

ПРИБОРЫ, СИСТЕМЫ И ИЗДЕЛИЯ МЕДИЦИНСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

MEDICAL DEVICES, SYSTEMS AND PRODUCTS

УДК 61.13058

doi:10.21685/2307-5538-2022-4-10

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА КОМПЛЕКСНОЙ ОБРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЦЕФАЛОГРАФИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ У ЛЮДЕЙ С ЭМОЦИОНАЛЬНЫМИ РАССТРОЙСТВАМИ

С. Ю. Тверская¹, А. Ю. Тычков², П. П. Чураков³, В. Н. Горбунов⁴

^{1,2,3,4} Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

¹ tverskaya_sofya@mail.ru, ² tychkov-a@mail.ru, ³ churakov-pp@mail.ru, ⁴ ctt@pnzgu.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Ежедневно на каждого человека оказывает воздействие целая сумма факторов, имеющих эмоциональный и стрессовый характер, что может привести к появлению онкологических или сердечно-сосудистых заболеваний. Известно, что до 20 % населения мира подвержены тревоге и депрессии вне зависимости от расовой принадлежности, региона и уровня благосостояния. Целью работы является разработка и исследование оригинального алгоритма комплексной обработки и анализа электроэнцефалографических сигналов у людей в условиях эмоционального возбуждения. *Материалы и методы.* Для проведения исследований сформирована выборка испытуемых из 30 человек возрастом от 23 до 28 лет, давших добровольное согласие на проведение эксперимента в соответствии с протоколом клинического исследования. Измерение параметров электроэнцефалографических сигналов осуществлялось в спокойном состоянии, в естественной нагрузке и шести режимах аудиовизуальной стимуляции (sleep, learn, energ, create, fun, special). Для сравнения полученных результатов проведены численные методы анализа: амплитудный, спектральный и корреляционный. *Результаты и выводы.* В результате проведенных исследований выявлено, что в режиме аудиовизуальной стимуляции с открытыми глазами и energ регистрируется процесс возбуждения полушарий головного мозга, что свидетельствует о выраженной картине эмоционального состояния. В режимах sleep и fun регистрируется стабилизация эмоционального напряжения.

Ключевые слова: электроэнцефалографический сигнал, информативные параметры, контроль и коррекция, физиологическая активность

Для цитирования: Тверская С. Ю., Тычков А. Ю., Чураков П. П., Горбунов В. Н. Разработка и исследование алгоритма комплексной обработки электроэнцефалографических сигналов у людей с эмоциональными расстройствами // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2022. № 4. С. 71–79. doi:10.21685/2307-5538-2022-4-10

DEVELOPMENT AND STUDY OF AN ALGORITHM FOR COMPLEX PROCESSING OF ELECTROENCEPHALOGRAPHIC SIGNALS IN PEOPLE WITH EMOTIONAL DISORDERS

S.Yu. Tverskaya¹, A.Yu. Tychkov², P.P. Churakov³, V.N. Gorbunov⁴

^{1,2,3,4} Penza State University, Penza, Russia

¹ tverskaya_sofya@mail.ru, ² tychkov-a@mail.ru, ³ churakov-pp@mail.ru, ⁴ ctt@pnzgu.ru

Abstract. *Background.* Every day, every person is affected by a whole range of factors that are emotional and stressful in nature, which can lead to the appearance of oncological or cardiovascular diseases. It is known that up to 20 % of the world's population is prone to anxiety and depression, regardless of race, region and wealth level. The aim of the work is

to develop and study an original algorithm for the complex processing and analysis of electroencephalographic signals in people under conditions of emotional arousal. *Materials and methods.* For the research, a sample of 30 subjects, aged from 23 to 28 years, was formed, who gave their voluntary consent to the experiment in accordance with the protocol of the clinical trial. Measurement of electroencephalographic signals parameters was carried out in a calm state, in a natural load and six modes of audiovisual stimulation (sleep, learn, energy, create, fun, special). To compare the obtained results, numerical methods of analysis were carried out: amplitude, spectral and correlation. *Results and conclusions.* As a result of the research, it was found that in the audiovisual stimulation mode with open eyes and energy, the process of excitation of the cerebral hemispheres is recorded, which indicates a pronounced picture of the emotional state. In the sleep and fun modes, stabilization of emotional stress is recorded.

Keywords: electroencephalographic signal, informative parameters, control and correction, physiological activity

For citation: Tverskaya S.Yu., Tychkov A.Yu., Churakov P.P., Gorbunov V.N. Development and study of an algorithm for complex processing of electroencephalographic signals in people with emotional disorders. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measuring. Monitoring. Management. Control.* 2022;(4):71–79. (In Russ.). doi:10.21685/2307-5538-2022-4-10

Введение

Расстройства тревожно-депрессивного спектра, вызванные стрессом, являются наиболее распространенными заболеваниями в мире. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ, 2014), тревоге и депрессии подвержены 15–25 % населения мира вне зависимости от расовой принадлежности, региона и уровня благосостояния [1]. По данным Министерства здравоохранения РФ, за последние 10 лет эмоциональные расстройства становятся предвестниками онкологических и сердечно-сосудистых заболеваний. В то же время главными проблемами при лечении и коррекции эмоциональных расстройств являются малоизученная их нейробиологическая природа, устойчивость к терапии, хронический характер и отсутствие эффективных физиотерапевтических средств лечения [2].

Начиная с 2010 г. четко наблюдается динамика по увеличению уровня эмоциональных расстройств населения с 3 до 8 % [3]. Чаще других с этим недугом сталкиваются женщины или молодежь в возрасте от 18 до 24 лет. При этом за помощью к друзьям или близким в поисках выхода из депрессивного состояния обращаются 58 % пациентов, 42 % – сами ищут выход из проблемной ситуации, 12 % – обращаются за помощью к психологу или психиатру, 9 % – занимаются самоуспокоением, а 7 % – используют успокоительные фармакологические средства.

Анализ объекта исследования

Эмоциональное расстройство называется любым психологическим расстройством, характеризующимся необычной реакцией человека (организма), которое неуместно или несоизмеримо его причине [4, 5]. Исследование головного мозга позволяет понять этиологию заболевания, выявить причину и реакцию организма на эмоциональное расстройство, а также позволяет подобрать способ реабилитации и лечения.

Исследования мозга обширны и не ограничиваются исследованиями эмоциональных расстройств [5–8]. Мозг человека и механизмы его деятельности привлекают внимание исследователей самых разных научных коллективов и направлений исследования [9, 10].

Оценить поведение работы головного мозга возможно по его электрической активности. Достаточное количество работ направлено на исследование ЭЭС [11, 12]. Электрическая активность головного мозга регистрируется на электроэнцефалографическом сигнале (ЭЭС) и представляет собой колебания разности потенциалов между двумя точками на поверхности головы обследуемого [13]. На каждый канал регистрации подаются напряжения, которые формируются двумя электродами: положительным и отрицательным.

ЭЭС представляется совокупностью следующих ритмов [14]:

– дельта-ритм, его частота 0,5–3 Гц. Дельта-ритм наблюдается в состоянии покоя, при некоторых формах стресса и при длительной умственной работе. Этот ритм также характерен для стадии глубокого сна без сновидений;

– тета-ритм, его частота 4–6 Гц. Данный частотный диапазон наблюдается при глубокой релаксации головного мозга, способствует хорошей памяти и быстрому усвоению информации;

– альфа-ритм, частота ритма составляет 8–13 Гц, амплитуда достигает 100 мкВ. Альфа-ритм является самым информативным при анализе ЭЭГ. Он более выражен в затылочных отделах головного мозга. В направлении лобных отделов его амплитуда уменьшается. Большую амплитуду альфа-ритма регистрируют в состоянии расслабленного бодрствования, при закрытых глазах;

– бета-ритм, частота составляет 14–35 Гц. Регистрируется при активном состоянии человека. Бета-ритм выражен в лобных областях, при этом в зависимости от вида деятельности (интенсивной) резко усиливается и распространяется на другие области мозга;

– гамма-ритм – это часть бета-диапазона в интервале 30–40 Гц, амплитуда составляет 2–10 мкВ. Гамма-ритм проявляется при решении задач, требующих максимального сосредоточения.

Следует отметить, что известные ритмы не всегда регистрируются одновременно на ЭЭС у каждого человека, что связано с его физической и физиологической восприимчивостью окружающего мира. Таким образом, регистрация данных посредством электроэнцефалографии является достаточно точным и в то же время сложным методом принятия решения об уровне эмоционального расстройства у человека путем анализа отдельных его ритмов. Требуется совершенствование и разработка новых методов и алгоритмов цифровой обработки ЭЭС и принятия решения.

Анализ предмета исследования

В настоящее время для восстановления эмоционального расстройства человека применяются различные приборы внешнего воздействия: вибрационные, акустические, оптические и их комбинации. Самыми распространенными являются приборы аудиовизуального воздействия, сочетающие в себе одновременно оптические и акустические методы воздействия на организм.

Аудиовизуальная стимуляция (АВС) [15, 16] является методом управления состоянием человека (уровнем бодрствования, состоянием сознания) с помощью комбинации ритмов, тонов определенной высоты и музыкальных звуковых стимулов с калейдоскопическими эффектами световой стимуляции.

Известно, что здоровый мозг обладает способностью следовать навязчивым ритмам. Эта способность может быть использована для «перевода» мозга из одного стрессового состояния в другое (из депрессивного в позитивное или наоборот). Целью метода АВС является формирование «навязанной» биоэлектрической активности головного мозга через стимуляцию сенсорных (слух, зрение) входов раздражителями.

В работе [17] отмечается, что метод АВС применяется в лечении тикозных гиперкинезов и поведенческих отклонений у детей. После курса АВС у детей отмечается положительная динамика лечения, а также повышается уровень развития внимания. В работе [18] метод АВС используется для профилактики переутомления у студентов. По результатам эксперимента выявлено повышение качества внимания у студентов.

Таким образом, метод АВС предлагается применять для проведения коррекции эмоционального состояния человека по результатам обработки ЭЭС. Данные исследования проводятся в соответствии с протоколом клинического исследования, утвержденного на заседании локального комитета по этике ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет».

Алгоритм комплексной обработки ЭЭС

Разработанный авторами алгоритм комплексной обработки ЭЭС и коррекции эмоционального состояния человека (рис. 1) позволяет повысить достоверность определения и коррекции диагностических показателей эмоциональных расстройств на ЭЭС.

Для проведения исследований сформирована выборка испытуемых из 30 человек, возрастом от 23 до 28 лет. Коррекция эмоциональных состояний приводилась за счет внешнего воздействия прибором Novo Pro 100 в базе лаборатории «Биомедицинские и когнитивные технологии» Пензенского государственного университета. Каждому испытуемому проведено восемь измерений, в том числе: измерение параметров на ЭЭС в спокойном состоянии (с закрытыми глазами), в естественной нагрузке (с открытыми глазами) и в шести режимах воздействия (Sleep, Learn, Energ, Create, Fun, Special). Снятие показаний проводилось в двух точках лобных долей головного мозга.

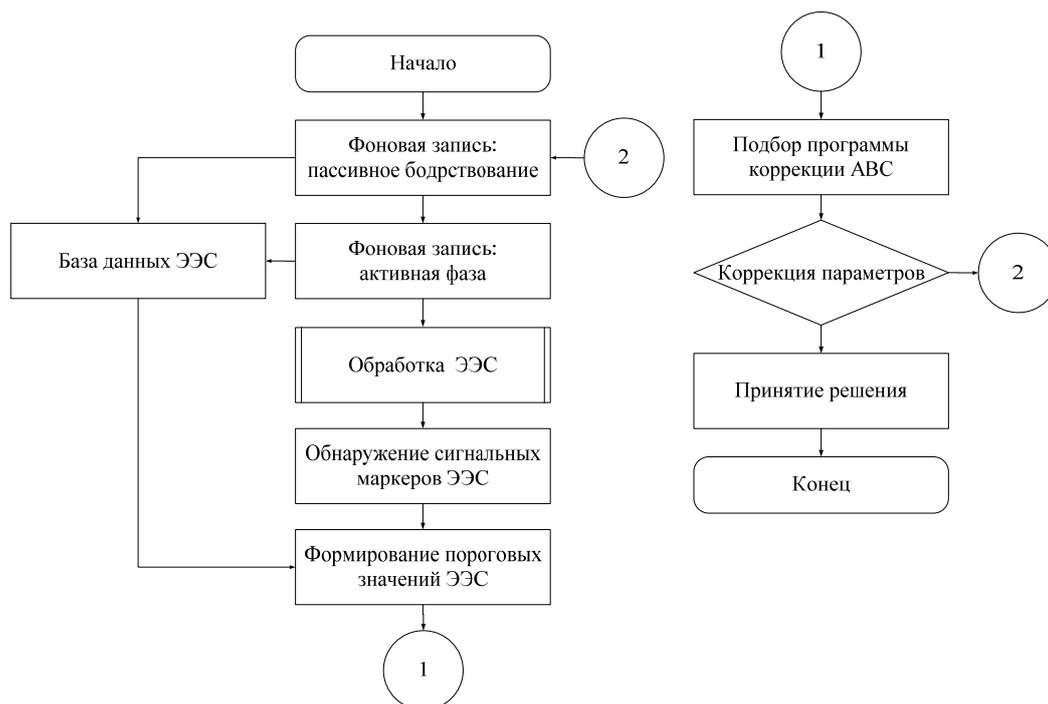


Рис. 1. Алгоритм комплексной обработки ЭЭС и ABC у пациентов с эмоциональными расстройствами

Для сравнения полученных результатов проведены численные методы анализа: амплитудный, спектральный и корреляционный.

Результаты амплитудного анализа по различным ритмам (дельта-ритм, тета-ритм, альфа-ритм, бета-НЧ-ритм, бета-ВЧ-ритм) приведены в табл. 1. В таблице приведены средние значения амплитуды ритмов в мкВ для всех испытуемых по двум отведениям (EEG FP1-A1, EEG FP1-A2). Отмечается, что в спокойном состоянии (открытые глаза) и в режиме Eng значение дельта-ритма превалирует в сравнении с другими ритмами и режимами воздействия, что составляет 20 мкВ. В этом случае отмечается высокий уровень эмоционального возбуждения. Тогда как в режиме Fun и Sleep наблюдается самое низкое значение амплитуды в бета-ВЧ и НЧ ритмах 1–2 мкВ, что характерно для проявления у испытуемого положительных эмоций и нормализации физиологического состояния. В этих же режимах также наблюдается значительное снижение значений амплитуд дельта-ритма.

Таблица 1

Амплитудный анализ ЭЭС

Состояние регистрации	Отведения	Разновидности ритмов, мкВ				
		Дельта	Тета	Альфа	Бета-НЧ	Бета-ВЧ
Открытые глаза	EEG FP1-A1	22	5	10	3	4
	EEG FP2-A2	21	4	11	3	4
Закрытые глаза	EEG FP1-A1	5	6	6	3	4
	EEG FP2-A2	5	6	5	4	4
Режим Sleep	EEG FP1-A1	4	5	9	1	2
	EEG FP2-A2	5	6	12	1	2
Режим Learn	EEG FP1-A1	15	5	7	4	5
	EEG FP2-A2	11	5	11	3	7
Режим Energ	EEG FP1-A1	22	3	9	3	5
	EEG FP2-A2	20	4	13	3	7
Режим Create	EEG FP1-A1	7	4	8	3	4
	EEG FP2-A2	5	4	14	3	5
Режим Fun	EEG FP1-A1	5	4	8	1	2
	EEG FP2-A2	4	3	15	2	2
Режим Special	EEG FP1-A1	7	5	6	3	5
	EEG FP2-A2	4	4	10	4	5

Для большинства испытуемых в условиях различного воздействия наблюдается значительное увеличение значений амплитуд в альфа диапазоне волн правого полушария (рис. 2). Тогда как бета-НЧ для обоих полушарий является относительно стабильным, что позволяет сделать вывод о положительном воздействии системы Novo Pro 100 для восстановления психоэмоционального состояния.

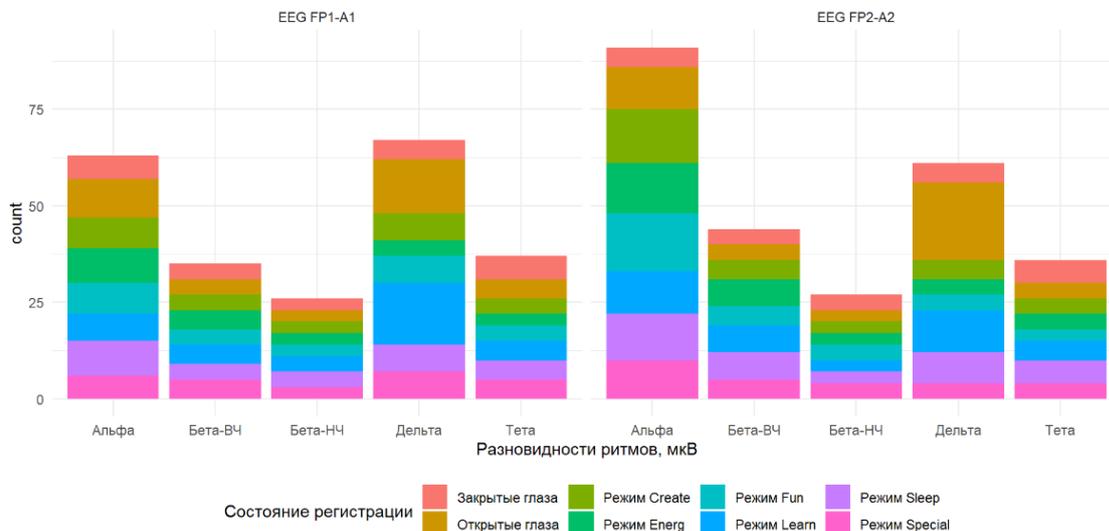


Рис. 2. Сравнение амплитуд ритмов волн обоих полушарий

По результатам амплитудного анализа также сделан вывод, что отдельные доли головного мозга наиболее активно реагируют на стимулы в определенных режимах (рис. 3). В режимах с открытыми глазами и Learn активно задействовано правое полушарие мозга. Близость значений активности правого полушария в режимах с открытыми глазами и Learn свидетельствуют о том, что восприятие информации испытуемыми осуществляется больше правым полушарием. Различия в показателях активности левого полушария объясняются отсутствием вербальной, цифровой и логической информации в режиме Learn у испытуемых.

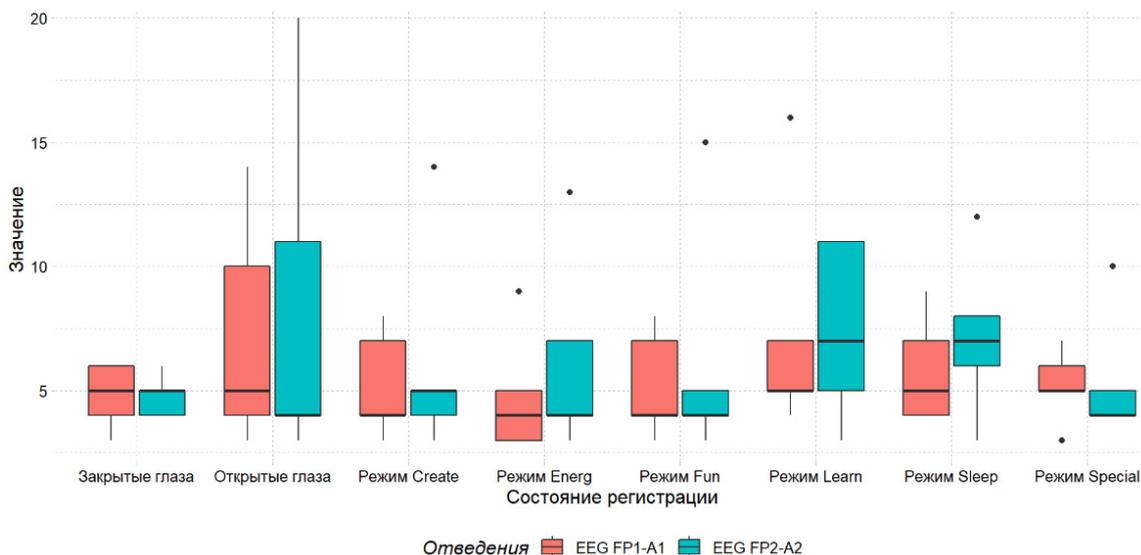


Рис. 3. Активность лобных отведений

В результате спектрального анализа [19] вычислены усредненные показатели мощности ЭЭС по всем экспериментам с выделением нормализованных значений (табл. 2): минимальная, максимальная и средняя амплитуды, доминирующая частота, средняя частота. Спектральный анализ ЭЭС позволяет выявить области с преобладанием определенной формы активности головного мозга, которая отражает баланс процессов возбуждения и торможения.

В результате анализа регистрируется значительное превышение максимальной амплитуды сигналов в режиме с открытыми глазами и Energ, тогда как в режиме Sleep данный показатель у большинства испытуемых снижается на порядок. Кроме того, среднее значение частоты для режимов с открытыми глазами и Energ также значительно выше в сравнении с другими режимами. Данные результаты позволяют сделать вывод о высоком уровне эмоционального возбуждения человека до обследования и стабилизации его состояния с применением отдельных его режимов.

Таблица 2

Спектральный анализ ЭЭС

Состояние регистрации	Отведения	Мин. ампл., мкВ	Макс. ампл., мкВ	Ср. ампл., мкВ	Доминир. частота, Гц	Ср. частота, Гц
Открытые глаза	EEG FP1-A1	0,04	13,35	0,74	0,74	13,07
	EEG FP2-A2	0,02	15,87	0,83	0,74	12,34
Закрытые глаза	EEG FP1-A1	0,02	3,01	0,44	0,62	7,96
	EEG FP2-A2	0,03	3,99	0,48	0,87	8,09
Режим Sleep	EEG FP1-A1	0,07	1,79	0,60	0,62	2,52
	EEG FP2-A2	0,06	2,41	0,66	0,62	2,15
Режим Learn	EEG FP1-A1	0,07	5,54	0,60	0,62	5,52
	EEG FP2-A2	0,07	5,96	0,67	0,74	5,39
Режим Energ	EEG FP1-A1	0,04	13,85	0,43	0,87	11,04
	EEG FP2-A2	0,02	15,81	0,48	0,65	12,29
Режим Create	EEG FP1-A1	0,09	5,26	0,56	0,62	6,01
	EEG FP2-A2	0,07	5,03	0,61	0,62	6,37
Режим Fun	EEG FP1-A1	0,08	2,48	0,54	0,62	2,62
	EEG FP2-A2	0,08	2,48	0,60	0,62	2,86
Режим Special	EEG FP1-A1	0,07	4,26	0,52	0,74	6,74
	EEG FP2-A2	0,08	4,59	0,56	0,74	6,86

В результате корреляционного анализа ЭЭС [20, 21] отмечается высокая положительная корреляция исследуемых сигналов в различных ритмах и отведениях, что означает синфазность или синхронность изменения двух сигналов. Высокая отрицательная корреляция означает синхронную противофазность ЭЭС, когда увеличению одного сигнала соответствует уменьшение другого. При асинхронном изменении сигналов корреляция близка к нулю. Результаты корреляционного анализа ЭЭС приведены в табл. 3, включающей следующие основные параметры: средняя частота автокорреляционной функции (АКФ), максимальный интервал значений, максимальный и средний размах, коэффициент автокорреляции.

Таблица 3

Корреляционный анализ ЭЭС

Состояние регистрации	Отведения	Ср. частота АКФ, Гц	Макс. интервал, мс	Макс. размах, мкВ	Ср. размах, мкВ	Коэфф. автокорреляции
Открытые глаза	EEG FP1-A1	19,2	316	2,9	2,0	0,73
	EEG FP2-A2	18,7	304	4,2	2,5	0,75
Закрытые глаза	EEG FP1-A1	12,2	374	0,3	0,0	0,25
	EEG FP2-A2	5,7	372	0,3	0,1	0,31
Режим Sleep	EEG FP1-A1	15,2	322	0,1	0,1	0,55
	EEG FP2-A2	15,2	302	0,09	0,1	0,50
Режим Learn	EEG FP1-A1	0,0	310	1,4	2,4	0,64
	EEG FP2-A2	16,6	302	0,7	0,2	0,64
Режим Energ	EEG FP1-A1	19,4	228	2,2	2,2	0,50
	EEG FP2-A2	20,6	212	2,4	2,0	0,56
Режим Create	EEG FP1-A1	11,4	198	0,2	0,1	0,61
	EEG FP2-A2	13,6	236	0,4	0,2	0,61
Режим Fun	EEG FP1-A1	12,5	306	0,2	0,0	0,38
	EEG FP2-A2	11,2	134	0,1	0,1	0,54
Режим Special	EEG FP1-A1	11,0	210	0,4	0,0	0,38
	EEG FP2-A2	11,3	228	0,3	0,1	0,52

Из таблицы видно, что в режиме с открытыми глазами и Energ среднее значение АКФ значительно выше в сравнении с другими режимами. В свою очередь, максимальный и средний размах амплитуды в режимах Sleep и Fun значительно ниже в сравнении с идентичными показателями других режимов.

Таким образом, в работе представлены три вида математического анализа ЭЭС: амплитудный, спектральный и корреляционный, каждый из которых подтвердил возможность регистрации эмоционального расстройства человека в режиме с открытыми глазами и режиме Energ, а также стабилизацию состояния здоровья посредством ABC в режиме Sleep и Fun.

Заключение

Эмоциональное возбуждение или торможение являются неотъемлемыми состояниями жизни каждого человека в различные периоды его жизни и развития. Тому способствуют внешние и внутренние факторы, как положительные, так и отрицательные. Оперативный контроль эмоционального состояния позволит вовремя принять превентивные меры и стабилизировать здоровье. Регистрация и анализ ЭЭС позволяют наиболее точно ответить на вопрос о наличии или отсутствии явного или скрытого возбужденного состояния. В работе проведен анализ отдельных ритмов ЭЭС испытуемых в различных состояниях воздействия на человека посредством ABC. Результаты исследования показали, что в режиме с открытыми глазами и Energ четко регистрируется процесс возбуждения полушарий головного мозга, что свидетельствует о явной картине эмоционального состояния. В то же время применение режимов Sleep и Fun на ЭЭС регистрировало обратную картину – стабилизацию высокого эмоционального напряжения.

Представленные результаты позволяют сделать общие выводы о положительном влиянии метода ABC на организм человека в период высокой эмоциональной нагрузки. В то же время авторами настоящей статьи планируется продолжить и расширить данные исследования путем классификации испытуемых на группы с положительными и отрицательными эмоциями и подбором индивидуальных, исходя из результатов обработки и анализа ЭЭС, режимов аудиовизуального воздействия.

Список литературы

1. Ronald K., Paul G. The economic burden of anxiety and stress disorders // *Neuropsychopharmacology: The Fifth Generation of Progress*. 2002. № 6. P. 981–992.
2. Sartori S. B., Singewald N. Novel pharmacological targets in drug development for the treatment of anxiety and anxiety-related disorders // *Pharmacology and Therapeutics*. 2019. Vol. 204.
3. Жизнь в стрессе: масштаб проблемы и пути решения // ВЦИОМ. 2019. URL: www.wciom.ru
4. Иржаев Д. И., Цветкова А. Н. Здоровье здоровых людей: DBS – подход к развитию возможностей мозга человека // *Инженерно-физические проблемы новой техники : сб. материалов XIV Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием, посвящ. 85-летию со дня рождения заслуженного работника ВШ РФ, д-ра физ.-мат. наук, проф. М. И. Киселева*. М., 2020. С. 223–227.
5. Попов Д. В. Человек ошибающийся и большие данные: от головного мозга к искусственному интеллекту // *Интеллект. Инновации. Инвестиции*. 2019. № 2. С. 89–96.
6. Князев Г. Г., Бочаров А. В., Савостьянов А. Н., Левин Е. А. Связь черт личности, культурных ценностей и коннективности дефолт-системы мозга с оценкой себя и других людей // *Психологический журнал*. 2021. Т. 42, № 2. С. 5–14.
7. Тычков А. Ю., Агейкин А. В., Алимуратов А. К. [и др.]. Анализ и оценка сигнальных систем диагностики пограничных психических расстройств // *Биотехносфера*. 2017. № 1. С. 35–39.
8. Начарова М. А., Махин С. А., Павленко В. Б. Оценка реактивности и локализации частотных компонентов альфа-ритма ЭЭГ при выполнении и наблюдении движений // *Российский физиологический журнал им. И. М. Сеченова*. 2019. Т. 105, № 3. С. 311–326.
9. Шемакина Н. В., Нагорнова Ж. В. Действительно ли инструкция «Быть оригинальным и придумать» влияет на ЭЭГ-корреляты выполнения творческих задач? // *Физиология человека*. 2020. Т. 46, № 6. С. 5–15.
10. Кулаичев А. П. Компьютерная электрофизиология и функциональная диагностика. Изд. 4-е, перераб. и доп. М. : ИНФРА-М, 2007. 640 с.
11. Солкин А. А. Современные методы анализа ЭЭГ у пациентов с патологией центральной нервной системы // *Достижения фундаментальной, клинической медицины и фармации : материалы 71-й науч. сессии сотр. ун-та (27–28 января 2016 г.)*. Витебск : ВГМУ, 2016. С. 359–360.
12. Сахаров В. Л., Андреев А. С. Методы математической обработки электроэнцефалограмм. Таганрог : Антон, 2000. 45 с.

13. Шейхова А. Н. Основные методы исследования головного мозга: ЭЭГ, КТ, ПЭТ, МРТ – их преимущества и отличительные признаки // РФ Академическая публицистика. 2021. № 7. С. 223–234.
14. Лабанов Д. Д. Об использовании метода комплексной аудиовизуальной стимуляции в программе коррекции личности осужденных // Ведомости уголовно-исполнительной системы. 2018. С. 68–71.
15. Федотчев А. И., Парин С. Б., Полевая С. А., Земляная А. А. Эффекты аудио-визуальной стимуляции, автоматически управляемой биопотенциалами мозга и сердца человека // Физиология человека. 2019. Т. 45, № 5. С. 75–79.
16. Зыков В. П., Иванов Л. Б., Будкевич А. В. Метод аудиовизуальной стимуляции в лечении тикозных гиперкинезов и синдрома дефицита внимания у детей // Альманах клинической медицины. 2006. № 13. С. 79–81.
17. Пац Н. В., Горюнова В. Е. Профилактика переутомления у студентов с использованием аудиовизуальной стимуляции // Современные проблемы гигиены, радиационной и экологической медицины. 2018. № 8. С. 90–98.
18. Кулаичев А. П. Метрологическое исследование спектральных оценок амплитуды ЭЭГ // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 11-1. С. 55–66.
19. Мамедов А. М., Джафарова А. М. Системный анализ гипоталамо-кортикальных кросскорреляционных ЭЭГ взаимоотношений при формировании условных эмоционально-негативных реакций // Журнал теоретической, клинической и экспериментальной морфологии. 2019. Т. 2. С. 65–72.
20. Кулаичев А. П. Метод анализа корреляционной синхронности ЭЭГ и его возможности // Журнал высшей нервной деятельности. 2011. Т. 61, № 4. С. 485–498.

References

1. Ronald K., Paul G. The economic burden of anxiety and stress disorders. *Neuropsychopharmacology: The Fifth Generation of Progress*. 2002;(6):981–992.
2. Sartori S.B., Singewald N. Novel pharmacological targets in drug development for the treatment of anxiety and anxiety-related disorders. *Pharmacology and Therapeutics*. 2019;204.
3. Life under stress: the scale of the problem and solutions. *VTsIOM = VTsIOM*. 2019. (In Russ.). Available at: www.wciom.ru
4. Irzhaev D.I., Tsvetkova A.N. Health of healthy people: a DBS approach to the development of human brain capabilities. *Inzhenerno-fizicheskie problemy novoy tekhniki: sb. materialov XIV Vseros. nauch.-tekhn. konf. s mezhdunar. uchastiem, posvyashch. 85-letiyu so dnya rozhdeniya zasluzhennogo rabotnika VSh RF, d-ra fiz.-mat. nauk, prof. M.I. Kiseleva = Engineering and physical problems of new technology : collection of Materials of the XIV All-Russian Scientific and Technical conf. with the international participation, dedication. 85th anniversary of the birth of the Honored Worker of the Higher School of the Russian Federation, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, prof. M. I. Kiseleva*. Moscow, 2020:223–227. (In Russ.)
5. Popov D.V. A mistaken person and big data: from the brain to artificial intelligence. *Intellekt. Innovatsii. Investitsii = Intelligence. Innovation. Investment*. 2019;(2):89–96. (In Russ.)
6. Knyazev G.G., Bocharov A.V., Savost'yanov A.N., Levin E.A. Connection of personality traits, cultural values and connectivity of the default brain system with the assessment of oneself and other people. *Psikhologicheskij zhurnal = Psychological Journal*. 2021;42(2):5–14. (In Russ.)
7. Tychkov A.Yu., Ageykin A.V., Alimuradov A.K. et al. Analysis and evaluation of signaling systems of diagnostics of borderline mental disorders. *Biotehnosfera = Biotechnosphere*. 2017;(1):35–39. (In Russ.)
8. Nacharova M.A., Makhin S.A., Pavlenko V.B. Evaluation of reactivity and localization of frequency components of the alpha rhythm of the EEG when performing and observing movements. *Rossiyskiy fiziologicheskij zhurnal im. I.M. Sechenova = Russian Physiological Journal named after I. M. Sechenov*. 2019;105(3):311–326. (In Russ.)
9. Shemyakina N.V., Nagornova Zh.V. Does the instruction "Be original and invent" really affect the EEG correlates of performing creative tasks? *Fiziologiya cheloveka = Human Physiology*. 2020;46(6):5–15. (In Russ.)
10. Kulaihev A.P. *Komp'yuternaya elektrofiziologiya i funktsional'naya diagnostika. Izd. 4-e, pererab. i dop. = Computer electrophysiology and functional diagnostics. 4th ed., rev. and suppl.* Moscow: INFRA-M, 2007:640. (In Russ.)
11. Solkin A.A. Modern methods of EEG analysis in patients with pathology of the central nervous system. *Dostizheniya fundamental'noy, klinicheskoy meditsiny i farmatsii: materialy 71-y nauch. sessii sotr. un-ta (27–28 yanvarya 2016 g.) = Achievements of fundamental, clinical medicine and pharmacy : materials of the 71st Scientific. sessions of the Department (January 27-28, 2016)*. Vitebsk: VGMU, 2016:359–360. (In Russ.)
12. Sakharov V.L., Andreenko A.S. *Metody matematicheskoy obrabotki elektroentsefalogramm = Methods of mathematical processing of electroencephalograms*. Taganrog: Anton, 2000:45. (In Russ.)
13. Sheykhova A.N. Basic methods of brain research: EEG, CT, PET, MRI – their properties and distinctive features. *RF Akademicheskaya publitsistika = RF Academic journalism*. 2021;(7):223–234. (In Russ.)

14. Labanov D.D. On the use of the method of complex audiovisual stimulation in the program of correction of the personality of convicts. *Vedomosti ugovovno-ispolnitel'noy sistemy = Sheets of the penal enforcement system*. 2018:68–71. (In Russ.)
15. Fedotchev A.I., Parin S.B., Polevaya S.A., Zemlyanaya A.A. Effects of audio-visual stimulation automatically controlled by biopotentials of the human brain and heart. *Fiziologiya cheloveka = Human Physiology*. 2019;45(5):75–79. (In Russ.)
16. Zykov V.P., Ivanov L.B., Budkevich A.V. Method of audiovisual stimulation in the treatment of tic hyperkinesia and attention deficit syndrome in children. *Al'manakh klinicheskoy meditsiny = Almanac of clinical medicine*. 2006;(13):79–81. (In Russ.)
17. Pats N.V., Goryunova V.E. Prevention of overwork in students using audiovisual stimulation. *Sovremennye problemy gigieny, radiatsionnoy i ekologicheskoy meditsiny = Modern problems of hygiene, radiation and environmental medicine*. 2018;(8):90–98. (In Russ.)
18. Kulaichev A.P. Metrological study of spectral estimates of EEG amplitude. *Aktual'nye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk = Actual problems of humanities and natural sciences*. 2016;(11-1):55–66. (In Russ.)
19. Mamedov A.M., Dzhafarova A.M. Systemic analysis of hypothalamic-cortical cross-correlation EEG relationships in the formation of conditional emotional-negative reactions. *Zhurnal teoreticheskoy, klinicheskoy i eksperimental'noy morfologii = Journal of theoretical, clinical and experimental morphology*. 2019;2:65–72. (In Russ.)
20. Kulaichev A.P. Method of analysis of correlation synchronicity of the EEG and its possibilities. *Zhurnal vysshey nervnoy deyatel'nosti = Journal of Higher nervous activity*. 2011;61(4):485–498. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Софья Юрьевна Тверская

инженер кафедры радиотехники
и радиоэлектронных систем,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: tverskaya_sofya@mail.ru

Sofia Yu. Tverskaya

Engineer of the sub-department of radio
engineering and radioelectronic systems,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Александр Юрьевич Тычков

доктор технических наук,
профессор кафедры радиотехники
и радиоэлектронных систем,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: tychkov-a@mail.ru

Alexander Yu. Tychkov

Doctor of technical sciences,
professor of the sub-department
of radio engineering and radioelectronic systems,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Петр Павлович Чураков

доктор технических наук,
профессор кафедры информационно-
измерительной техники и метрологии,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: churakov-pp@mail.ru

Petr P. Churakov

Doctor of technical sciences,
professor of the sub-department of information
and measuring equipment and metrology,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Валерий Николаевич Горбунов

кандидат экономических наук, доцент,
директор Научно-исследовательского института
фундаментальных и прикладных исследований,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: ctt@pnzgu.ru

Valery N. Gorbunov

Candidate of economical sciences,
associate professor, director of the Research
Institute for Fundamental and Applied Research,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /
The authors declare no conflicts of interests.**

Поступила в редакцию / Received 04.04.2022

Поступила после рецензирования / Revised 13.05.2022

Принята к публикации / Accepted 14.06.2022