

ЦЕРЕБРАЛЬНЫЙ ЭНЕРГООБМЕН У РАБОТНИКОВ ЯДЕРНО ОПАСНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ И ПРОИЗВОДСТВ С НИЗКИМ УРОВНЕМ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИИ

З. Ф. Зверева¹✉, Ф. С. Торубаров¹, Н. П. Ванчакова², Е. А. Денисова¹

¹ Федеральный медицинский биофизический центр имени А. И. Бурназяна, Москва, Россия

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

В результате психофизиологического обследования работников 10-й АЭС России у 30% обследованных выявлен низкий уровень психофизиологической адаптации (ПФА). Изучение функциональной активности (ФА) головного мозга с помощью ЭЭГ установило ее снижение у лиц с низким уровнем ПФА. Одним из факторов снижения функционального состояния головного мозга может быть нарушение церебрального энергообмена. Целью работы было изучить особенности церебрального энергообмена у работников ядерно опасных предприятий и производств с низким уровнем ПФА. Исследовали 159 ЭЭГ лиц с низким уровнем ПФА ($50,8 \pm 4,6$), 152 ЭЭГ лиц с высоким уровнем ПФА ($48,8 \pm 1,5$). Энергообмен изучали при низкой ФА как мозга в целом, так и отдельных условно выделенных нами структурно-функциональных образований (СФО) ЦНС: преимущественно коры (СФО-1), корково-подкоркового взаимодействия (СФО-2), центральной регуляции сердечно-сосудистой системы (СФО-3). ЭЭГ регистрировали общепринятым способом на электроэнцефалографе. Для оценки церебрального энергообмена использовали показатель величины межполушарных различий (ВМПР) мощности биопотенциалов (БП) ЭЭГ гомологичных отведений. Получены данные об усилении при низком уровне ПФА церебрального энергообмена в передних отделах коры головного мозга. Усиление церебрального энергообмена выявлено также в СФО-1 и СФО-2, ответственных за психические и психофизиологические функции ЦНС. При этом в СФО-3, отражающем центральную регуляцию ССС, церебральный энергообмен не менялся.

Ключевые слова: работники, ядерно опасные предприятия, центральная нервная система, ЭЭГ, психофизиологическая адаптация, церебральный энергообмен, функциональное состояние

Вклад авторов: З. Ф. Зверева, Ф. С. Торубаров, Н. П. Ванчакова — обработка данных и написание статьи; Е. А. Денисова — психофизиологическое обследование.

Соблюдение этических стандартов: исследование одобрено этическим комитетом Федерального медицинского биофизического центра им. А. И. Бурназяна (протокол № 406 от 13 декабря 2021 г.)

✉ Для корреспонденции: Зоя Фёдоровна Зверева
Пестеля, д. 9, к. 146, г. Москва, 127490, Россия; zvereva01@yandex.ru

Статья получена: 15.04.2022 **Статья принята к печати:** 29.04.2022 **Опубликована онлайн:** 03.05.2022

DOI: 10.47183/mes.2022.012

CEREBRAL ENERGY EXCHANGE IN EMPLOYEES OF HAZARDOUS NUCLEAR FACILITIES AND PRODUCTIONS WITH THE LOW DEGREE OF PSYCHOPHYSIOLOGICAL ADAPTATION

Zvereva ZF¹✉, Torubarov FS¹, Vanchakova NP², Denisova EA¹

¹ Burnazyan Federal Medical Biophysical Center, Moscow, Russia

² Pavlov First Saint Petersburg State Medical University, St. Petersburg, Russia

Psychophysiological assessment of employees of 10 Russian nuclear power plants revealed a low degree of psychophysiological adaptation (PPA) in 30% of subjects. Studying the functional activity (FA) of the brain by EEG revealed the decline in FA in individuals with the low degree of PPA. The impaired cerebral energy exchange could be one of the factors contributing to the decline in the brain functional state. The study was aimed to assess the features of the cerebral energy exchange in the employees of the hazardous nuclear facilities and productions with the low degree of PPA. A total of 159 EEG recordings acquired from individuals with the low degree of PPA (50.8 ± 4.6), and 152 EEG recordings acquired from individuals with the high degree of PPA (48.8 ± 1.5) were studied. Energy exchange was assessed in individuals with the low FA of both brain as a whole and the following conditionally distinguished structural and functional units (SFUs) of the CNS: mainly cerebral cortex (SFU-1), cortical-subcortical interactions (SFU-2), central control of the cardiovascular system (SFU-3). EEG was recorded by standard method using the electroencephalography unit. The magnitude of the hemispheric differences (HD) in the power of biopotentials (BP) between the homologous EEG leads was used to assess the cerebral energy exchange. There is evidence of the cerebral energy exchange increase in the anterior cortical areas of individuals with the low degree of PPA. The increased cerebral energy exchange has been also revealed in SFU-1 and SFU-2 responsible for the mental and psychophysiological functions of the CNS. However, cerebral energy exchange remains unchanged in the SFU-3 reflecting the central control of the CVS.

Keywords: employees, hazardous nuclear facilities and productions, central nervous system, EEG, psychophysiological adaptation, cerebral energy exchange, functional state

Author contribution: Zvereva ZF, Torubarov FS, Vanchakova NP — data processing, manuscript writing; Denisova EA — psychophysiological assessment.

Compliance with ethical standards: the study was approved by the Ethics Committee of the A. I. Burnazyan Federal Medical Biophysical Center (protocol № 406 dated December 13, 2021).

✉ **Correspondence should be addressed:** Zoya F. Zvereva
Pestelya 9, k. 146, Moscow, 127490, Russia; zvereva01@yandex.ru

Received: 15.04.2022 **Accepted:** 29.04.2022 **Published online:** 03.05.2022

DOI: 10.47183/mes.2022.012

Работа оперативного персонала ядерно опасных предприятий и производств связана с большим эмоциональным напряжением и высокой ответственностью. Основные задачи работников — своевременное и правильное восприятие сложной информации, ее оценка, принятие решения и адекватные ответные действия. Все

они обеспечиваются центральной нервной системой (ЦНС). Нарушения функционального состояния (ФС) ЦНС, приводящие к снижению психофизиологической адаптации (ПФА), отражаются на надежности профессиональной деятельности и могут приводить к возрастанию риска возникновения аварийных ситуаций по вине персонала [1].

Оценить ФС ЦНС и уровень ПФА позволяет психофизиологическое обследование (ПФО), которое проходят работники ядерно опасных предприятий и производств в рамках обязательных ежегодных медицинских осмотров [2, 3]. Опыт проведения ПФО показал целесообразность применения комплексного подхода к определению уровня ПФА с использованием методик, учитывающих психическую, психофизиологическую и физиологическую сферы человека [1, 3, 4].

Разработанная нами концептуальная модель ПФО персонала объектов использования атомной энергии позволяет оценить функциональную активность (ФА) условно выделенных нами структурно-функциональных образований (СФО) ЦНС, ФС ЦНС в целом и уровень ПФА [5]. В качестве СФО ЦНС мы рассматриваем следующие: преимущественно кора (СФО-1); корково-подкорковое взаимодействие (СФО-2); центральная регуляция сердечно-сосудистой системы (СФО-3).

Функциональная активность структурно-функциональных образований ЦНС оценивается следующим образом:

- СФО-1 с помощью психологических методик, которые отражают психическую сферу: личностные особенности, психическое состояние человека, черты его характера, уровень интеллекта, уровень интернальности-экстернальности (степень готовности человека брать на себя ответственность за происходящее с ним и вокруг него), за что в наибольшей степени отвечает кора головного мозга [6];

- СФО-2 с помощью психофизиологических методик, которые отражают динамику скорости нервных процессов, их переключения, уровень зрительно-моторной координации, общий уровень работоспособности и активности ЦНС, что формируется при доминирующей роли корково-подкорковых взаимоотношений [7];

- СФО-3 с помощью физиологической методики определения вариабельности сердечного ритма (BCP), которая отражает центральную регуляцию сердечно-сосудистой системы (ССС), за что отвечают подкорковые структуры — дизэнцефальные отделы ствола головного мозга [8].

Показатели ФА СФО ЦНС определяют как высокие, средние, низкие. Это позволяет определить уровень ПФА как интегрального показателя — тоже как высокий, средний, низкий [2, 3, 4]. ПФО проводят с помощью аппаратно-программного комплекса (АПК) «ПФС-Контроль» [2, 4].

Проведенное ранее ПФО оперативных работников 10 АЭС России показало, что 30% из них имели низкий уровень ПФА [9, 10]. При оценке ФС ЦНС у этих работников с помощью ЭЭГ при низком уровне ПФА статистически значимо чаще, чем при высоком, выявляли показатели, рассматриваемые как аномальные [11, 12]. Это свидетельствовало об ухудшении ФС ЦНС. Наибольшее число аномальных показателей выявили при низкой ФА СФО, отражающего центральную регуляцию ССС [9–12].

В вопросах адаптации человека к условиям жизнедеятельности, включая напряженную и ответственную профессиональную деятельность, важное значение придается изучению энергетического метаболизма головного мозга [13], лежащего в основе функциональной пластичности мозга [14]. В исследованиях с использованием нейроэргометрии, оценивающей церебральный энергообмен путем регистрации уровня постоянного потенциала (УПП) головного мозга [15], были установлены изменения, возникающие в условиях напряженной жизнедеятельности в ЦНС при

развитии адаптивных реакций. Показано, что в сложных природно-климатических условиях Арктической зоны Российской Федерации (РФ) у проживающих постоянно и у мигрантов наблюдаются изменения адаптивных реакций в виде усиления церебрального энергообмена [16]. У жителей Арктической зоны РФ отмечена тесная связь между световым режимом, состоянием церебрального энергообмена и тревожностью. Сезонные изменения церебрального энергообмена в виде его усиления в светлые периоды года у людей с высоким уровнем тревоги протекают с более выраженным усилением энергообмена, чем у лиц с низким уровнем тревожности [17]. При изучении взаимосвязи деятельности мозга с энергетическим метаболизмом было показано, что интенсивную интеллектуальную нагрузку сопровождает более значительное усиление церебрального энергообмена, чем менее интенсивную [13]. Выявлены также различия в усилении церебрального энергообмена в разных зонах коры при умственной нагрузке разного типа [18].

Вопросы энергетического метаболизма головного мозга при адаптивных реакциях человека, несмотря на значимость, практически не изучены у работников ядерно опасных предприятий и производств. Не изучен церебральный энергообмен у работников атомной отрасли при низком уровне ПФА.

В электроэнцефалографии, широко используемой при изучении механизмов перестроек ФС ЦНС в норме и патологии, для оценки церебрального энергообмена разработан показатель — величина межполушарных различий (ВМПР) мощности биопотенциалов (БП) ЭЭГ гомологичных отведений [19], который был применен в настоящем исследовании. Сопоставление данного показателя с используемым в нейроэргометрии показателем УПП, выявившее их сходство при оценке изменений ФС ЦНС [20], подтверждает обоснованность применения ВМПР мощности БП ЭЭГ гомологичных отведений для анализа церебрального энергообмена у лиц с низким уровнем ПФА.

Целью работы было изучить особенности церебрального энергообмена у работников ядерно опасных предприятий и производств с низким уровнем ПФА.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования были архивные ЭЭГ, записанные у работников ядерно опасных предприятий и производств при прохождении ПФО во время медосмотра. Критерии включения: ЭЭГ лиц, не имевших противопоказаний к продолжению работы по результатам медосмотра и ПФО. Выделено 311 ЭЭГ, из них 159 ЭЭГ лиц с низким уровнем ПФА ($50,8 \pm 4,6$ лет; 146 мужчин, 13 женщин), 152 ЭЭГ лиц с высоким уровнем ПФА ($48,8 \pm 1,5$ лет; 140 мужчин, 12 женщин). В связи с небольшим количеством женщин группы рассматривали как однородные.

ПФО проводили на АПК «ПФС-КОНТРОЛЬ» [2–4]. Использовали следующие психологические методики:

- методику многостороннего исследования личности (ММИЛ; адаптированный вариант ММРІ [2, 3, 21, 22]);
- 16-факторный личностный опросник Рэймонда Кеттелла (16-ФЛО, форма А) [2, 3, 23];
- «прогрессивные матрицы» Джона Равенна [2, 3, 24];
- «уровень субъективного контроля» (УСК) [2, 3, 25]; на основании методик выделяли СФО-1.

Психофизиологические методики:

- простая зрительно-моторная реакция (ПЗМР),

сложная зрительно-моторная реакция (СЗМР), реакция на движущийся объект (РДО); на основании методик выделяли СФО-2.

Физиологическая методика: ВСР; на основании методики выделяли СФО-3.

Для оценки церебрального энергообмена были сформированы две группы в зависимости от уровня ПФА:

- 1-я группа с низким уровнем ПФА ($n = 159$);
- 2-я группа с высоким уровнем ПФА (группа сравнения; $n = 152$).

Сформированы также две подгруппы в зависимости от ФА СФО ЦНС:

- 1-я подгруппа с низкой ФА — СФО-1 ($n = 48$), СФО-2 ($n = 53$), СФО-3 ($n = 110$);
- 2-я подгруппа с высокой ФА — СФО-1 ($n = 117$), СФО-2 ($n = 71$), СФО-3 ($n = 87$).

ЭЭГ регистрировали на аппарате ЭЭГА-21/26 «Энцефалан-131-03» («МЕДИКОМ МТД»; Россия) по стандартной схеме «10–20%» в состоянии пассивного бодрствования. Электроды помещали в зонах коры: Fp1, Fp2, F3, F4, F7, F8, T3, T4, T5, T6, C3, C4, P3, P4, O1, O2. Отведение монополярное, индифферентные электроды помещали на мочки ушей. Оцифровка сигналов — 1024, скорость развертки — 30 мм/с. 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 вычисления показателя церебрального энергообмена:

- безартефактные отрезки фоновой записи (1,5–2 мин) обрабатывали по программам ЭЭГА-21/26 «Энцефалан-131-03» и получали цифровые значения 10-ти фрагментов спектральной мощности БП ЭЭГ в каждом из отведений гемисфер;

- для расчета разницы между двумя величинами от условной средней в % по формуле $(A-B)/(A+B) \times 100\%$, где А — мощность БП ЭЭГ в отведении левого полушария, В — мощность БП ЭЭГ в гомологичном отведении правого полушария) вычисляли значения ВМГР мощности БП ЭЭГ гомологичных отведений;

- абсолютные значения ВМГР мощности БП ЭЭГ гомологичных отведений усредняли во всех диапазонах (α , δ , θ , β_1 , β_2) для каждой пары отведений; полученные значения являлись показателями церебрального энергообмена в условных единицах (усл. ед.);

- вычисляли усредненные показатели церебрального энергообмена отдельно для передних отделов коры (Fp1, Fp2, F3, F4, F7, F8, T3, T4, T5, T6) и задних отделов коры (C3, C4, P3, P4, O1, O2) [19].

Статистическую обработку данных проводили с помощью программ STATISTICA 6 для Windows (StatSoft Inc.; США) и Biostat (AnalystSoft; США). Обработка массива данных по программе STATISTICA 6 включала расчет средних арифметических величин (M) и ошибок (m). Достоверность различий средних значений оценивали с

использованием критерия Стьюдента. Различия в группах сравнения считали значимыми при $p < 0,05$. Обработка массива данных по программе Biostat включала расчет критерия χ^2 , уровень значимости $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В табл. 1 представлены показатели ВМГР мощности БП ЭЭГ гомологичных отведений в передних и задних отделах коры при низком и высоком уровнях ПФА.

Как при низком, так и при высоком уровнях ПФА значения показателей в передних отделах коры были больше, чем в задних. В передних отделах коры церебральный энергообмен был выше, чем в задних. Это соответствует аналогичным соотношениям в норме у здоровых людей [19].

При низком уровне ПФА показатели ВМГР мощности БП ЭЭГ гомологичных отведений в передних отделах коры увеличились (относительно высокого уровня). В задних отделах коры значения показателей ВМГР мощности БП ЭЭГ гомологичных отведений при низком и высоком уровнях ПФА не различались.

Из приведенных данных следует, что при низком уровне ПФА церебральный энергообмен усиливался в передних отделах коры и не изменялся в задних.

В табл. 2 представлены показатели ВМГР мощности БП ЭЭГ гомологичных отведений в передних и задних отделах коры при низкой и высокой ФА СФО ЦНС.

В СФО-1 при низкой ФА показатели ВМГР мощности БП ЭЭГ гомологичных отведений увеличились (относительно высокой ФА) в передних отделах коры и не изменились в задних.

Аналогично в СФО-2 при низкой ФА показатели ВМГР мощности БП ЭЭГ гомологичных отведений увеличились (относительно высокой ФА) в передних отделах коры и не изменились в задних.

Из данных следует, что в СФО-1 и СФО-2 при низкой ФА церебральный энергообмен усиливался в передних отделах коры и не изменялся в задних.

При низкой ФА СФО-3 показатели ВМГР мощности БП ЭЭГ гомологичных отведений в передних и задних отделах коры не отличались от аналогичных показателей при высокой ФА. Церебральный энергообмен в передних и задних отделах коры не изменялся.

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

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Из результатов работы следует, что церебральный энергообмен при низком уровне ПФА усиливался. В

Таблица 1. Показатели ВМГР мощности БП ЭЭГ гомологичных отведений в передних и задних отделах коры при низком и высоком уровнях ПФА

Уровень ПФА	ВМПР мощности БП ЭЭГ гомологичных отведений (усл. ед.)		Критерий / <i>p</i>
	Отделы коры		
	передние	задние	
Низкий <i>n</i> = 159	18,1 ± 0,09*	15,9 ± 0,04•	<i>t</i> / 0,0089• <i>t</i> / 0,0034*
Высокий <i>n</i> = 152	17,3 ± 0,05**	15,7 ± 0,02•	<i>t</i> / 0,0056•

Примечание: * — статистически значимые различия между передними и задними отделами коры; ** — статистически значимые различия между низким и высоким уровнями ПФА.

Таблица 2. Показатели ВМГР мощности БП ЭЭГ гомологичных отведений в передних и задних отделах коры при низкой и высокой ФА СФО ЦНС

СФО ЦНС	ФА	Показатели ВМГР мощности БП ЭЭГ гомологичных отведений (усл. ед.)		Критерий / <i>p</i>
		Отделы коры		
		передние	задние	
СФО-1	низкая <i>n</i> = 48	18,8 ± 0,07**	16,1 ± 0,08*	<i>t</i> / 0,0062* <i>t</i> / 0,0030**
	высокая <i>n</i> = 117	17,2 ± 0,02**	15,5 ± 0,05*	<i>t</i> / 0,0050*
СФО-2	низкая <i>n</i> = 53	18,2 ± 0,06**	15,9 ± 0,04*	<i>t</i> / 0,0058* χ^2 / 0,046**
	высокая <i>n</i> = 71	17,0 ± 0,02**	15,7 ± 0,05*	<i>t</i> / 0,0062*
СФО-3	низкая <i>n</i> = 110	17,9 ± 0,04*	15,9 ± 0,06*	<i>t</i> / 0,0052*
	высокая <i>n</i> = 87	17,2 ± 0,03*	15,7 ± 0,09*	<i>t</i> / 0,016*

Примечание: * — статистически значимые различия между передними и задними отделами коры; ** — статистически значимые различия между низкой и высокой ФА СФО.

ранее проведенных электроэнцефалографических исследованиях работников АЭС было установлено, что при низком уровне ПФА в ЭЭГ выявляются признаки ухудшения ФС ЦНС в виде увеличения показателей, рассматриваемых как аномальные [9–12]. По данным литературы, при низкой адаптации в ЭЭГ приблизительно в 80% наблюдений фиксируются формы активности, существенно отличающиеся от нормы и свидетельствующие об ухудшении ФС ЦНС [9–12]. Можно предположить, основываясь на приведенных данных, что усиление церебрального энергообмена у работников ядерно опасных предприятий и производств с низким уровнем ПФА свидетельствовало об ухудшении ФС ЦНС.

ПФА представляет системный ответ организма на действие внешних и внутренних факторов, который направлен на достижение приспособительного результата [1, 4, 21, 26]. В качестве основного ее механизма рассматривают стресс [27, 28]. Показано, что при стрессе, возникающем как неспецифическая реакция организма на значительные воздействия внешних и внутренних факторов [27, 28], закономерно снижаются уровень адаптации, ухудшается ФС ЦНС и усиливается энергетический метаболизм головного мозга [15]. Эти данные подтверждены в исследованиях церебрального энергообмена у проживающих в неблагоприятных климатических условиях арктической зоны РФ [16], а также у проживающих в условиях арктической зоны и имеющих высокий уровень тревожности [17]. Можно предположить, что усиление церебрального энергообмена при низком уровне ПФА, выявленное в нашем исследовании, явилось следствием стрессовых реакций, развившихся у работников атомной отрасли в ответ на значительные воздействия внешних и внутренних факторов при осуществлении напряженной и ответственной профессиональной деятельности.

Повышение церебрального энергообмена указывает, вероятно, на включение дополнительных психофизиологических механизмов, которые позволяют лицам с низким уровнем ПФА справляться с нагрузками. Однако такой компенсаторный механизм не оптимален, истощает и требует дополнительного восстановления. Поэтому возникновение подобных изменений следует расценивать как критическое для персонала ядерно опасных предприятий и производств.

По результатам работы церебральный энергообмен усиливался при низкой ФА СФО-1 и СФО-2, которые отражают психическую и психофизиологическую сферы человека, и не изменялся при низкой ФА СФО-3, отражающей физиологическую сферу.

В соответствии с концептуальной моделью ПФО СФО-1 рассматривают как преимущественно корковое, СФО-2 — как корково-подкорковое взаимодействие, СФО-3 — как центральную регуляцию сердечно-сосудистой системы [5]. За функции, осуществляющиеся при участии СФО-1, в наибольшей степени отвечает кора головного мозга [6]. Функции, осуществляющиеся при участии СФО-2, формируются при доминирующей роли корково-подкорковых взаимоотношений [7]. За функции, осуществляющиеся при участии СФО-3, в наибольшей степени отвечают подкорковые структуры — диэнцефальные отделы ствола головного мозга [8]. ПФА, в соответствии с существующими представлениями, рассматривают как системный процесс, основанный на переработке информации [29]. Можно предположить, основываясь на приведенных представлениях, что процессы церебрального энергообмена в наибольшей степени вовлечены в переработку информации при осуществлении функций, за которые преимущественно отвечает кора головного мозга (СФО-1), а также при осуществлении функций, которые формируются при доминирующей роли корково-подкорковых взаимоотношений (СФО-2). В меньшей степени процессы церебрального энергообмена вовлечены в переработку информации при осуществлении функций, за которые в наибольшей степени отвечают подкорковые структуры — диэнцефальные отделы ствола головного мозга (СФО-3).

Можно также предположить, что усиление церебрального энергообмена является компенсаторным нейробиохимическим процессом, направленным на повышение ФА наиболее важных СФО ГМ.

Усиление церебрального энергообмена в передних отделах коры ГМ как при низком уровне ПФА, так и при низкой ФА СФО ЦНС, участвующих в психических и психофизиологических функциях, связано с их большей динамичностью в условиях повышенных нагрузок по сравнению с физиологическими функциями. СФО, связанное с регуляцией сердечно-сосудистой системы,

отличаются автономностью, и в поддержании его ФА участвуют, по-видимому, другие механизмы.

ВЫВОДЫ

У работников ядерно опасных предприятий и производств при низком уровне психофизиологической адаптации церебральный энергообмен усиливается в передних отделах коры и не изменяется в задних. При низкой функциональной активности структурно-функциональных образований, отражающих психическую и психофизиологическую сферы, церебральный

энергообмен усиливается в передних отделах коры и не изменяется в задних. При низкой функциональной активности структурно-функционального образования, отражающего центральную регуляцию сердечно-сосудистой системы, церебральный энергообмен в передних и задних отделах коры не изменяется. Для установления причин отсутствия изменений церебрального энергообмена в этом СФО необходимо проведение специальных исследований.

Результаты исследования важны не только для нейронауки, но и для практического применения в медицинских целях.

Литература

1. Самойлов А. С., Бушманов А. Ю., Бобров А. Ф., Щебланов В. Ю., Седин В. И., Калинина М. Ю. Психофизиологические аспекты обеспечения надежности профессиональной деятельности работников организаций атомной отрасли. В сборнике: Материалы III отраслевой научно-практической конференции. АНО ДПО «Техническая академия Росатома». М., 2018; с. 62–76.
2. 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. Москва, 2015.
3. 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. ФМБА России 2.2.9. 2014; 40 с.
4. Бобров А. Ф., Бушманов А. Ю., Седин В. И., Щебланов В. Ю. Системная оценка результатов психофизиологических обследований. Медицина экстремальных ситуаций. 2015; (3): 13–9.
5. 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; 23 (1): 13–8.
6. Лурия А. Р. Высшие корковые функции человека и их нарушение при локальных поражениях мозга. М.: Академ. проект, 2000; 433 с.
7. Лоскутова Т. Д. Оценка функционального состояния центральной нервной системы человека по параметрам простой двигательной реакции. Физиологический журнал СССР. 1975; 61 (1): 3–12.
8. Баевский Р. М. Концепция физиологической нормы и критерии здоровья. Российский физиологический журнал им. И. М. Сеченова. 2003; (4): 473–87.
9. Исаева Н. А., Торубаров Ф. С., Зверева З. Ф., Лукьянова С. Н., Денисова Е. А. Биоэлектрическая активность головного мозга у работников Нововоронежской и Белоярской АЭС с разным уровнем адаптации к условиям их трудовой деятельности. Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2016; 61 (5): 5–12.
10. Торубаров Ф. С., Зверева З. Ф., Лукьянова С. Н. ЭЭГ показатели состояния центральной нервной системы у лиц с различными уровнями психофизиологической адаптации. Саратовский научно-медицинский журнал. Приложение октябрь-декабрь. 2019; 15 (4): 965–7.
11. Торубаров Ф. С., Зверева З. Ф., Лукьянова С. Н. Биоэлектрическая активность головного мозга у оперативного персонала АЭС России с низким уровнем психофизиологической адаптации. Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2021; 66 (2): 23–35.
12. Зверева З. Ф., Торубаров Ф. С., Денисова Е. А., Мирошник Е. Прогностические критерии психофизиологической адаптации по данным сравнительной характеристики визуального анализа и показателей мощности биопотенциалов ЭЭГ у работников ядерно опасных предприятий и производств. Медицина труда и промышленная экология. 2021; 61 (9): 588–94.
13. Кирсанов В. М. Оценка степени адаптации индивида на основе показателей энергетического потенциала головного мозга и психодиагностического обследования. Инновации в науке. 2012; (8): 64–8.
14. Foster C, Steventon JJ, Helme D, Tomassini V, Wise RG. Cerebral Metabolic Changes During Visuomotor Adaptation Assessed Using Quantitative fMRI. Front Physiol. 2020 May 8; 11: 428.
15. Фокин В. Ф., Пономарева Н. В. Энергетическая физиология мозга. Москва: «Антидор», 2003; 288 с.
16. 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): 32–40.
17. 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; 21 (4): 73–80.
18. Trimmet M, Strässler F, Knerer K. Brain DC potential changes of computerized tasks and paper/pencil tasks. Int J Psychophysiol. 2001; 40 (3): 187–94.
19. Зверева З. Ф. Характер межполушарного распределения мощности биопотенциалов головного мозга в норме и при его латерализованном поражении [диссертация]. М., 2004.
20. Мирошник Е. В., Зверева З. Ф., Бобров А. Ф., Баскаков И. С., Ванчакова Н. П., Еланская О. В. Сопоставление показателей биоэлектрической активности головного мозга и энергетических процессов в ткани мозга (Величины межполушарных различий гомологичных отведений и уровня постоянного потенциала головного мозга). Медицина экстремальных ситуаций. 2017; 60 (2): 49–59.
21. Березин Ф. Б. Психическая и психофизиологическая адаптация человека. Л.: Наука, 1988; 270 с.
22. Березин Ф. Б., Мирошников М. П., Соколова Е. Д., Методика многостороннего исследования личности (ММИЛ): структура, основы интерпретации, некоторые области применения. М.: Изд-во «Березин Феликс Борисович», 2011; 320 с.
23. Cattell RB, Eber HW. Handbook for the Sixteen Personality factor Questionnaire. Illinois, 1964.
24. Raven JC. A manual for Raven's progressive matrices and vocabulary tests. London: H.K. Lewis @ Go. Ltd, 1988.
25. Секоян И. Э. «Локус контроля» Джулиана Роттера с позиций психометрии. Независимый психиатрический журнал. 2008; 3: 18–25.
26. Анохин П. К. Очерки по физиологии функциональных систем. М.: Наука, 1975; 447 с.
27. Селье Г. Стресс без дистресса. М.: Прогресс, 1979; 124 с.

28. Юнусова С. Г., Розенталь А. Н., Балтина Т. В. Стресс. Биологический и психологический аспекты. Ученые записки Казанского университета. сер. гуманитарные науки. 2008; (3): 139–150.
29. Судаков К. В. Информация в деятельности функциональных систем организма. Вестник Челябинского государственного университета. Философия. Социология. Культурология. 2009; 149 (11): 35–46.

References

1. Samojlov AS, Bushmanov AYU, Bobrov AF, Shheblanov VYu, Sedin VI, Kalinina MYu. Psixofiziologicheskie aspekty obespecheniya nadezhnosti professional'noj deyatel'nosti rabotnikov organizacij atomnoj otrasli. V sbornike: Materialy III otraslevoj nauchno-prakticheskoy konferencii. ANO DPO «Texnicheskaya akademiya Rosatoma». M., 2018; s. 62–76. Russian.
2. Organizatsiya i provedenie psixofiziologicheskix obsledovaniy rabotnikov organizacij, ehkspluatiruyushhix osobo radiacionno opasnye i yaderno opasnye proizvodstva i ob"ekty v oblasti ispol'zovaniya atomnoj ehnergii, pri proxozhdenii rabotnikami medicinskix osmotrov v medicinskix organizatsiyax FMBA Rossii. Metodicheskie rekomendatsii R FMBA Rossii 2.2.9.84–2015. Moskva, 2015. Russian.
3. Rukovodstvo po ocenke i interpretatsii rezul'tatov monitoringa psixofiziologicheskogo sostoyaniya rabotnikov organizacij, ehkspluatiruyushhix osobo radiacionno opasnye i yaderno opasnye proizvodstva i ob"ekty v oblasti ispol'zovaniya atomnoj ehnergii. FMBA Rossii 2.2.9. 2014; 40 s. Russian.
4. Bobrov AF, Bushmanov AYU, Sedin VI, Shheblanov Vyu. Sistemnaya ocenka rezul'tatov psixofiziologicheskix obsledovaniy. Medicina ehkstremaal'nyx situatsij. 2015; (3): 13–9. Russian.
5. Torubarov FS, Bushmanov AYU, Zvereva ZF, Kretov AS, Lukyanova SN, Denisova EA. Konceptsiya psixofiziologicheskogo obsledovaniya personala ob"ektov ispol'zovaniya atomnoj ehnergii v medicinskix organizatsiyax. Medicina ehkstremaal'nyx situatsij. 2021; 23 (1): 13–8. Russian.
6. Luriya AR. Vysshie korkovye funktsii cheloveka i ix narushenie pri lokal'nyx porazheniyax mozga. M.: Akadem. proekt, 2000; 433 s. Russian.
7. Loskutova TD. Ocenka funktsional'nogo sostoyaniya central'noj nervnoj sistemy cheloveka po parametram prostoy dvigatel'noj reakcii. Fiziologicheskij zhurnal SSSR. 1975; 61 (1): 3–12. Russian.
8. Baevskij RM. Konceptsiya fiziologicheskoy normy i kriterii zdorov'ya. Rossijskij fiziologicheskij zhurnal im. I. M. Sechenova. 2003; (4): 473–87. Russian.
9. Isaeva NA, Torubarov FS, Zvereva ZF, Lukyanova SN, Denisova EA. Bioelektricheskaya aktivnost' golovnog mozga u rabotnikov Novovoronezhskoj i Beloyarskoj AEhS s raznym urovnem adaptatsii k usloviyam ix trudovoy deyatel'nosti. Medicinskaya radiologiya i radiacionnaya bezopasnost'. 2016; 61 (5): 5–12. Russian.
10. Torubarov FS, Zvereva ZF, Lukyanova SN. EhEhG pokazateli sostoyaniya central'noj nervnoj sistemy u lic s razlichnymi urovnymi psixofiziologicheskoy adaptatsii. Saratovskij nauchno-meditsinskij zhurnal. Prilozhenie oktyabr'-dekabr'. 2019; 15 (4): 965–7. Russian.
11. Torubarov FS, Zvereva ZF, Lukyanova SN. Bioelektricheskaya aktivnost' golovnog mozga u operativnogo personala AEhS Rossii c nizkim urovnem psixofiziologicheskoy adaptatsii. Medicinskaya radiologiya i radiacionnaya bezopasnost'. 2021; 66 (2): 23–35. Russian.
12. Zvereva ZF, Torubarov FS, Denisova EA, Miroshnik E. Prognosticheskie kriterii psixofiziologicheskoy adaptatsii po dannym sravnitel'noj karakteristiki vizual'nogo analiza i pokazatelej moshhnosti biopotencialov EhEhG u rabotnikov yaderno opasnyx predpriyatij i proizvodstv. Medicina truda i promyshlennaya ehkologiya. 2021; 61 (9): 588–94. Russian.
13. Kirsanov VM. Ocenka stepeni adaptatsii individa na osnove pokazatelej ehnergeticheskogo potentsiala golovnog mozga i psixodiagnosticheskogo obsledovaniya. Innovatsii v nauke. 2012. (8): 64–8. Russian.
14. Foster C, Steventon JJ, Helme D, Tomassini V, Wise RG. Cerebral Metabolic Changes During Visuomotor Adaptation Assessed Using Quantitative fMRI. Front Physiol. 2020 May 8; 11: 428.
15. Fokin VF, Ponomareva NV. Ehnergeticheskaya fiziologiya mozga. Moskva: «Antidor», 2003; 288 s. Russian.
16. Gribanov AV, Anikina NYu, Gudkov AB. Cerebral'nyj ehnergoobmen kak marker adaptivnyx reakcij cheloveka v prirodno-klimaticheskix usloviyax Arkticheskoy zony Rossijskoj Federatsii. Ehkologiya cheloveka. 2018; (8): 32–40. Russian.
17. Gribanov AV, Kotcova ON, Anikina NYu, Pankov MN, Korelskaya IE. Sezonnye izmeneniya cerebral'nogo ehnergoobmena pri raznom urovne trevozhnosti u molodyx lyudej v arkticheskoy zone rossijskoj federatsii. Chelovek. Sport. Medicina. 2021; 21 (4): 73–80. Russian.
18. Trimmel M, Strässler F, Knerer K. Brain DC potential changes of computerized tasks and paper/pencil tasks. Int J Psychophysiol. 2001; 40 (3): 187–94.
19. Zvereva Z. F. Xarakter mezhpolutsharnogo raspredeleniya moshhnosti biopotencialov golovnog mozga v norme i pri ego lateralizovanom porazhenii [dissertatsiya]. M., 2004. Russian.
20. Miroshnik EV, Zvereva ZF, Bobrov AF, Baskakov IS, Vanchakova NP, Elanskaya OV. Sopostavlenie pokazatelej bioelektricheskoy aktivnosti golovnog mozga i ehnergeticheskix processov v tkani mozga (Velichiny mezhpolutsharnyx razlichij gomologichnyx otvedenij i urovnya postoyannogo potentsiala golovnog mozga). Medicina ehkstremaal'nyx situatsij. 2017; 60 (2): 49–59. Russian.
21. Berezin FB. Psixicheskaya i psixofiziologicheskaya adaptatsiya cheloveka. L.: Nauka, 1988; 270 s. Russian.
22. Berezin FB, Miroshnikov MP, Sokolova ED, Metodika mnogostoronnego issledovaniya lichnosti (MMIL): struktura, osnovy interpretatsii, nekotorye oblasti primeneniya. M.: Izd-vo «Berezin Feliks Borisovich», 2011; 320 s. Russian.
23. Cattell RB, Eber HW. Handbook for the Sixteen Personality factor Questionnaire. Illinois, 1964.
24. Raven JC. A manual for Raven's progressive matrices and vocabulary tests. London: H.K. Levis @ Go. Ltd, 1988.
25. Sekoyan I. Eh. «Lokus kontrolya» Dzhuliana Rottera s pozitsij psixometrii. Nezavisimyj psixiatricheskij zhurnal. 2008; 3: 18–25. Russian.
26. Anoxin PK. Ocherki po fiziologii funktsional'nyx sistem. M.: Nauka, 1975; 447 s. Russian.
27. Sele G. Stress bez distressa. M.: Progress, 1979; 124 s. Russian.
28. Yunusova SG, Rozental AN, Baltina TV. Stress. Biologicheskij i psixologicheskij aspekty. Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. ser. gumanitarnye nauki. 2008; (3): 139–150. Russian.
29. Sudakov KV. Informatsiya v deyatel'nosti funktsional'nyx sistem organizma. Vestnik Chelyabinskogo gosudarstvennogo universiteta. Filosofiya. Sociologiya. Kul'turologiya. 2009; 149 (11): 35–46. Russian.