анализ с использованием коэффициента ранговой корреляции Спирмена (r) и многофакторный дисперсионный анализ с применением критерия Краскела-Уоллиса и post-hoc анализа с коррекцией p-значений при помощи теста Данна. Величину уровня значимости p во всех процедурах статистического анализа принимали равной 0,05.

Основные результаты

Анализ психометрических тестов Спилберга и САН до и после серии тренировок показал отсутствие значимых различий. Самочувствие, активность и настроение не коррелируют с качеством тренировок и успешностью обучения (r=0,1).

По результатам когнитивных тестов были выявлены следующие результаты:

Исходно эффективность запоминания фигур у студентов значительно выше запоминания чисел (табл.1). После прохождения 30-дневных когнитивных тренировок наблюдаются значительные улучшения в запоминании чисел, без особого улучшения запоминания фигур.

Таблица 1 - Эффективность запоминания

DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.162.127.1

	Исходные значения			После курса тренингов		
	1 квартиль	медиана	3 квартиль	1 квартиль	медиана	3 квартиль
т.Струпа, с	58	62,5	68	52	57,5	64
т.Шульте, с	28	33	39,8	25,2	30	37
Память на числа, %	17	25	33	25	33	50
Запоминание фигур, %	80	95	95	90	95	100

Данная закономерность может быть связна с тем, что повседневный образ жизни основывается на восприятии зрительной образной информации (телефоны, компьютеры, рекламные плакаты на улицах). Обработка образной информации более привычна и требует меньшей активности, поэтому запоминание фигур легче запоминания чисел.

По результатам попарного анализа результатов до и после тренинга (использовался непараметрический тест Вилкоксона с поправкой на множественные сравнения методом Бенджамини-Хохберга) значимые изменения выявлены только для теста Струпа и памяти на числа. Вместе с тем, оценка индивидуальной вариабельности разницы данных показателей до и после курса когнитивных тренингов показывает значительный размах изменений. Так, для нормализованных значений теста Струпа и теста «Память на числа» первый квартиль изменений был -2 и 0, соответственно. Это свидетельствует о том, что у 25% выборки динамика отсутствовала или отмечалось ухудшение запоминаний после курса тренингов.

Значимые различия и большая вариабельность динамики значений дали основание разделить выборку по динамике нормализованных показателей прохождения когнитивных тестов до и после тренинга, выраженной в процентах. Использовался кластерный анализ методом К-средних с числом кластеров, равным 2.

Последующий дисперсионный анализ для проверки различий в динамике показателей (использовался метод ANOVA с поправкой на множественные сравнения Бенджамини-Хохберга) выявил значимую разницу между кластерами по динамике значений в тесте на запоминание фигур, в тесте Струпа и тесте Шульте.

3.1. Тест Струпа

В 1 группе (22 человека) показатели времени реакции были хуже, так как исходное время составляло 61,5, 69 и 82 с (НК, Ме и ВК соответственно). Во 2 группе (28 человек) отмечалось исходно низкое значение времени реакции в тесте. При этом значения 1 квартиля (НК) составили 56 с, медианы (Ме) 58,5 с, 3 квартиля (ВК) — 65 с. По окончании курса тренингов время прохождения теста в первой группе снизилось (НК=-30,3; Ме=-19,8; ВК=-12,4%). Следовательно, в данной группе эффективность прохождения теста Струпа увеличилась.

Проанализирована динамика прохождения теста. Рассчитано отношение разницы между скоростью прохождения теста после тренинга и до тренинга к исходному значению, выраженное в %. Выявлено, что во 2 группе время прохождения теста уменьшилось в среднем на 2,4% (НК=-10,6; ВК=9,3%). Положительное значение ВК свидетельствует о том, что не менее 25% обследуемых из данной группы ухудшили свои показатели (Рис.1).

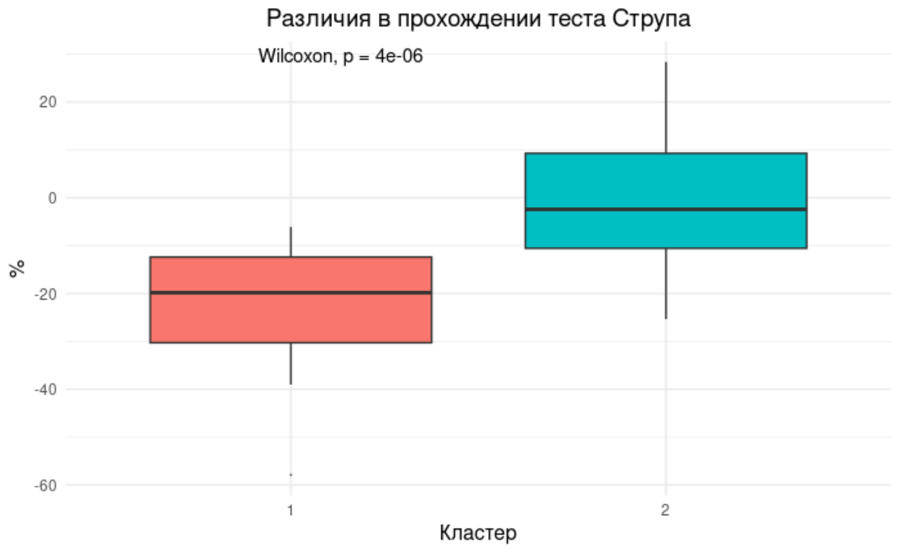

Рисунок 1 - Изменения эффективности прохождения теста Струпа в 2 группах
DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.162.127.2

3.2. Тест запоминание фигур

В 1 группе способность удержания в кратковременной памяти изображений в среднем составляла 85% (НК=65; Ме=85; ВК=95%). Во 2 группе наблюдалась исходно более высокая эффективность запоминания изображений (НК=90; Ме=95; ВК=100%). По окончании курса тренингов обследуемые первой группы улучшили эффективность запоминания фигур в среднем на 9% (НК=0; Ме=9; ВК=46,2%, Рис. 2). Во 2 группе отмечалась разноплановая реакция (НК=-10,3; Ме=0; ВК=5,3%), разница с исходными значениями оказалась незначительной.

3.3. Тест Шульте

В 1 группе время прохождения теста в среднем составило 32,5 с (НК=27,8; Ме=33,5; ВК=35,5 с). Во 2 группе наблюдалась исходно большее время, соответствующее меньшей скорости выполнения задания (НК=29,5; Ме=33,5; ВК=43,25 с). По окончании курса тренингов обследуемые первой группы увеличили время прохождения теста в среднем на 14,5% (НК=-11, Ме=14,5, ВК=24,5%). Во 2 группе отмечалось значительное снижение времени реакции (НК=-39,65; Ме=-25,6; ВК=-15,7%), что отражает больший эффект от тренингов во второй группе обследуемых (Рис.2).

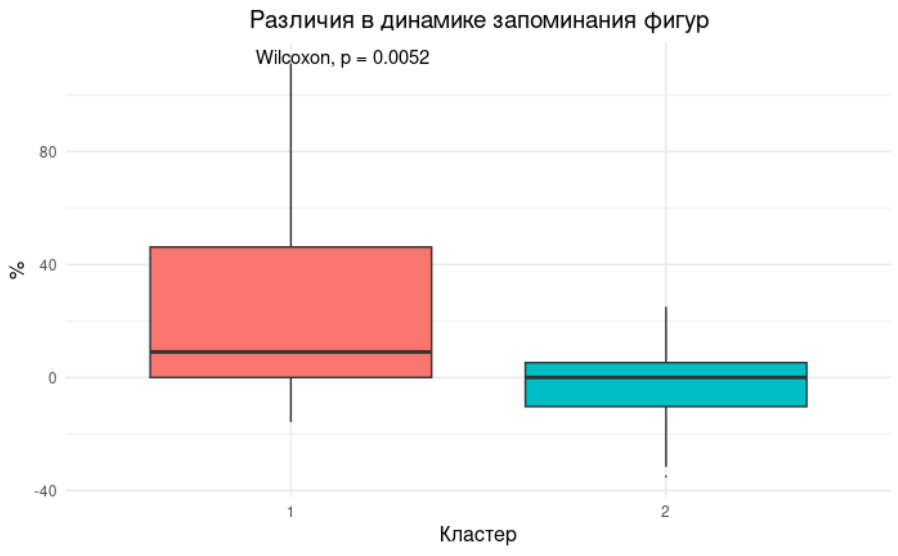

Рисунок 2 - Изменения эффективности прохождения теста теста на запоминание графических фигур в 2 группах
DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.162.127.3

Полученные в результате кластерного анализа результаты свидетельствуют о неоднородности обследуемых в отношении к эффективности когнитивных тренингов. При этом лица из первого кластера продемонстрировали улучшение по когнитивным тестам. Лица, отнесенные ко второму кластеру, имели незначительную динамику и в целом могут считаться не имевшими значительных улучшений по динамике прохождения когнитивных тестов.

3.4. Спектральный анализ электроэнцефалографии

Поскольку сведения о связи биоэлектрической активности с когнитивными тренингами малочисленны и противоречивы, проводился четырехфакторный дисперсионный анализ связи результатов спектрального анализа основных диапазонов активности в 21 отведении по стандарту «10-20» и отведением, полом, кластером, состоянием до или после тренингов. Результат выявил значимую связь вариабельности спектральной мощности тета-диапазона и комбинаций факторов пол+кластер, состояние+кластер. Это позволило сосредоточиться на анализе динамики тета-активности и провести пост-хок тесты (попарные сравнения) для выявленных комбинаций факторов. Значимым оказалось снижение мощности тета-активности у лиц женского пола, относящихся к первой группе обследуемых в отведениях Fp1-A1, P3-A1, T3-A1, T5-A1 (Рис.3).

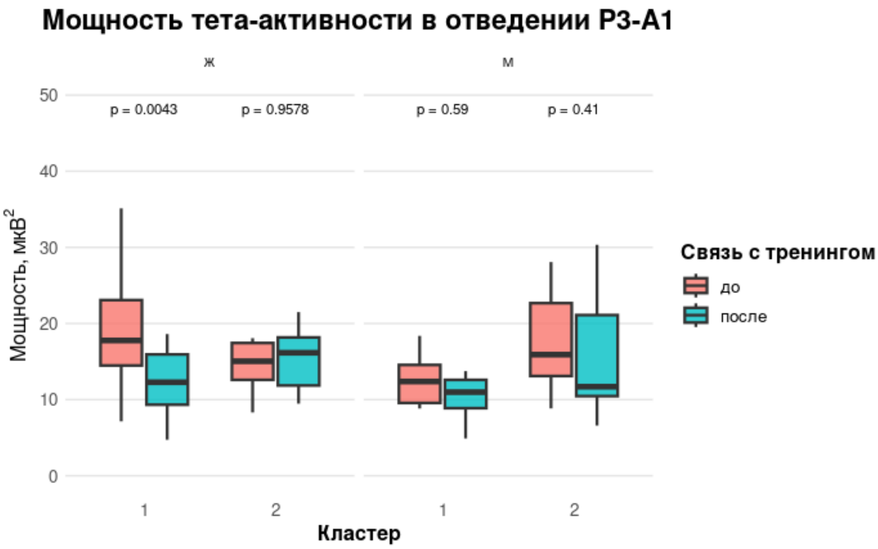

Рисунок 3 - Значения мощности тета-диапазона ЭЭГ у лиц, различающихся по полу и принадлежности к эффективному или неэффективному кластеру

DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.162.127.4

Также отмечалось снижение мощности биоэлектрической активности бета-2 диапазона у лиц женского пола, относящихся ко второй группе обследуемых в отведениях F7-A1, T3-A1. В остальных комбинациях факторов группа обследуемых и пол отличий в биоэлектрической активности не отмечалось.

3.5. Анализ доминирующей частоты альфа-ритма электроэнцефалографии

В литературе также имеются сведения о связи с когнитивными функциями индивидуальной частоты биоэлектрической активности альфа-диапазона (ДЧАР) [10], [11], [12]. Проводился четырехфакторный дисперсионный анализ связи ДЧАР в 21 отведении по стандарту «10–20» и отведением, полом, кластером, состоянием до и после тренингов. Результат не выявил связи ДЧАР и комбинаций факторов пол, кластер, состояние, отведение. При этом выделение только лобных отведений в анализе динамики ДЧАР, как рекомендуется в работе [12], с проведением дисперсионного анализа групп (критерий Краскелла-Уоллиса) выявило значимые изменения у лиц женского пола, относящихся к 1 (успешному) кластеру. По результатам курса тренингов в данной группе отмечалось значимое увеличение частоты альфа-ритма в лобных отведениях Fp1, Fp2, Fz, F3, F4, F7, F8 (Рис. 4).

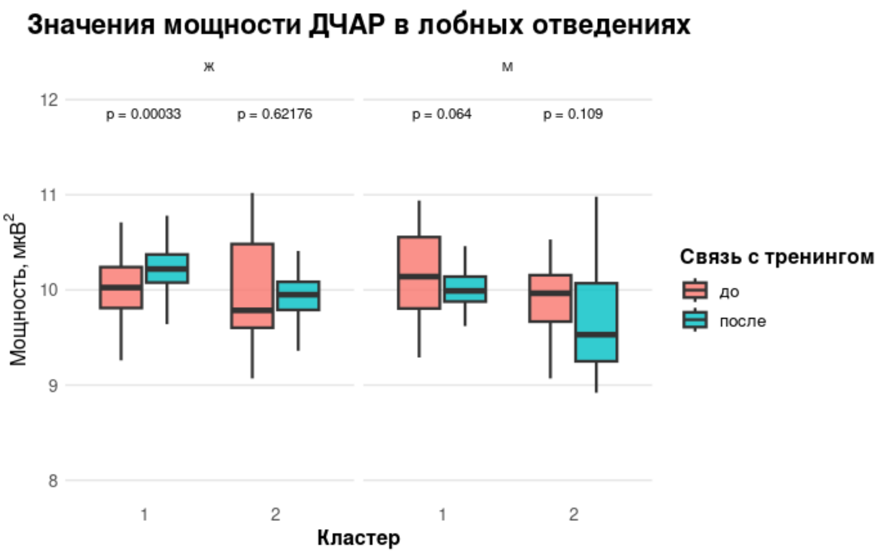

Рисунок 4 - Динамика доминирующей частоты альфа-ритма у лиц, различающихся по полу и принадлежности к эффективному или неэффективному кластеру

DOI: https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.162.127.5

Обсуждение

Полученные результаты свидетельствуют об эффективности когнитивных тренингов у части обследуемых. При этом результаты согласуются с литературными сведениями о том, что ЭЭГ является важным инструментом исследования динамики тренингов и прогностическим критерием [13], [14]. На основе анализа суммарной электрической активности мозга можно оценить вероятность успешного усвоения навыков по запоминанию информации, увеличения произвольного влияния. Данные о мощности ритмов тета-диапазона в лобно-теменных отведениях и ДЧАР в лобных отведениях могут использоваться для оценки вероятности успешности обучения и эффективности когнитивных тренингов у студентов.

Новыми являются сведения о роли женского пола и исходно неоптимальных значениях биоэлектрической активности мозга (повышенная мощность тета-активности, относительно низкая ДЧАР), сопровождающихся исходно меньшими показателями эффективности прохождения когнитивных тренингов. Полученные результаты можно интерпретировать как проявления закона средних значений, согласно которому более лабильными являются физиологические системы и параметры, имеющие отличные от оптимальных значения [15]. Гендерные отличия могут свидетельствовать о более высокой мотивации к прохождению тренингов и более высокой усидчивости у лиц женского пола.

Результаты исследования создают более комплексный взгляд на процесс проведения когнитивного тренинга у здоровых лиц молодого возраста, согласуясь с литературными данными о прогностической роли характеристик биоэлектрической активности [9], [16].

Заключение

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что регулярное прохождение когнитивных тренировок в течение месяца статистически значимо повышает показатели кратковременной памяти и скорости принятия решений. Установлено, что количество тренировок не всегда связанно с их эффективностью, поэтому требуется дальнейшее наблюдение за временем тренировок и мотивацией самих обучающихся. Прогностическая значимость электроэнцефалографии заключается в том, что по амплитуде тета-активности и доминирующей частоте альфа-ритма можно предположить успешность обучения и эффективность когнитивных тренингов у лиц молодого возраста женского пола.

Конфликт интересов

Не указан.

Conflict of Interest

None declared.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Paradise M.B. Subjective memory complaints, vascular risk factors and psychological distress in the middle-aged: a cross-sectional study. / M.B. Paradise // BMC Psychiatry. — 2011. — № 11. — P. 108. — DOI: 10.1186/1471-244X-11-108

2. Ковалева Г.С. Краткий отчет «Результаты третьего международного исследования по оценке качества математического и естественнонаучного образования в России» / Г. С. Ковалева, К. А. Краснянская. — Москва : Центр ОКО ИОСО РАО, 2000. — С. 1–22.

3. Simons D.J. Psychological Science in the Public Interest. / D.J. Simons, W.R. Boot, R. Charness // Psychological Science in the Public Interest. — 2016. — № 17. — P. 103–186. — DOI: 10.1177/1529100616661983

4. Stojanoski B. Targeted training: Converging evidence against the transferable benefits of online brain training on cognitive function. / B. Stojanoski, K.M. Lyons, A.A. Pearce et al. // Neuropsychologia. — 2018. — № 117. — P. 541–550. — DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2018.07.013

5. Jaeggi S.M. Scientific American / S.M. Jaeggi, A. Pahor, A.R. Seitz // Does 'Brain Training' Actually Work?. — 2020. — URL: https://www.scientificamerican.com/article/does-brain-training-actually-work/. (дата обращения: 24.10.20)

6. von Bastian C.C. Mechanisms underlying training-induced cognitive change. / C.C. von Bastian, S. Belleville, R.C. Udale // Nature Reviews Psychology. — 2022. — № 1. — P. 30–41. — DOI: 10.1038/s44159-021-00001-3

7. Taya F. Brain enhancement through cognitive training: a new insight from brain connectome. / F. Taya, Y. Sun, F. Babiloni // Frontiers in Systems Neuroscience. — 2015. — № 9. — P. 44. — DOI: 10.3389/fnsys.2015.00044

8. Tian Y. Research on Differential Brain Networks before and after WM Training under Different Frequency Band Oscillations / Y. Tian, H. Zhou, H. Zhang et al. // Neural Plasticity. — 2021. — P. 6628021. — DOI: 10.1155/2021/6628021

9. Lee R. Cognitive control training enhances the integration of intrinsic functional networks in adolescents. / R. Lee, S. Kwak, D. Lee et al. // Frontiers in Human Neuroscience. — 2022. — № 16. — P. 859358. — DOI: 10.3389/fnhum.2022.859358

10. Новикова С.И. Ритмы ЭЭГ и когнитивные процессы. / С.И. Новикова // Современная зарубежная психология. — 2015. — № 1. — С. 91–108.

11. Долецкий А.Н. Трансформация взглядов на механизм генерации и физиологическую интерпретацию альфа-ритма ЭЭГ. / А.Н. Долецкий, Д.А. Докучаев, А.А. Лата // Волгоградский научно-медицинский журнал. — 2019. — № 1. — С. 14–19.

12. Начарова М.А. Особенности взаимосвязи между индивидуальной пиковой частотой альфа-ритма ЭЭГ и характеристиками общего интеллекта. / М.А. Начарова, С.А. Махин, В.Б. Павленко // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. Биология. Химия. — 2019. — № 5. — С. 132–144.

13. Поликанова И.С. Влияние длительной когнитивной нагрузки на параметры ЭЭГ. / И.С. Поликанова, А.В. Сергеев // Национальный психологический журнал. — 2014. — № 1. — С. 84–92.

14. Корнеев А.А. Прогностическое значение электроэнцефалографических и нейропсихологических показателей состояния регуляторных функций мозга для оценки вероятности отклонений поведения у подростков. / А.А. Корнеев, М.Н. Захарова, А.В. Курганский // Экспериментальная психология. — 2021. — № 1. — С. 135–150. — DOI: 10.17759/exppsy.2021140106

15. Долецкий А.Н. Нейрофизиологические механизмы адаптивного биоуправления и пути повышения его эффективности: дис. ... д-ра мед. наук / Долецкий Алексей Николаевич. — Волгоград, 2013. — 300 с.

16. Parsons B. Enhancing learning in a perceptual-cognitive training paradigm using EEG-neurofeedback. / B. Parsons, J. Faubert // Scientific Reports. — 2021. — № 11. — P. 4061. — DOI: 10.1038/s41598-021-83456-x

Список литературы на английском языке / References in English

1. Paradise M.B. Subjective memory complaints, vascular risk factors and psychological distress in the middle-aged: a cross-sectional study. / M.B. Paradise // BMC Psychiatry. — 2011. — № 11. — P. 108. — DOI: 10.1186/1471-244X-11-108

2. Kovaleva G.S. Kratkij otchet "Rezul'taty tret'ego mezhdunarodnogo issledovaniya po ocenke kachestva matematicheskogo i estestvennonauchnogo obrazovaniya v Rossii" [Brief report "Results of the third international study on assessing the quality of mathematics and science education in Russia"] / G.S. Kovaleva, K.A. Krasnyanskaya. — Moscow: Center for Education in the Field of Mathematics and Natural Sciences, RAO, 2000. — P. 1–22. [in Russian]

3. Simons D.J. Psychological Science in the Public Interest. / D.J. Simons, W.R. Boot, R. Charness // Psychological Science in the Public Interest. — 2016. — № 17. — P. 103–186. — DOI: 10.1177/1529100616661983

4. Stojanoski B. Targeted training: Converging evidence against the transferable benefits of online brain training on cognitive function. / B. Stojanoski, K.M. Lyons, A.A. Pearce et al. // Neuropsychologia. — 2018. — № 117. — P. 541–550. — DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2018.07.013

5. Jaeggi S.M. Scientific American / S.M. Jaeggi, A. Pahor, A.R. Seitz // Does 'Brain Training' Actually Work?. — 2020. — URL: https://www.scientificamerican.com/article/does-brain-training-actually-work/. (accessed: 24.10.20)

6. von Bastian C.C. Mechanisms underlying training-induced cognitive change. / C.C. von Bastian, S. Belleville, R.C. Udale // Nature Reviews Psychology. — 2022. — № 1. — P. 30–41. — DOI: 10.1038/s44159-021-00001-3

7. Taya F. Brain enhancement through cognitive training: a new insight from brain connectome. / F. Taya, Y. Sun, F. Babiloni // Frontiers in Systems Neuroscience. — 2015. — № 9. — P. 44. — DOI: 10.3389/fnsys.2015.00044

8. Tian Y. Research on Differential Brain Networks before and after WM Training under Different Frequency Band Oscillations / Y. Tian, H. Zhou, H. Zhang et al. // Neural Plasticity. — 2021. — P. 6628021. — DOI: 10.1155/2021/6628021

9. Lee R. Cognitive control training enhances the integration of intrinsic functional networks in adolescents. / R. Lee, S. Kwak, D. Lee et al. // Frontiers in Human Neuroscience. — 2022. — № 16. — P. 859358. — DOI: 10.3389/fnhum.2022.859358

10. Novikova S.I. Ritmy' E'E'G i kognitivny'e processy' [EEG rhythms and cognitive processes]. / S.I. Novikova // Journal of Modern Foreign Psychology. — 2015. — № 1. — P. 91–108. [in Russian]

11. Doleczkij A.N. Transformaciya vzglyadov na mexanizm generacii i fiziologicheskuyu interpretaciyu al'fa-ritma E'E'G [Transformation of views on the mechanism of generation and physiological interpretation of the EEG alpha rhythm]. / A.N. Doleczkij, D.A. Dokuchaev, A.A. Lata // Volgograd Journal of Medical Research. — 2019. — № 1. — P. 14–19. [in Russian]

12. Nacharova M.A. Osobennosti vzaimosvyazi mezhdu individual'noj pikovoj chastotoj al'fa-ritma E'E'G i xarakteristikami obshhego intellekta [Features of the relationship between the individual peak frequency of the EEG alpha rhythm and the characteristics of general intelligence]. / M.A. Nacharova, S.A. Maxin, V.B. Pavlenko // Scientific Notes of V.I. Vernadsky Crimean Federal University. Biology. Chemistry. — 2019. — № 5. — P. 132–144. [in Russian]

13. Polikanova I.S. Vliyanie dlitel'noj kognitivnoj nagruzki na parametry' E'E'G [The effect of long-term cognitive load on EEG parameters]. / I.S. Polikanova, A.V. Sergeev // National Psychological Journal. — 2014. — № 1. — P. 84–92. [in Russian]

14. Korneev A.A. Prognosticheskoe znachenie e'lektroe'ncefalograficheskix i nejropsixologicheskix pokazatelej sostoyaniya regulyatorny'x funkcij mozga dlya ocenki veroyatnosti otklonenij povedeniya u podrostkov [PrognosticValue of Electroencephalographic and Neuropsychological Indicators of the State of Regulatory Functions ofthe Brain to Assess the Likelihood of Behavioral Abnormalities in Adolescents.]. / A.A. Korneev, M.N. Zaxarova, A.V. Kurganskij // Experimental Psychology. — 2021. — № 1. — P. 135–150. — DOI: 10.17759/exppsy.2021140106 [in Russian]

15. Doletskii A.N. Neirofiziologicheskie mekhanizmi adaptivnogo bioupravleniya i puti povisheniya yego effektivnosti [Neurophysiological mechanisms of adaptive biofeedback and ways to improve its effectiveness]: dis. ... of PhD in Medical Sciences / Doletsky Alexey Nikolaevich. — Volgograd, 2013. — 300 p. [in Russian]

16. Parsons B. Enhancing learning in a perceptual-cognitive training paradigm using EEG-neurofeedback. / B. Parsons, J. Faubert // Scientific Reports. — 2021. — № 11. — P. 4061. — DOI: 10.1038/s41598-021-83456-x