

З.Ф. Зверева¹, Ф.С. Торубаров¹, Н.П. Ванчакова², С.Н. Лукьянова¹, Е.В. Мирошник¹, Е.А. Денисова¹

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЧАСТОТНЫХ ДИАПАЗОНОВ ЭЭГ И ЦЕРЕБРАЛЬНОГО ЭНЕРГООБМЕНА ПРИ НИЗКОМ УРОВНЕ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИИ У РАБОТНИКОВ ЯДЕРНО-ОПАСНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ И ПРОИЗВОДСТВ

¹ Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва

² Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. И.П. Павлова, Санкт-Петербург

Контактное лицо: Зоя Фёдоровна Зверева, e-mail: zvereva01@yandex.ru

РЕФЕРАТ

Цель: Сравнительная оценка функционального состояния и энергетических процессов головного мозга у работников ядерно-опасных предприятий и производств с высоким и низким уровнем психофизиологической адаптации (ПФА). Сравнивались показатели спектральной мощности частотных диапазонов ЭЭГ и церебрального энергообмена при низком и высоком уровнях ПФА, низкой и высокой функциональной активности (ФА) условно выделенных структурно-функциональных образований (СФО), характеризующих: психический уровень функционирования – СФО-1, психофизиологический уровень – СФО-2, физиологический – СФО-3. **Материал и методы:** 311 архивных ЭЭГ – 159 лиц с низким уровнем ПФА ($50,8 \pm 4,6$; 13 жен.); 152 ЭЭГ лиц с высоким уровнем ПФА ($48,8 \pm 1,5$; 12 жен.). Оценивали: мощность частотных диапазонов ЭЭГ методом компьютерного анализа по алгоритму быстрого преобразования Фурье; церебральный энергообмен с помощью показателя величины межполушарных различий мощности биоэлектрических потенциалов ЭЭГ гомологичных отведений.

Результаты: При низком уровне ПФА выявились более высокая активность корковых структур и более высокий церебральный энергообмен. В СФО изменения проявлялись по-разному. Усиление активности корковых структур отмечалось в СФО-1 и СФО-3 во всех зонах коры, включая височные, связанные с лимбико-ретикулярным комплексом. В СФО-2 активность корковых структур ослаблялась как в передних, так и задних отделах коры, активность височных зон не изменялась. Усиление церебрального энергообмена отмечалось в СФО-1 и СФО-2. Оно выявлялось в передних отделах коры и не определялось в задних. В СФО-3 церебральный энергообмен не изменялся – ни в передних, ни в задних отделах коры.

Заключение: В обеспечении активности головного мозга при низком уровне ПФА принимают участие различные СФО мозга, что находит отражение в характеристиках частотных спектров ЭЭГ и показателях церебрального энергообмена заинтересованных отделов мозга. Процессы, связанные с участием структурно-функционального образования, отражающего психический уровень функционирования (СФО-1), характеризуются при низком уровне ПФА усилением активности передних отделов коры, что сопровождается усилением церебрального энергообмена. Углубление исследований в этом направлении может способствовать выявлению дополнительных компенсаторных механизмов головного мозга, направленных на обеспечение функциональной активности, требуемой для осуществления профессиональной деятельности лицами с низким уровнем ПФА.

Ключевые слова: персонал, ядерно-опасные производства, психофизиологическая адаптация, центральная нервная система, ЭЭГ, биоэлектрическая активность, церебральное энергообеспечение

Для цитирования: Зверева З.Ф., Торубаров Ф.С., Ванчакова Н.П., Лукьянова С.Н., Мирошник Е.В., Денисова Е.А. Сравнительная характеристика частотных диапазонов ЭЭГ и церебрального энергообмена при низком уровне психофизиологической адаптации у работников ядерно-опасных предприятий и производств // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2023. Т. 68. № 5. С. 50–59. DOI:10.33266/1024-6177-2023-68-5-50-59

Z.F. Zvereva¹, F.S. Torubarov¹, N.P. Vanchakova², S.N. Lukyanova¹, E.V. Miroshnik¹, E.A. Denisova¹

Comparative Characteristics of EEG Frequency Bands and Cerebral Energy Exchange at a Low Level of Psychophysiological Adaptation in Employees of Nuclear Hazardous Enterprises and Productions

¹ A.I. Burnazyan Federal Medical Biophysical Center, Moscow, Russia

² First St. Petersburg State Medical University. I.P. Pavlova, St. Petersburg, Russia

Contact person: Z.F. Zvereva, e-mail: zvereva01@yandex.ru

ABSTRACT

Purpose: Comparative assessment of the functional state and energy processes of the brain in workers of nuclear hazardous enterprises and industries with high and low levels of psychophysiological adaptation (PPA). The parameters of the spectral power of the EEG frequency ranges and cerebral energy exchange at low and high levels of PPA, low and high functional activity (FA) of conditionally isolated structural and functional formations (SFF) characterizing: mental level of functioning – SFF-1, psychophysiological level – SFF-2, physiological – SFF-3 were compared.

Material and methods: 311 archived EEG – 159 individuals with a low level of PPA (50.8 ± 4.6 ; 13 women); 152 EEG individuals with a high level of PPA (48.8 ± 1.5 ; 12 women). The power of the frequency ranges of the EEG was evaluated by computer analysis using the fast Fourier transform algorithm; cerebral energy exchange using the value of the hemispheric differences in the power of biopotentials of EEG homologous leads.

Results: At a low level of PPA, higher activity of cortical structures and higher cerebral energy exchange were revealed. In the SFF the changes manifested themselves in different ways. Increased activity of cortical structures was noted in SFF-1 and SFF-3 (in all areas of the cortex, including temporal, associated with the limbic-reticular complex). In SFF-2, the activity of cortical structures weakened both in the anterior and posterior parts of the cortex, the activity of the temporal zones did not change. Increased cerebral energy exchange was noted in SFF-1 and SFF-2. It was detected in the anterior parts of the cortex, and was not detected in the posterior. In SFF-3, the cerebral energy exchange did not change – neither in the anterior nor posterior parts of the cortex.

Conclusion: Various SFF of the brain take part in ensuring brain activity at a low level of PPA, which is reflected in the characteristics of EEG frequency spectra and indicators of cerebral energy exchange of the brain regions concerned. The processes associated with the participation of structural and functional education reflecting the mental level of functioning (SFF-1) are characterized at a low level of PPA by increased activity of the anterior cortex, which is accompanied by increased cerebral energy exchange. The deepening of research in this direction may contribute to the identification of additional compensatory mechanisms of the brain aimed at ensuring the functional activity required for the exercise of professional activity by persons with a low level of PPA.

Keywords: staff, nuclear hazardous enterprises, psychophysiological adaptation, central nervous system, EEG, bioelectrical activity, cerebral energy supply

For citation: Zvereva ZF, Torubarov FS, Vanchakova NP, Lukyanova SN, Miroshnik EV, Denisova EA. Comparative Characteristics of EEG Frequency Bands and Cerebral Energy Exchange at a Low Level of Psychophysiological Adaptation in Employees of Nuclear Hazardous Enterprises and Productions. Medical Radiology and Radiation Safety. 2023;68(5):50–59. (In Russian). DOI:10.33266/1024-6177-2023-68-5-50-59

Введение

Изучение особенностей работы головного мозга (ГМ) у работников ядерно-опасных предприятий и производств (ЯОПП) при различных уровнях ПФА – важная государственная проблема, связанная с обеспечением профессиональной надежности персонала [1]. Это обусловлено уязвимостью психики человека при высокой напряженности и ответственности, которыми отличается профессиональная деятельность работников ЯОПП [1, 2]. Нарушения функционального состояния (ФС) центральной нервной системы (ЦНС), приводящие к низкому уровню ПФА, являются маркерами снижения качества и надежности профессиональной деятельности персонала [1, 2].

Оценка уровня ПФА у работников ЯОПП осуществляется по результатам комплексного психофизиологического обследования (ПФО), проводимого в рамках обязательных медицинских осмотров [3]. При проведении ПФО используются группы показателей, характеризующие отдельные аспекты деятельности ЦНС – психические, психофизиологические, физиологические. По совокупности полученных данных формируется интегральная оценка – уровень ПФА [1–3]. В ранее проведенной нами работе была представлена концептуальная модель ПФО персонала ЯОПП [5]. Выделены и обозначены три структурно-функциональных образования (СФО) головного мозга, наиболее активно участвующих в формировании различных уровней функционирования ЦНС:

- СФО-1 – характеризующее психический уровень, отражающее преимущественно корковые функции головного мозга (ГМ);
- СФО-2 – характеризующее психофизиологический уровень, отражающее корково-подкорковые взаимодействия в головном мозге;
- СФО-3 – характеризующее физиологический уровень, отражающее центральную регуляцию сердечно-сосудистой системы (ССС) и тонуса вегетативной нервной системы (ВНС) [5].

Основной методический приём, который был использован в работе, сводился к разносторонней оценке ЭЭГ. Наиболее применяемым методом компьютерного анализа ЭЭГ был спектральный анализ по алгоритму быстрого преобразования Фурье, который определяет абсолютную мощность в мкВ²/Гц каждого частотного диапазона активности головного мозга [6]. Как известно, ритмы и мощность биопотенциалов (БП) ГМ регулируются целым комплексом структур: ретикулярной формации

(РФ) среднего мозга, синхронизирующими системами продолговатого мозга, моста и неспецифических ядер промежуточного мозга [6]. Современные фундаментальные представления об информативности ЭЭГ не оставляют сомнения о правомерности её использования для оценки ФС ГМ в целом и его отдельных СФО в различных ситуациях, при этом главная роль отводится частотным диапазонам ЭЭГ.

Важное значение при изучении ПФА придаётся вопросам церебрального энергообмена ГМ [7], лежащего в основе его функциональной пластичности [8]. В частности, при изучении адаптивных реакций у лиц, проживающих в сложных природно-климатических условиях Арктической зоны, было выявлено усиление церебрального энергообмена [9], которое более значительно проявлялось при высоком уровне тревоги [10]. Показано также, что интенсивная интеллектуальная нагрузка сопровождается более значительным усилением церебрального энергообмена [11]. Установлены различия в степени усиления церебрального энергообмена в разных зонах коры при умственной нагрузке разного типа [12].

Церебральный энергообмен у работников ЯОПП с низким уровнем ПФА практически не изучался. Не отмечено также работ по совместному анализу изменений церебрального энергообмена и функциональной активности (ФА) ЦНС при низком уровне ПФА. Это может помочь при изучении механизмов головного мозга, направленных на обеспечение ФА, требуемой для обеспечения профессиональной деятельности при низком уровне ПФА.

Цель настоящего исследования – сравнительная оценка функционального состояния и энергообмена головного мозга у работников ЯОПП с высоким и низким уровнем ПФА.

Задачи:

1. Сравнить показатели мощности частотных диапазонов ЭЭГ при низком и высоком уровнях ПФА, используя СФО-1, СФО-2, СФО-3 при низкой и высокой ФА.
2. Сравнить показатели церебрального энергообеспечения при низком и высоком уровнях ПФА, используя СФО-1, СФО-2, СФО-3 при низкой и высокой ФА.
3. Представить характеристики частотных диапазонов ЭЭГ и церебрального энергообмена при низком уровне ПФА, низкой ФА каждого из СФО ЦНС относительно этих же показателей при высоком уровне ПФА.

Объект и методы исследования

Объект исследования – архивные ЭЭГ, записанные у работников ЯОП при проведении ПФО. В исследование включались ЭЭГ лиц, которые по результатам медицинских осмотров и ПФО не имели противопоказаний к продолжению работы на предприятиях атомной отрасли. Проанализированы 311 ЭЭГ и сформированы 2 группы: 159 ЭЭГ лиц с низким уровнем ПФА ($50,8 \pm 4,6$ лет; 146 муж., 13 жен.); 152 ЭЭГ лиц с высоким уровнем ПФА ($48,8 \pm 1,5$ лет; 140 муж., 12 жен.). Группы были однородные по половому составу (7,5 % женщин среди лиц с низким уровнем ПФА; 8,5 % среди лиц с высоким уровнем ПФА). В каждой из групп были выделены ЭЭГ лиц с низкой и высокой ФА СФО-1, СФО-2, СФО-3 (табл.1):

Таблица 1

Количество ЭЭГ лиц с низким и высоким уровнями ПФА, низкой и высокой ФА СФО-1, СФО-2, СФО-3

Number of EEGs in persons with low and high levels of PPA, low and high FA SFF-1, SFF-2, SFF-3

Уровень активности			
Низкий	Кол-во лиц	Высокий	Кол-во лиц
ПФА	159	ПФА	152
СФО-1	48	СФО-1	117
СФО-2	53	СФО-2	71
СФО-3	110	СФО-3	87

ПФО проводили на АПК «ПФС-КОНТРОЛЬ» [2, 3, 13]. ФА СФО-1 оценивалась с помощью психологических методик: многостороннего исследования личности (ММИЛ; адаптированный вариант ММРП [3, 13–15]); 16-факторный личностный опросник Кеттелла (16-ФЛО, форма А [3, 13, 16]); прогрессивные матрицы Равена [3, 13, 17]; уровень субъективного контроля – УСК [3, 13, 18]. ФА СФО-2 оценивалось с помощью следующих методик: простая зрительно-моторная реакция (ПЗМР), сложная зрительно-моторная реакция (СЗМР), реакция на движущийся объект (РДО) [3, 13, 19]. Для оценки ФА СФО-3 использовалась методика вариабельности сердечного ритма (ВСР) [3, 13, 20].

ЭЭГ регистрировали на аппарате ЭЭГА-21/26 «Энцефалан-131-03» (МЕДИКОМ МТД, Таганрог) по стандартной схеме «10–20 %» в состоянии пассивного бодрствования и во время стандартных нагрузок (открытие глаз, ритмически мелькающий свет, гипервентиляция). Electroды помещали в зоны коры: $Fp_1, Fp_2, F_3, F_4, F_7, F_8, T_3, T_4, T_5, T_6, C_3, C_4, P_3, P_4, O_1, O_2$. Отведение использовалось монополярное, индифферентные электроды фиксировались на мочках ушей. Оцифровка сигналов – 1024, скорость развёртки – 30 мм/сек. Регистрировали диапазоны: 0–3,5 Гц – δ ; 4,0–7,0 Гц – θ ; 8,0–13,0 – α ; 14–24 Гц – β_1 ; 25–35 Гц – β_2 .

Для оценки церебрального энергообмена использовался показатель величины межполушарных различий мощности биоэлектрических (БП) ЭЭГ гомологичных отведений, определяемый в передних и задних отделах коры [21]. Для вычисления показателя безартефактные отрезки фоновой записи (1,5–2 мин) обрабатывали по программам ЭЭГА-21/26 «Энцефалан-131-03» и получали цифровые значения 10 фрагментов спектральной мощности БП ЭЭГ для отведений передних ($Fp_1-Fp_2, F_3-F_4, F_7-F_8$) и задних ($C_3-C_4, P_3-P_4, O_1-O_2$) отделов коры. Затем в каждой паре гомологичных отведений вычисляли разницу между значениями от условной средней в % по формуле $[(A-B)/(A+B) \times 100 \%, \text{ где } A - \text{мощность БП ЭЭГ в отведении левого полушария, } B - \text{мощность БП ЭЭГ в отведении правого полушария}]$. Далее

абсолютные значения полученных величин усредняли во всех диапазонах ($\alpha, \delta, \theta, \beta_1, \beta_2$) отдельно для передних и задних отделов коры и рассматривали как показатели церебрального энергообеспечения [21].

Статистическая обработка данных осуществлялась по программам STATISTICA 6 для Windows и Biostat (STATISTICA, StatSoft Inc., США; Biostat, AnalystSoft, США). Обработка по программе STATISTICA 6 включала расчет средних арифметических (M) и ошибок (m). Достоверность различий оценивали по критерию Стьюдента, уровень значимости $p < 0,05$.

Обработка по программе Biostat включала расчет критерия χ^2 , уровень значимости $p < 0,05$.

Результаты

Анализ изменений показателей мощности БП ЭЭГ при низком и высоком уровнях ПФА, низкой и высокой ФА СФО-1, СФО-2, СФО-3 представлен в табл. 3–6. При низком уровне ПФА, соответственно, низкой ФА СФО в ряде корковых зон были выявлены статистически значимые отличия в ЭЭГ (в таблицах это показано затемнением полей).

При низком уровне ПФА (табл.3) более низкие (относительно высокого уровня) показатели мощности отмечались:

- в δ -диапазоне – в височных и лобных зонах коры левого и правого полушарий;
- в θ -диапазоне – в височных зонах обеих гемисфер;
- в α -диапазоне – в височных зонах, частично лобных, и в теменно-затылочных зонах полушарий;
- в β_1 -диапазоне – в височных, лобных, а также центральных зонах обеих гемисфер.

В β_2 -диапазоне – в отличие от вышеописанного – отмечались более высокие (относительно высокого уровня ПФА) показатели мощности в височных и лобных зонах обеих гемисфер.

Увеличение показателей мощности β_2 -диапазона, в генерации которого участвуют десинхронизирующие активизирующие системы РФ ствола, рассматривается как признак усиления активности корковых структур [6].

Снижение мощности α -диапазона трактуется в ряде литературных источников как признак усиления активности корковых структур. Например, показано, что при повышении функциональной активности мозга (напряжённое внимание, страх) мощность α -ритма уменьшается [22, 23]. Аналогично активная обработка сенсорной информации в зрительных (затылочных) зонах коры сопровождается уменьшением мощности α -диапазона [24].

В генерации β_1 -диапазона участвуют те же структуры, что и в генерации α - [6]. Поэтому снижение мощности β_1 -диапазона может рассматриваться как признак усиления активности корковых структур.

В генерации θ -диапазона участвуют образования лимбико-ретикулярного комплекса (ЛРК), в наибольшей степени – гиппокамп [6, 25]. В соответствии с существующими представлениями, образования ЛРК, находясь в реципрокных отношениях со структурами РФ ствола. Увеличение мощности θ -диапазона рассматривается как свидетельство усиления активности ЛРК и ослабления активирующих влияний из РФ ствола [6, 25]. Уменьшение мощности θ -диапазона, соответственно, – как признак ослабления активности ЛРК и усиления активирующих влияний из РФ ствола на кору ГМ [6, 25].

БП δ -диапазона в норме (в ЭЭГ здоровых людей) регистрируются в небольшом количестве [6]. Увеличение мощности БП этого диапазона свидетельствует о снижении тонуса коры, формируемого восходящими влияни-

Таблица 2

Показатели мощности БП ЭЭГ при низком и высоком уровнях психофизиологической адаптации
Power indicators of EEG BP at low and high levels of PPA

Диапазоны ЭЭГ	Показатели мощности / полушария / отведения															
	Низкий / высокий уровни ПФА															
	Левое полушарие								Правое полушарие							
	O_1	P_3	C_3	T_5	T_3	F_7	F_3	Fp_1	O_2	P_4	C_4	T_6	T_4	F_8	F_4	Fp_2
Низкий уровень ПФА																
Дельта δ	7,2±0,3	8,5±0,08	9,5±0,7	5,6±0,05*	5,5±0,02*	6,6±0,01*	10,4±0,07*	11,3±0,06*	8,0±0,07	8,7±0,1	9,2±0,3	6,1±0,02*	6,6±0,04*	6,7±0,04*	9,8±0,08*	10,7±0,05*
Тета θ	8,4±0,04	9,9±0,05	11,3±0,02	6,1±0,04*	6,3±0,07*	6,2±0,07*	11,8±0,01	11,3±0,04	10,2±0,04	11,0±0,09	11,8±0,01	7,2±0,03	6,5±0,08*	6,2±0,03*	11,4±0,08	10,5±0,04
Альфа α	53,7±1,5*	40,2±0,9*	27,8±3,7	19±0,5*	14,3±0,6*	12,3±0,4*	22,8±0,3*	20,1±2,5	58,4±6,4	42,1±4,3	28,3±0,7	20,4±0,1*	15,3±0,5*	13,2±0,07*	22,7±0,3	20,2±0,4
Бета β_1	13,1±0,08	14,8±0,4	12,0±0,01*	9,2±0,04*	8,9±0,9	7,6±0,02*	12,1±0,06*	10±0,02*	14,1±0,1	14,6±0,04	13,3±0,03	9,4±0,04*	8,7±0,01*	7,4±0,06*	9,3±0,2	10,0±0,5
Бета β_2	4,1±0,02	4,8±0,4	4,6±0,2	3,4±0,03	3,1±0,05	4,3±0,01	4,2±0,02	4,0±0,07	4,0±0,08	3,7±0,1	4,2±0,07	3,1±0,01	3,4±0,04	3,5±0,3	4,1±0,6	3,7±0,01
Высокий уровень ПФА																
Дельта δ	7,8±0,7	9,3±0,5	9,9±0,4	7,4±0,06	7,3±0,02	8,3±0,04	12,1±0,02	13±0,08	7,9±0,02	8,7±0,05	9,7±0,07	7,5±0,04	7,4±0,03	8,8±0,02	11,4±0,06	12,5±0,01
Тета θ	8,9±0,06	10,8±0,07	11,7±0,02	7,1±0,04	7,4±0,06	7,3±0,07	11,7±0,01	11,0±0,3	9,5±0,02	10,8±0,03	12,3±0,07	7,9±0,05	8,1±0,07	7,9±0,02	11,±0,06	10,7±0,04
Альфа α	63,8±0,8	46,6±0,2	28,9±2,5	23,8±0,7	17,4±3,7	14,1±0,4	24,9±0,3	23,0±0,1	59,5±2,3	44,6±1,5	30,8±4,6	24,8±0,9	20,6±0,6	15,3±0,4	23,9±1,1	21,3±3,5
Бета β_1	13,6±0,4	13,9±0,2	15,4±0,08	14,6±0,07	13,5±0,3	12,9±0,09	11,3±0,02	10,9±0,06	13,7±0,4	9,9±0,02	11,5±0,08	10,1±0,06	9,6±0,03	9,3±0,09	8,4±0,4	8,9±0,7
Бета β_2	4,3±0,4	4,4±0,3	4,9±0,6	4,8±0,05*	4,7±0,03*	4,1±0,6	5,2±0,06*	5,2±0,01*	4,4±0,07	3,8±0,2	4,2±0,05	4,5±0,05*	3,6±0,6	3,6±0,03	4,5±0,01	4,8±0,03*

Примечание: * – статистически значимые различия между низким и высоким уровнями ПФА

Таблица 3

Показатели мощности БП ЭЭГ при низкой и высокой функциональной активности СФО-1
Power indicators of EEG BP at low and high FA SFF-1

Диапазоны ЭЭГ	Показатели мощности / полушария / отведения															
	Низкий / высокий уровни ФА СФО-1															
	Левое полушарие								Правое полушарие							
	O_1	P_3	C_3	T_5	T_3	F_7	F_3	Fp_1	O_2	P_4	C_4	T_6	T_4	F_8	F_4	Fp_2
Низкая ФА СФО-1																
Дельта δ	6,8±0,01*	7,2±0,03*	8,5±0,02*	4,7±0,04*	4,8±0,07*	5,6±0,04*	9,9±0,06*	10,2±0,02*	6,9±0,03*	7,4±0,05*	8,4±0,09*	5,6±0,07*	5,5±0,08*	5,8±0,02*	9,4±8,5*	10,1±0,01*
Тета θ	7,2±0,07*	9,1±0,07*	11,1±0,09	5,5±0,04*	6,0±0,02*	5,8±0,05*	11,8±0,05	11,00,07	9,3±0,02	10,7±0,4	12,4±0,04	7,6±0,03*	7,1±0,08*	7,3±0,05*	11,7±0,09	10,9±0,03
Альфа α	49,5±0,6	37,6±2,2	25,7±6,2	20,8±0,4*	13,6±0,7*	11,2±3,9	18,1±3,5	18,9±5,1	51,6±7,5	37,1±2,2	26,7±3,4	21,4±0,3*	14,2±0,8*	12,8±0,1*	18,5±7,2	20,5±3,6
Бета β_1	11,2±0,04*	13±0,06	12,3±0,05	8,8±0,02*	7,7±0,08*	7,2±0,09*	10,4±0,05	9,3±0,02	11,0±0,02*	12,0±0,05*	11,6±0,07*	7,9±0,04*	7,4±0,01*	6,5±0,03*	9,9±0,08	8,7±0,07*
Бета β_2	4,7±0,2	4,7±0,09	4,9±0,07	4,5±0,01	3,7±0,1	4,1±0,04	3,3±0,06	3,1±0,04	4,1±0,5	3,8±0,7	4,1±0,4	3,8±0,03	3,7±0,02	3,5±0,2	4,1±0,02	4,4±0,07
Высокая ФА СФО-1																
Дельта δ	7,9±0,07	9,2±0,03	9,7±0,04	7,8±0,05	7,4±0,01	8,5±0,01	12,5±0,07	13,6±0,08	7,8±0,05	8,5±0,03	9,6±0,03	7,7±0,06	7,7±0,07	8,8±0,09	11,7±0,02	13,2±0,07
Тета θ	8,1±0,09	11,3±0,06	10,6±0,03	8,2±0,05	8,5±0,01	7,9±0,05	11,1±0,06	12,3±0,04	11,3±0,2	10,1±0,7	11,4±0,05	8,2±0,05	7,9±0,05	7,7±0,05	11,6±0,05	10,9±0,05
Альфа α	59,1±0,4	42,06±4,1	28,3±0,7	24,9±0,5	18,6±0,4	14,1±1,5	20,1±2,3	22,4±4,2	54,4±0,9	41,6±4,4	30,1±0,7	24,2±0,4	21,3±0,6	15,7±0,3	21,5±0,9	24,8±0,2
Бета β_1	14,1±0,08	14,9±0,04	12,7±0,01	10,6±0,05	9,9±0,07	9,1±0,09	10,9±0,02	9,9±0,04	13,8±0,09	14,8±0,02	13,8±0,05	12,2±0,03	10,6±0,05	8,8±0,05	11,7±0,06	10±0,01
Бета β_2	4,9±0,06	4,5±0,16	4,8±0,2	4,3±0,3	4,4±0,06*	4,7±0,07*	4,8±0,02*	4,2±0,04*	3,9±0,06	3,6±0,3	3,9±0,06	4,2±0,05	3,4±0,4	3,6±0,04	4,1±0,1	4,2±0,5

Примечание: * – статистически значимые различия между низким и высоким уровнями ФА СФО-1

Таблица 4

Показатели мощности БП ЭЭГ при низкой и высокой ФА СФО-2
Power indicators of BP EEG at low and high FA SFF-2

Диапазоны ЭЭГ	Показатели мощности / полушария / отведения															
	Низкая / высокая ФА СФО-2															
	Левое полушарие															
	O_1	P_3	C_3	T_5	T_3	F_7	F_3	Fp_1	O_2	P_4	C_4	T_6	T_4	F_8	F_4	Fp_2
Низкая ФА СФО-2																
Дельта δ	8,5±0,1	9,9±0,3	11,2±1,1	6,5±0,7	7,1±0,4	7,8±1,6	11,4±0,9	12,2±2,0	9,4±0,7	10,7±0,4	11,3±2,3	6,7±0,4	7,8±0,9	7,4±2,5	10,1±1,9	11,5±3,8
Тета θ	9,4±0,3	11,7±0,2	13,2±1,3	6,2±1,6	6,4±0,4	6,8±0,7	12,8±0,8	12,0±1,1	10,5±1,3	12,1±0,4	13,1±0,8	7,7±1,7	7,5±3,1	6,8±0,5	12,2±0,1	10,7±0,3
Альфа α	70,7±6,1	58,8±2,5	47,2±7,1	46,4±3,5	29,1±6,4	31,2±4,7	22,5±5,2	23,9±3,8	68,8±5,4	54,2±6,9	44,5±3,1	30,5±4,3	25,8±7,1	34,6±5,0	23,2±3,7	23,1±0,7
Бета β_1	13,8±3,6	16±4,4	15,8±2,1	9,6±0,6	9,1±1,5	7,7±0,5	12,6±0,8	10,5±0,04	14,7±2,7	16,3±3,4	14,3±0,3	11,0±2,4	9,1±1,0	8,1±2,4	11,7±3,5	9,9±1,9
Бета β_2	4,2±0,5	3,5±0,03	3,1±0,08	3,7±1,5	3,9±0,7	3,6±0,1	3,9±0,1	4,1±0,07	4,1±0,06	3,9±0,08	4,6±1,5	4,1±2,3	3,4±0,08	3,5±0,1	4,3±2,7	4,2±2,8
Высокая ФА СФО-2																
Дельта δ	7,4±0,02*	8,9±0,02*	9,4±0,02*	6,6±0,1	5,6±0,8	7,8±0,09	11,2±0,6	11,9±2,8	7,5±0,02*	8,3±0,02*	9,1±0,02*	6,6±0,7	6,7±0,06	8,1±0,04	10,6±0,08	11,7±1,6
Тета θ	8,3±0,02*	9,3±0,02*	10,0±0,02*	6,3±	6,6±	6,5±	10,3±0,02*	10,0±0,02*	8,1±0,02*	9,3±0,02*	10,4±0,02*	6,9±1,9	6,6±2,1	7,1±0,7	10,3±0,02*	9,4±0,02*
Альфа α	69,7±6,5	60,2±4,2	47,2±1,8	46,4±2,3	26,0±5,8	33,1±3,4	21,6±2,6	20,9±1,9	67,4±4,5	61,2±5,7	47,6±2,3	33,3±7,1	21,8±2,4	24,6±8,4	21,2±1,7	21,0±2,1
Бета β_1	14,6±2,8	14,5±0,6	12,3±0,02*	10,0±4,2	9,6±3,5	8,6±1,3	10,3±0,02*	9,8±2,1	14,4±0,07	14,6±2,1	13,2±0,7	10,9±0,7	9,3±0,03	8,6±1,8	11,7±2,5	9,7±0,04
Бета β_2	4,0±2,3	5,2±0,02*	5,6±0,02*	3,3±0,6	3,4±0,09	4,7±0,02*	3,9±0,05	4,0±0,9	4,1±2,5	3,6±4,1	3,9±3,2	3,6±0,2	3,1±0,1	3,6±0,9	4,1±0,06	4,0±0,04

Примечание: * – статистически значимые различия между низким и высоким уровнями ФА СФО-2

Таблица 5

Показатели мощности БП ЭЭГ при низкой и высокой функциональной активности СФО-3
EEG BP power indicators at low and high FA SFF-3

Диапазоны ЭЭГ	Показатели мощности / полушария / отведения															
	Низкая / высокая ФА СФО-3															
	Левое полушарие															
	O_1	P_3	C_3	T_5	T_3	F_7	F_3	Fp_1	O_2	P_4	C_4	T_6	T_4	F_8	F_4	Fp_2
Низкая ФА СФО-3																
Дельта δ	7,2±1,5	8,3±0,3	9,2±0,08	9,8±0,04*	5,4±0,07*	6,2±0,08*	11±0,08*	5,6±0,01*	8,1±0,1	8,6±0,09	8,9±0,03*	6,1±0,08*	6,4±0,04*	6,6±0,03*	9,2±0,07*	10,2±0,01*
Тета θ	8,4±0,07*	9,9±0,02*	11,1±2,4	6,2±0,02*	6,3±0,06*	6,3±0,04*	11,5±0,1	11,3±0,04	10,5±2,3	11,0±0,7	11,5±0,07*	7,1±0,01*	7,0±0,01*	6,3±0,02*	11±0,03*	10,4±0,09
Альфа α	52,6±3,2*	37,3±2,7*	26,3±0,8*	17,4±2,4*	13,5±0,7*	12,4±0,1*	22,7±0,5*	20,7±0,3*	56,8±1,5*	40,3±3,5*	27,4±4,2*	19,0±5,7*	14,8±2,4*	13,1±3,6*	22,4±1,2*	20,0±3,2*
Бета β_1	13,1±0,08*	15,3±0,3	14,5±0,7	9,4±0,05*	9,3±0,1	7,9±0,01*	12,7±0,08	11,6±0,5	14,8±0,06	14,9±0,4	13,1±0,04*	9,4±0,06*	8,5±0,02*	7,4±0,01*	11,4±4,7	10,4±2,1
Бета β_2	4,4±0,3	4,9±0,08	4,1±0,9	3,9±0,1	4,5±0,07	4,2±0,04	3,3±0,2	5,3±0,09	4,5±1,9	3,8±0,1	4,4±0,06	4,4±0,5	3,7±0,4	3,8±0,09	4,7±0,6	4,9±0,5
Высокая ФА СФО-3																
Дельта δ	8,5±2,0	9,1±1,8	9,5±0,9	11,7±0,4	7,1±0,08	8,5±0,02	13,5±0,07	7,5±0,04	8,3±0,2	8,9±0,8	11,0±0,04	7,9±0,07	7,8±0,03	8,9±0,5	11,8±0,07	13,1±0,03
Тета θ	10,6±4,6	12,1±3,7	12,9±0,6	7,8±0,3	7,7±0,07	7,6±0,03	12,4±1,7	11,6±0,9	11,0±2,5	12,3±4,8	14,7±2,1	8,7±0,4	8,3±0,2	8,2±0,1	12,8±4,1	11,5±2,7
Альфа α	83,5±5,3	60±4,9	36,1±6,1	30±4,1	21,1±5,8	16,7±3,1	28,5±2,1	24,5±0,7	72,3±6,8	56,4±2,9	39±4,5	30,5±2,1	25,3±4,2	18,1±0,7	30,1±2,4	26,3±0,8
Бета β_1	16,6±0,01	16,9±2,1	14,6±0,3	11,1±0,06	10,3±0,2	9,5±0,01	12,5±0,1	11,2±0,04	15,0±0,2	16,3±0,6	15,5±0,06	12,5±0,1	10,4±0,07	9,1±0,8	13,3±3,8	10,9±1,4
Бета β_2	4,7±1,2	5,1±0,4	4,6±0,1	5,6±0,06*	5,2±0,02*	5,8±0,01*	5,5±0,08*	5,4±0,2	4,3±0,4	3,8±0,7	4,4±0,4	4,1±0,03	3,5±0,06	3,6±0,3	4,4±0,08	4,4±0,2

Примечание: * – статистически значимые различия между низким и высоким уровнями ФА СФО-3

ями РФ ствола, неспецифических ядер таламуса и образований ЛРК [26, 27]. Соответственно, уменьшение мощности δ -диапазона может расцениваться как признак усиления тонуса коры и её активации восходящими влияниями из подкорковых структур ГМ.

В совокупности, как можно заключить, изменения показателей мощности при низком уровне ПФА (относительно высокого) – увеличение мощности β_2 -диапазона и уменьшение δ , θ , α , β_1 -диапазонов – свидетельствовали об усилении активности корковых структур, которое отмечалось во всех отделах полушарий, чаще – в височных зонах (проявлялось во всех 5 диапазонах), реже в лобных (в 4), теменно-затылочных и центральных (в 2).

Следующий этап исследования – анализ изменений в СФО-1 при низком уровне ПФА (табл. 3) – установил, что изменения БП ЭЭГ были сходными с описанными выше. Уменьшение показателей мощности БП при низкой ФА СФО-1 отмечалось:

- в δ -диапазоне – в височных, лобных, теменно-затылочных и центральной зонах обеих гемисфер;
- в θ -диапазоне – в височных и теменно-затылочных зонах полушарий;
- в α -диапазоне – в височных зонах полушарий;
- в β_1 -диапазоне – в височных и затылочной зонах левого полушария, и в височных, лобных, теменно-затылочных и центральной зонах правого полушария.

В β_2 -диапазоне отмечалось увеличение показателей мощности БП (относительно высокой ФА) в височных и лобных зонах левого полушария.

Изменения показателей мощности при низком уровне ПФА и низкой ФА СФО-1, а именно – увеличение мощности β_2 - и уменьшение мощности δ , θ , α , β_1 диапазонов – свидетельствовало об усилении активности корковых структур, которое чаще отмечалось в височных зонах (в 5 диапазонах), реже в лобных (в 3 диапазонах), теменно-затылочных и центральных (в 3).

При низкой ФА СФО-2 активность корковых структур изменялось по-иному (табл. 4). В δ , θ , β_1 диапазонах в ряде корковых зон отмечалось не снижение, а увеличение мощности БП ЭЭГ. Такие изменения можно рассматривать, в соответствии с вышеприведенными данными, как признак ослабления активности корковых структур.

В δ -диапазоне увеличение мощности БП ЭЭГ, свидетельствовавшее об ослаблении активности корковых структур, отмечалось в теменно-затылочных и центральной зонах полушарий.

В θ -диапазоне – в теменно-затылочных и лобных зонах полушарий.

В β_1 -диапазоне – в центральной и одной из лобных зон левого полушария.

В β_2 -диапазоне отмечалось увеличение мощности БП, свидетельствовавшее об усилении активности корковых структур в центральной, теменной и лобно-височной зонах (C_3 , C_4 , P_3 , P_4 , F_7 , F_8) левого полушария.

Следует отметить, что в височных зонах – T_3 , T_5 , T_4 , T_6 – изменений мощности БП ЭЭГ не отмечалось.

В СФО-3 при низком уровне ПФА (табл. 5) изменения БП ЭЭГ были сходными с изменениями в СФО-1. Уменьшение показателей мощности БП ЭЭГ отмечалось:

- в δ -диапазоне – в височных и лобных зонах обеих гемисфер;
- в θ -диапазоне – в височных и теменно-затылочных зонах левого полушария, и в височных зонах правого полушария;
- в α -диапазоне – в височных, лобных, теменно-затылочных и центральной зонах обеих гемисфер;

- в β_1 -диапазоне – в височных и затылочной зонах левого полушария, а также в центральной и височных зонах правого полушария.

В β_2 -диапазоне отмечалось увеличение мощности БП ЭЭГ в височных и, частично, лобных зонах левого полушария.

Таким образом, изменения показателей мощности при низкой ФА СФО-3 – увеличение мощности в β_2 -диапазоне и уменьшение в δ , θ , α , β_1 -диапазонах – свидетельствовали об усилении активности корковых структур, которое чаще выявлялось в височных зонах (в 5 диапазонах), реже в лобных (в 3), теменно-затылочных и центральных (в 3).

Подытоживая, можно заключить, что при низком уровне ПФА, и, соответственно, при низкой ФА СФО-1, СФО-3 во всех диапазонах наблюдались сходные изменения показателей мощности, свидетельствовавшие об усилении активности корковых структур в обеих гемисферах. Усиление активности обязательно отмечалось в зонах, связанных с образованиями ЛРК – височных (T_5 , T_6 , T_3 , T_4) и лобно-височных (F_7 , F_8).

Изменения активности корковых структур при низком уровне ПФА, сходные с изменениями при низкой ФА СФО-1, СФО-3, и отличавшиеся от изменений при низкой ФА СФО-2, проиллюстрированы на рис. 1. Из рисунка видно, что при низком уровне ПФА, низкой ФА СФО-1 и СФО-3 в корковых структурах передних и задних отделов полушарий – включая височные зоны – отмечалось снижение мощности БП ЭЭГ. Оно свидетельствовало об усилении активности корковых структур, в том числе височных зон, связанных с образованиями ЛРК [6, 25]. При низкой ФА СФО-2 в передних и задних отделах коры отмечалось повышение мощности БП ЭЭГ, свидетельствовавшее об ослаблении активности коры ГМ. В височных зонах, связанных с ЛРК, изменений показателей мощности – или изменений активности коры головного мозга – не выявлялось.

Изменения показателей церебрального энергообмена при низком и высоком уровнях ПФА, низкой и высокой ФА СФО-1, СФО-2, СФО-3 показаны на рис. 2. Как видно из рисунка, показатели церебрального энергообмена в передних отделах коры были больше, чем в задних. Такие соотношения выявляются в норме, у здоровых людей [21].

Из рисунка также видно, что при низком уровне ПФА, и низкой ФА СФО-1, СФО-2 в передних отделах коры отмечалось увеличение показателей церебрального энергообмена относительно высокого уровня ПФА, высокой ФА СФО, ($p < 0,05$; t -критерий). В СФО-3 при низкой ФА показатели церебрального энергообмена в передних отделах коры не изменялись относительно высокой ФА, ($p > 0,05$; t -критерий). Это означало, что при низком уровне ПФА, соответственно, низкой ФА СФО-1, СФО-2 церебральный энергообмен в передних отделах коры усиливался, при низкой ФА СФО-3 – не изменялся.

В задних отделах коры показатели церебрального энергообмена при разных состояниях не различались по величине. Это означало, что в задних отделах коры церебральный энергообмен при низком уровне ПФА и при низкой ФА СФО-1, СФО-2, СФО-3 не изменялся (относительно высокого уровня ПФА, и высокой ФА СФО).

Таким образом, церебральный энергообмен усиливался при низком уровне ПФА и низкой ФА СФО-1, СФО-2 в передних отделах коры, и не изменялся в задних. В СФО-3 церебральный энергообмен при низкой ФА не изменялся ни в передних, ни в задних отделах коры.

ПФА

СФО-1

СФО-2

СФО-3

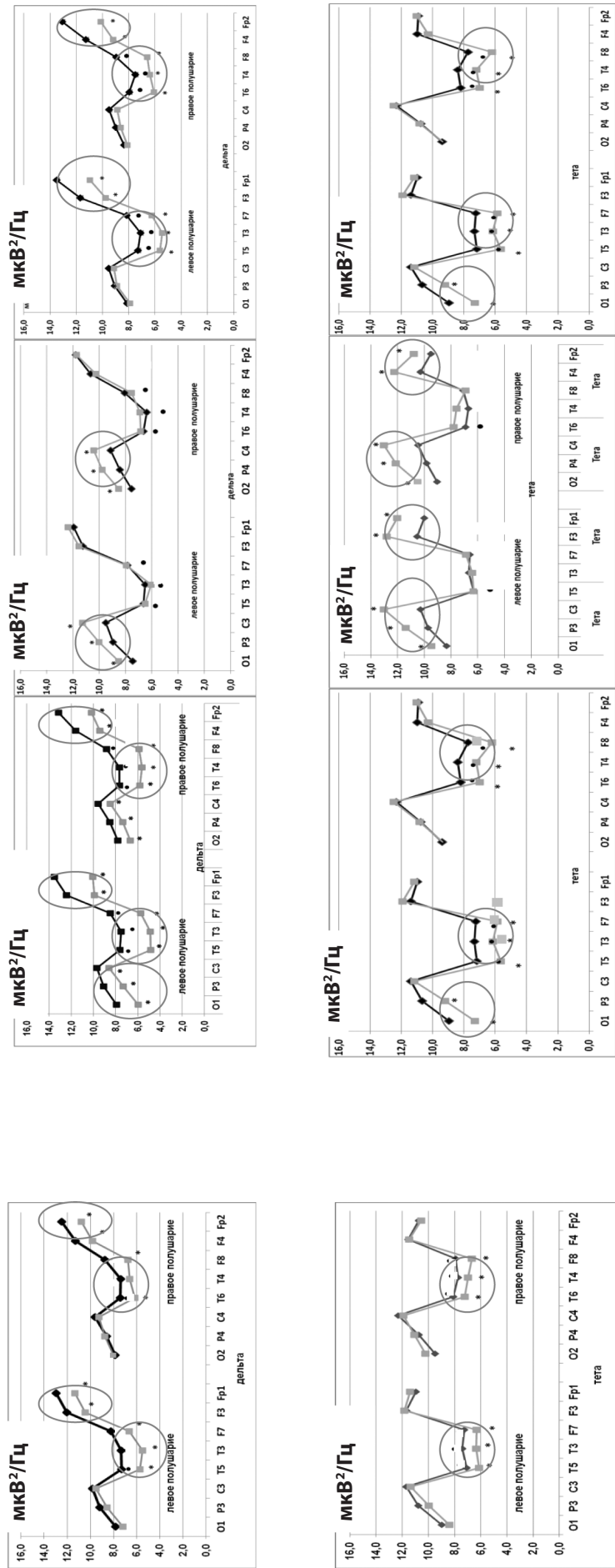


Рис. 1. Распределение показателей мощности дельта и тета – диапазонов ЭЭГ по коре полушарий при низком и высоком уровнях ПФА

— высокий уровень ПФА; высокая ФА СФО ЦНС; — низкий уровень ПФА; низкая ФА СФО ЦНС;

● — статистически значимые различия между низким и высоким уровнями ПФА; низкой и высокой ФА СФО; *t*-критерий, *p* < 0,05;

— — статистически значимые различия между низким и высоким уровнями ПФА; низкой и высокой ФА СФО; *t*-критерий, *p* < 0,05;

— — статистически значимые различия между низким и высоким уровнями ПФА; низкой и высокой ФА СФО; *t*-критерий, *p* < 0,05;

— — статистически значимые различия между низким и высоким уровнями ПФА; низкой и высокой ФА СФО; *t*-критерий, *p* < 0,05;

Fig. 1. Distribution of power indicators of the EEG delta and theta ranges in the hemispheric cortex at low and high levels of PPA

— high levels of PPA; high FA SFF CNS;

— low PPA; low FA SFF CNS;

● — statistically significant differences between low and high PPA levels; low and high FA SFF; *t*- criterion, *p* < 0,05;

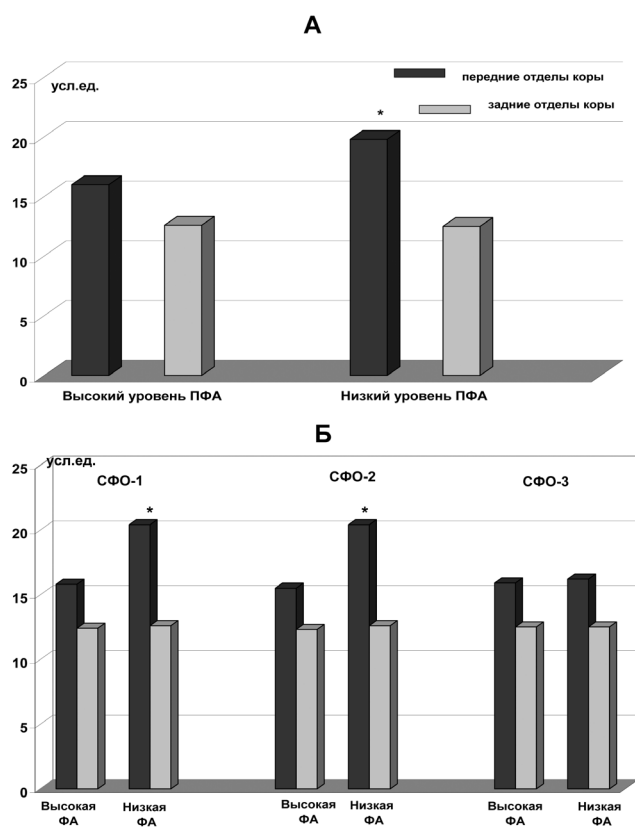


Рис. 2. Показатели церебрального энергообеспечения (в усл. ед.) в передних и задних отделах коры:

А – при низком и высоком уровнях ПФА;

Б – при низкой и высокой ПФА СФО-1, СФО-2, СФО-3.

Fig. 2. Indicators of cerebral energy supply (in conventional units) in the anterior and posterior sections of the cortex:

А – at low and high levels of PPA;

Б – at low and high levels of PPA

Обсуждение

Сравнительный анализ показателей мощности БП ЭЭГ и церебрального энергообмена выявил более высокую активность корковых структур и более высокий церебральный энергообмен при низком уровне ПФА. В разных СФО эти изменения проявлялись по-разному. Уменьшение показателей мощности, свидетельствовавшее об усилении активности корковых структур, отмечалось в СФО-1 и СФО-3. Оно наблюдалось во всех отделах коры, включая височные зоны, связанные с образованиями ЛРК [6, 25]. В СФО-2 – в отличие от СФО-1 и СФО-3 – отмечалось ослабление активности корковых структур в передних (лобных) и задних (теменно-затылочных) отделах коры, активность височных зон не изменялась.

Усиление церебрального энергообмена выявлялось в СФО-1 и СФО-2. Оно отмечалось в передних отделах коры, и не определялось в задних. В СФО-3 церебральный энергообмен не изменялся – ни в передних, ни в задних отделах коры.

Уровень ПФА СФО-1 оценивался с помощью психологических методик, характеризующих психологические особенности обследованных лиц: индивидуальные черты и эмоциональные состояния (ММИЛ) [14, 15]; свойства характера, склонности и интересы (Кеттелл) [16]; когнитивные функции (уровень IQ – тест Равенна) [17]; уровень интернальности-экстернальности, или степени готовности человека брать на себя ответственность за происходящее с ним и вокруг него (тест УСК [18]). Перечисленные характеристики отражают личность человека, которая рассматривается как система устойчивых

социально обусловленных психологических свойств, определяющая отношение человека к общественным явлениям и людям [28]. Эти характеристики формируются во взаимосвязи с высшими психическими функциями, к которым относят сознание, гнозис, праксис, речь, память, мышление, эмоции, перцептивные процессы [28, 29]. Именно поэтому указанные представления позволили условно выделить СФО-1 как образование, отражающее деятельность преимущественно коры.

Как показали результаты, в СФО-1 при низкой ПФА усиливалась биоэлектрическая активность во всех отделах коры и увеличивался энергообмен в передних отделах. Усиление отмечалось в лобных зонах, относящихся, согласно А.Р. Лурии [30], к функциональному блоку ГМ, осуществляющему программирование регуляцию и контроль психической деятельности. Усиление активности корковых структур отмечалось, кроме того, в теменных и затылочных областях, относящихся к блоку, осуществляющему приём, переработку и хранение информации [30], а также в височных зонах, связанных с образованиями ЛРК, которые регулируют эмоциональные процессы и тесно связанные с ними вегетативные функции [6, 25].

В ГМ обследованных, в соответствии с полученными нами результатами, в условиях низкой ПФА СФО-1 происходило одновременное усиление активности корковых структур, регулирующих когнитивные функции и осуществляющих приём, переработку, хранение информации, а также подкорковых образований ЛРК, ответственных за эмоциональные и вегетативные процессы [6, 25, 30]. Можно предположить, что описанные выше корково-подкорковые взаимоотношения, обусловленные работой ЛРК, явились причиной повышения энергообмена в передних отделах коры ГМ.

Аналогичные результаты были получены и в СФО-3 при низкой ПФА с помощью показателей ВСР, отражающих центральную регуляцию ССС и тонуса вегетативной нервной системы (ВНС) [19]. Процессы, осуществляющиеся с участием преимущественно подкорковых образований, сопровождались усилением биоэлектрической активности тех же зон коры, что и в случае низкой ПФА СФО-1. Однако, церебральный энергообмен при этом не изменялся. Можно предположить, согласно теории Джеймса-Ланге, что в данном случае ведущее значение имели процессы, связанные с изменениями в структурах центральной регуляции ССС и тонуса ВНС [19]. Реципрокные отношения между лимбической и восходящей активирующей системами [6, 25] также могли иметь отношение к формированию характеристик при низкой ПФА СФО-3, но не играли основной роли.

Результаты, отличные от вышеописанных, получены при анализе низкой ПФА СФО-2, участвующего в формировании зрительно-моторных реакций. Эти реакции отражают степень активности корковых структур зрительного и моторного анализаторов [18, 19], и осуществляются преимущественно путём корково-подкоркового взаимодействия [6]. При низкой ПФА СФО-2, в отличие от СФО-1 и СФО-3, наблюдалось ослабление активности корковых структур в лобных, теменных и затылочных областях. Активность височных зон, связанных с образованиями ЛРК, регулируемыми эмоциональными и вегетативными процессами, не изменялась [6, 25]. Можно предположить, что корково-подкорковые взаимодействия при низкой ПФА СФО-2 осуществлялись иным способом – путём ослабления активности лобных и теменно-затылочных областей коры. Определённую роль в этом могли играть и реципрокные отношения между лимбической и восходящей активирующей системами.

Энергообмен при низкой ФА СФО-2 был выше в передних отделах коры, как при низкой ФА СФО-1. Однако причины могли быть обусловлены отличиями корково-подкорковых взаимодействий, что требует дальнейшего изучения.

Заключение

Сравнительный анализ частотных спектров ЭЭГ и церебрального энергообмена в коре ГМ при низком уровне ПФА и низкой ФА условно выделенных СФО показал общее и различное в степени их участия в поддержании функциональной активности головного мозга при низком уровне ПФА.

Процессы, связанные с участием преимущественно коры ГМ (СФО-1), при низком уровне ПФА обеспечивались за счет усиления церебрального энергообмена в передних отделах коры. Это можно рассматривать как компенсаторный механизм, который позволяет обеспечить уровень функционирования ГМ, достаточный для

осуществления профессиональной деятельности лицами с низким уровнем ПФА. Важно отметить, что при высоком уровне ПФА таких процессов не наблюдалось.

Изменения в частотных спектрах отделов коры ГМ были сходными при низком уровне ПФА, низкой ФА СФО-1 и СФО-3. Церебральный энергообмен, однако, при низкой ФА СФО-3 в передних отделах коры не изменялся.

В СФО-2 при низкой ФА наблюдалось не увеличение, а, напротив, снижение активности корковых структур в лобных и других областях. Эти изменения сопровождались усилением энергообмена в передних отделах коры.

Углубление исследований в этом направлении может способствовать выявлению дополнительных компенсаторных механизмов головного мозга, направленных на обеспечение функциональной активности, требуемой для осуществления профессиональной деятельности лицами с низким уровнем ПФА.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Самойлов А.С., Бушманов А.Ю., Бобров А.Ф., Щебланов В.Ю., Седин В.И., Калинина М.Ю. Психофизиологические аспекты обеспечения надёжности профессиональной деятельности работников организаций атомной отрасли // Техническая академия Росатома: Материалы III отраслевой научно-практической конференции. АНО ДПО. 2018. С. 62-76.
- Бобров А.Ф., Бушманов А.Ю., Седин В.И., Щебланов В.Ю. Системная оценка результатов психофизиологических обследований // Медицина экстремальных ситуаций. 2015. Т.53, № 3. С. 13-19.
- Организация и проведение психофизиологических обследований работников организаций, эксплуатирующих особо радиационно опасные и ядерно опасные производства и объекты в области использования атомной энергии, при прохождении работниками медицинских осмотров в медицинских организациях ФМБА России: Методические рекомендации Р ФМБА России 2.2.9.84-2015. М., 2015. 10 с.
- Ильин Е. П. Психофизиология состояний человека. СПб.: Питер, 2005. 412 с.
- Торубаров Ф. С., Бушманов А. Ю., Зверева З. Ф., Кретов А. С., Лукьянова С. Н., Денисова Е. А. Концепция психофизиологического обследования персонала объектов использования атомной энергии в медицинских организациях // Медицина экстремальных ситуаций. 2021. Т.23, № 1. С. 8-13.
- Зенков Л.Р. Клиническая электроэнцефалография (с элементами эпилептологии): Руководство для врачей. М.: МЕДпрессинформ, 2017. 360 с.
- Фокин В.Ф., Пономарева Н.В. Энергетическая физиология мозга. М.: Антидор. 2003. 288 с.
- Foster C., Steventon J.J., Helme D., Tomassini V., Wise R.G. Cerebral Metabolic Changes During Visuomotor Adaptation Assessed Using Quantitative fMRI // Front Physiol. 2020. No. 11 P. 428.
- Грибанов А. В., Аникина Н.Ю., Гудков А.Б. Церебральный энергообмен как маркер адаптивных реакций человека в природно-климатических условиях Арктической зоны Российской Федерации // Экология человека. 2018. № 8. С. 32-40.
- Грибанов А.В., Котцова О.Н., Аникина Н.Ю., Панков М.Н., Корельская И.Е. Сезонные изменения церебрального энергообмена при разном уровне тревожности у молодых людей в арктической зоне российской федерации // Человек. Спорт. Медицина. 2021. Т.21, № 4. С. 73-80.
- Кирсанов В. М. Динамика энергетического потенциала мозга в условиях использования активных форм обучения // Ученые записки университета имени П. Ф. Лесгафта. 2011. Т.77, № 7. С. 85-92.
- Trimmel M., Strässler F., Kerner K. Brain DC Potential Changes of Computerized Tasks and Paper/Pencil Tasks // Int. J. Psychophysiol. 2001. V.40, No. 3. P. 187-194.
- Руководство по оценке и интерпретации результатов мониторинга психофизиологического состояния работников организаций, эксплуатирующих особо радиационно опасные и ядерно опасные производства и объекты в области использования атомной энергии. М.: ФМБА России, 2014. 40 с.
- Березин Ф.Б. Психическая и психофизиологическая адаптация человека. Л., Наука, 1988. 270 с.
- Березин Ф.Б., Мирошников М.П., Соколова Е. Д. Методика многостороннего исследования личности (ММИЛ): структура, основы интерпретации, некоторые области применения. М.: Березин Феликс Борисович. 2011. 320 с.
- Cattel R.B., Eber H.W. Handbook for the Sixteen Personality Factor Questionnaire. Illinois, 1964.
- Raven J.C. A Manual for Raven's Progressive Matrices and Vocabulary Tests. London: H.K. Levis @ Go. Ltd, 1988.
- Секоян И.Э. «Локус контроля» Джулиана Роттера с позиций психометрии // Независимый психиатрический журнал. 2008. № 3. С. 18-25.
- Лоскутова Т.Д. Оценка функционального состояния центральной нервной системы человека по параметрам простой двигательной реакции // Физиологический журнал СССР. 1975. Т.61., № 1. С. 3-12.
- Баевский Р.М. Концепция физиологической нормы и критерии здоровья // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. 2003. № 4. С. 473-487.
- Зверева З.Ф. Характер межполушарного распределения мощности биопотенциалов головного мозга в норме и при его латерализованном поражении: Автореф. дис... д-ра мед. наук. 2004. 36 с.
- Пасекова О.Б., Степанова Г.П., Воронков Ю.И. Межполушарные различия показателей спектральной мощности альфа-ритма энцефалограммы при велоэргометрии // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2015. Т. 49. № 5. С. 21-24.
- Варварова С.И., Зяблова П.В. Изменения электрической активности фронтальных зон мозга под влиянием когнитивной тревожности у человека // Молодежный инновационный вестник. 2020. Т.9, № 2. С. 179-180.
- Новикова С.И. Ритмы ЭЭГ и когнитивные процессы // Современная зарубежная психология. 2015. Т.4, № 1. С. 91-108. ISSN: 230464977 (online).
- Болдырева Г.Н. Участие структур лимбико-диэнцефального комплекса в формировании межполушарной асимметрии ЭЭГ человека. Г.25 // Функциональная межполушарная асимметрия / Под ред. Боголепова Н.Н., Фокина В.Ф. М.: Научный мир, 2004. С. 558-577.
- Данилова Н.Н. Психофизиологическая диагностика функциональных состояний. М.: Изд-во МГУ, 1992. 192 с.
- Хомская Е.Д. Нейропсихология. СПб.: Питер, 2005. 496 с.
- Выготский Л.С. Развитие высших психических функций. М.: Просвещение, 2008. 500 с.
- Леонтьев А.А. Ключевые идеи Л. Выготского – вклад в мировую психологию XX столетия // Психологический журнал. 2005. № 4. С. 5-11.
- Лурия А.Р. Высшие корковые функции человека и их нарушения при локальных поражениях мозга. СПб.: Питер, 2007. 621 с.
- Липунова О.В. Роль эмоциональной сферы в структуре адаптивного поведения личности // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=7831> (дата обращения: 15.03.2023).
- Психология адаптации и социальная среда: современные подходы, проблемы, перспективы / Под ред. Дикая Л.Г., Журавлев А.Л. М.: Изд-во «Институт психологии РАН», 2007. 624 с.
- Кузьмин И.А. Теоретический анализ проблемы происхождения эмоций в психологии // Дайджест социальных исследований. 2022. № 1. С. 42-53.
- Потехина Ю.П., Филатов Д.С. Роль лимбической системы в генезе психовисцеросоматических расстройств // Российский остеопатический журнал. 2017. Т.36-37, № 1-2. С. 78-87.
- Гельгорн Э., Луфборроу Д.Ж. Эмоции и эмоциональные расстройства. Нейрофизиологическое исследование / Пер. с англ. Виноградовой О.С.; Под ред. Анохина П.К. М.: МИР, 1966. 672 с.

REFERENCES

- Samoylov A.S., Bushmanov A.Yu., Bobrov A.F., Shcheblanov V.Yu., Sedin V.I., Kalinina M.Yu. Psychophysiological Aspects of Ensuring the Reliability of Professional Activity of Employees of Nuclear Industry Organizations. Technical Academy of Rosatom. Materials of the III Branch Scientific and Practical Conference. ANO DPO. 2018. p. 62-76 (In Russ.).
- Bobrov A.F., Bushmanov A.Yu., Sedin V.I., Shcheblanov V.Yu. System Evaluation of the Results of Psychophysiological Examinations. *Medicine of Extreme Situations*. 2015;53;3:13-19 (In Russ.).
- Organization and Conduct of Psychophysiological Examinations of Employees of Organizations Operating Particularly Radiation-Hazardous and Nuclear-Hazardous Production Facilities and Facilities in the Field of Atomic Energy Use, when Employees Undergo Medical Examinations in Medical Organizations of the FMBA of Russia. Methodological Recommendations of the Russian FMBA 2.2.9.84-2015. Moscow Publ., 2015. 10 p. (In Russ.).
- Ilin E. P. Psychophysiology of Human States. St. Petersburg, Piter Publ., 2005. 412 p.
- Torubarov F.S., Bushmanov A.Yu., Zvereva Z.F., Kretov A.S., Lukyanova S.N., Denisova E.A. The Concept of Psychophysiological Examination of Personnel of Nuclear Energy Facilities in Medical Organizations. *Medicine of Extreme Situations*. 2021;23;1:8-13 (In Russ.).
- Zenkov L.R. Clinical Electroencephalography (with Elements of Epileptology). A Guide for Doctors. Moscow, MEDpressinform Publ., 2017. 360 p. (In Russ.).
- Fokin V.F., Ponomareva N.V. Energetic Physiology of the Brain. Moscow, Antidor Publ., 2003. 288 p. (In Russ.).
- Foster C., Steventon J.J., Helme D., Tomassini V., Wise R.G. Cerebral Metabolic Changes During Visuomotor Adaptation Assessed Using Quantitative fMRI. *Front Physiol*. 2020;11:428.
- Gribanov A.V., Anikina N.Yu., Gudkov A.B. Cerebral Energy Exchange as a Marker of Adaptive Human Reactions in the Natural and Climatic Conditions of the Arctic Zone of the Russian Federation. *Human Ecology*. 2018;8:32-40 (In Russ.).
- Gribanov A.V., Kottsova O.N., Anikina N.Yu., Pankov M.N., Korelskaya I.E. Seasonal Changes in Cerebral Energy Exchange at Different Levels of Anxiety in Young People in the Arctic Zone of the Russian Federation. *Man. Sport. Medicine*. 2021;21;4:73-80 (In Russ.).
- Kirsanov V. M. Dynamics of the Energy Potential of the Brain in the Conditions of Using Active Forms of Learning. Scientific Notes of the P. F. Lesgaft University. 2011;77;7:85-92 (In Russ.).
- Trimmel M., Strässler F., Knerer K. Brain DC Potential Changes of Computerized Tasks and Paper/Pencil Tasks. *Int. J. Psychophysiol*. 2001;40;3:187-194.
- Guidelines for Assessing and Interpreting the Results of Monitoring the Psychophysiological State of Employees of Organizations Operating Particularly Radiation-Hazardous and Nuclear-Hazardous Production Facilities and Facilities in the Field of Atomic Energy Use. FMBA of Russia 2.2.9. Moscow Publ., 2014. 40 p. (In Russ.).
- Berezin F.B. Mental and Psychophysiological Adaptation of a Person. Leningrad, Nauka Publ., 1988. 270 p. (In Russ.).
- Berezin F. B., Miroshnikov M. P., Sokolova E. D., Methodology of Multilateral Personality Research (SMIL): Structure, Basics of Interpretation, Some Areas of Application. Moscow Publ., 2011. 320 p. (In Russ.).
- Cattell R.B., Eber H.W. Handbook for the Sixteen Personality Factor Questionnaire. Illinois, 1964.
- Raven J.C. A Manual for Raven's Progressive Matrices and Vocabulary Tests. London, H.K. Lewis @ Go. Ltd, 1988.
- Sekoyan I.E. «Locus of control» by Julian Rotter from the Standpoint of Psychometry. *Independent Psychiatric Journal*. 2008;3:18-25 (In Russ.).
- Loskutova T.D. Assessment of the Functional State of the Human Central Nervous System According to the Parameters of a Simple Motor Reaction. *Physiological Journal of the USSR*. 1975;61;1:3-12 (In Russ.).
- Bayevskiy R.M. The Concept of Physiological Norm and Criteria of Health. I.M. Sechenov Russian Journal of Physiology. 2003;4:473-487 (In Russ.).
- Zvereva Z. F. The Nature of the Interhemispheric Power Distribution of Brain Biopotentials in Normal and Lateralized Lesions. Extended Abstract of Doctor's thesis in Medicine. 2004. 36 p. (In Russ.).
- Pasekova O.B., Stepanova G.P., Voronkov Yu.I. Interhemispheric Differences in the Spectral Power of the Alpha Rhythm of the Encephalogram in Bicycle Ergometry. *Aerospace and Environmental Medicine*. 2015;49;5:21-24 (In Russ.).
- Varvarova S.I., Zyablova P.V. Changes in the Electrical Activity of the Frontal Areas of the Brain Under the Influence of Cognitive Anxiety in Humans. *Youth Innovation Bulletin*. 2020;9;2:179-180 (In Russ.).
- Novikova S.I. EEG Rhythms and Cognitive Processes. *Journal of Modern Foreign Psychology*. 2015;4;1:91-108. ISSN: 230464977 (online) (In Russ.).
- Boldyreva G.N. Participation of Limbic-Diencephalic Complex Structures in the Formation of Interhemispheric Asymmetry of Human EEG. Chapter 25. Functional Hemispheric Asymmetry. Ed. Bogolepov N.N., Fokin V.F. Moscow Publ., 2004. p. 558-577 (In Russ.).
- Danilova N.N. Psychophysiological Diagnostics of Functional States. Moscow Publ., 1992. 192 p. (In Russ.).
- Chomskaya E.D. Neuropsychology. St. Petersburg Publ., 2005. 496 p. (In Russ.).
- Vygotskiy L.S. The Development of Higher Mental Functions. Moscow Publ., 2008. 500 p. (In Russ.).
- Leontyev A.A. Key Ideas of L. Vygotskiy – Contribution to the World Psychology of the Twentieth Century. *Psychological Journal*. 2005;4:5-11 (In Russ.).
- Luria A.R. Higher cortical functions of a person and their disorders in local brain lesions / A.R. Luria. St. Petersburg: Peter, 2007. 621 p. (In Russ.).
- Lipunova O.V. The Role of the Emotional Sphere in the Structure of Adaptive Personality Behavior. *Modern Problems of Science and Education*. 2012;6. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=7831> (Date of accessed: 03/15/2023) (In Russ.).
- Psychology of Adaptation and the Social Environment: Modern Approaches, Problems, Prospects. Ed. Dikaya L.G., Zhuravlev A.L. Moscow Publ., 2007. 624 p. (In Russ.).
- Kuzmin I.A. Theoretical Analysis of the Problem of the Origin of Emotions in Psychology. *Digest of Social Research*. 2022;1:42-53 (In Russ.).
- Potekhina Yu.P., Filatov D.S. The Role of the Limbic System in the Genesis of Psycho-Visceral Somatic Disorders. *Russian Osteopathic Journal*. 2017;36-37;1-2:78-87 (In Russ.).
- Helgorn E., Lufborrow J. Emotions and Emotional Disorders. *Neurophysiological Research*. Transl. English by Vinogradova O.S. Ed. Anokhin P.K. Moscow Publ., 1966. 672 p. (In Russ.).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.
Участие авторов. Статья подготовлена с равным участием авторов.
Поступила: 20.04.2023. **Принята к публикации:** 27.05.2023.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.
Financing. The study had no sponsorship.
Contribution. Article was prepared with equal participation of the authors.
Article received: 20.04.2023. **Accepted for publication:** 27.05.2023.