

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

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ГОЛОВНОГО МОЗГА (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

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

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

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

РЕФЕРАТ

Цель: Обзор методов оценки церебрального энергообмена с целью выбора метода диагностики, обладающего достаточной информативностью и хорошей степенью доступности при обследовании работников атомной отрасли.

Результаты: Для оценки церебрального энергообмена применяют ПЭТ, ОФЭКТ, измерение локального мозгового кровотока с помощью изотопного клиренса. В этих методиках используется введение радиоактивных веществ в организм. Их применение ограничено высокой стоимостью оборудования и его стационарным характером. Также для оценки церебрального энергообмена используются полярографический метод (инвазивный), РЭГ и фМРТ. РЭГ позволяет получить недостаточно точные данные о церебральном энергообмене. ФМРТ дает достаточно информативные данные, но тоже является стационарным методом, что ограничивает его применение в условиях комплексного обследования лиц, работающих на атомных предприятиях. Более доступным методом является нейроэнергетикартирование, основанное на измерении уровня постоянного потенциала (УПП). В настоящее время этот метод широко используется в нейрофизиологических и нейропсихологических исследованиях. Таким же доступным и эффективным методом является ЭЭГ, на основании данных которого определяется показатель величины межполушарных различий (ВМПР) мощности биопотенциалов гомологичных отведений, основывающийся на мощностных характеристиках ЭЭГ, отражающих активность нервных клеток и метаболические процессы в них. Показатель выявляет степень неравномерности распределения мощностных характеристик между гемисферами, это характеризует взаимодействие активирующих и тормозящих отделов неспецифической системы мозга при формировании функциональной межполушарной асимметрии, что отражает уровень церебрального энергообмена. Достоинством метода является его тесная связь с другими ЭЭГ-показателями, что даёт возможность одновременно оценивать функциональную активность мозга и его энергетические процессы.

Заключение: ЭЭГ-показатель ВМПР мощности биопотенциалов гомологичных отведений обладает достаточной информативностью и доступностью для оценки церебрального энергообмена в условиях массового обследования, в частности работников атомной отрасли.

Ключевые слова: церебральный энергообмен, головной мозг, методы, оценка энергетических процессов

Для цитирования: Зверева З.Ф., Ванчакова Н.П., Мирошник Е.В., Торубаров Ф.С. Методы оценки энергетических процессов головного мозга (обзор литературы) // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2024. Т. 69. № 6. С. 65–70. DOI:10.33266/1024-6177-2024-69-6-65-70

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

Methods for Evaluating the Energy Processes of the Brain (Literature Review)

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

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

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

ABSTRACT

Purpose: Review of methods for assessing cerebral energy exchange in order to select a method that has sufficient information content and a good degree of accessibility when examining nuclear industry workers.

Results: To assess cerebral energy exchange, PET, SPECT, and measurement of local cerebral blood flow using isotope clearance are used. These techniques use the introduction of radioactive substances into the body. Their use is limited by the high cost of the equipment and its stationary nature. Also, to assess cerebral energy exchange, the polarographic method (invasive), REG and fMRI is used. REG provides insufficiently accurate data on cerebral energy exchange. fMRI provides fairly informative data, but is also a stationary method, which limits its use in the conditions of a comprehensive examination of people working at nuclear enterprises. A more accessible method is neuroenergy mapping, based on measuring the level of constant potential (LCP). Currently, this method is widely used in neurophysiological and neuropsychological studies. An equally accessible and effective method is EEG, based on the data of which the value of interhemispheric differences (VIHD) in the power of biopotentials of homologous leads is determined, based on the power characteristics of the EEG, reflecting the activity of nerve cells and metabolic processes in them. The indicator reveals the degree of uneven distribution of power characteristics between the hemispheres; this characterizes the interaction of the activating and inhibitory parts of the nonspecific brain system during the formation of functional interhemispheric asymmetry, which reflects the level of cerebral energy exchange. The advantage of the method is its close connection with EEG indicators, which makes it possible to simultaneously assess the functional activity of the brain and its energy processes.

Conclusion: The EEG indicator of VIHD power of biopotentials of homologous leads is sufficiently informative and accessible for assessing cerebral energy exchange in conditions of mass examination, in particular of nuclear industry workers.

Keywords: *cerebral energy exchange, brain, methods, assessment of energy processes*

For citation: Zvereva ZF, Vanchakova NP, Miroshnik EV, Torubarov FS. Methods for Evaluating the Energy Processes of the Brain (Literature Review). Medical Radiology and Radiation Safety. 2024;69(6):65–70. (In Russian). DOI:10.33266/1024-6177-2024-69-6-65-70

Введение

Эффективность работы мозговых структур человека во многом обусловлена энергетическими процессами головного мозга [1–6]. Процессы высшей нервной деятельности, связанные с непрерывным образованием функциональных ансамблей нейронов, с обновлением и образованием синаптических структур, протекают с очень значительными энергетическими затратами. Высокая интенсивность церебрального энергообмена – характерная особенность нервной ткани головного мозга (ГМ).

Энергетические характеристики ГМ являются важной составляющей его безошибочной, надежной работы [1]. Эти показатели особенно значимы для обеспечения надежной и эффективной деятельности в области ядерно опасных предприятий и производств (ЯОПП), где ее нарушения могут привести к риску возникновения аварийных ситуаций по вине персонала [7].

Изучение церебрального энергообмена у работников ЯОПП представляет важную задачу для оценки уровня их работоспособности и решения вопросов допуска к профессиональной деятельности, и поддержания профессионального долголетия [7–10]. Эта задача включает применение психофизиологического обследования (ПФО), которое проводится у работников ЯОПП в рамках обязательных ежегодных медицинских осмотров [8]. Одна из целей ПФО – выявление лиц с низким уровнем психофизиологической адаптации (ПФА), и показатель энергообмена является в этих случаях одним из ведущих [11, 12].

На состояние здоровья и ПФА персонала ЯОПП в значительной степени влияют сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ), среди которых доминирует артериальная гипертензия (АГ) [13–16]. Именно эти заболевания могут обусловить снижение ПФА и энергетических показателей ГМ. Изучение процессов церебрального энергообмена у работников ЯОПП, и выявление лиц с низкими уровнями ПФА и низкими показателями энергообмена представляется важной задачей, решение которой будет способствовать обоснованному, своевременному назначению реабилитационных и оздоровительных мероприятий (РОМ), и осуществлению контроля их эффективности.

К настоящему времени разработаны и активно используются методы оценки энергетических процессов ГМ. Многие из них требуют дорогостоящего оборудования, предусматривают введение радиоактивных веществ в организм человека и могут использоваться только в специальных клиниках [17–20]. Есть и более доступные методы.

В последние годы в нашей стране широко используется метод изучения церебрального энергообмена, основанный на регистрации одного из видов сверхмедленных физиологических процессов – уровня постоянного потенциала (УПП) [1]. Также с этой целью используется показатель, основанный на оценке мощностных характеристиках биопотенциалов (БП) ЭЭГ [21]. Этот метод обладает достаточной информативностью, доступностью для использования в медицинских учреждениях, в том числе в системе медицинских учреждений ФМБА России, и дает возможность выявить лиц с низкими показателями ПФА и церебрального энергообмена, которые являются группой риска по состоянию здоровья и допуска к работе на предприятиях атомной отрасли.

Обзор методов оценки энергетических процессов ГМ

Позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ)

ПЭТ – высокочувствительный лучевой метод исследования, основанный на способности радиоактивных препаратов, вводимых в организм, накапливаться в тканях, обладающих высокой метаболической активностью [17–20] и тем самым отражаются процессы церебрального энергообмена. Используются различные радионуклиды кислорода и углерода. При радиоактивном распаде возникает аннигиляционное излучение, которое мгновенно распознают и фиксируют современные ПЭТ-системы [17–20].

ПЭТ позволяет осуществлять визуализацию активности биохимических процессов, обеспечивающих энергетические характеристики тканей, в том числе ГМ. Построение картины распределения радиофармпрепарата в мозге с помощью ПЭТ позволяет получить многоступенчатую картину, отражающую, в том числе, динамику энергетических процессов [17–20]. В клинической практике ПЭТ рассматривается как самый информативный метод лучевой диагностики, который дает много информации об опухолевых процессах, но в том числе, об энергетических характеристиках при других заболеваниях, например атрофических [17–20]. Нейровизуализация с использованием ПЭТ является важным инструментом дифференциальной диагностики множественных причин деменции, включая болезни Альцгеймера и Паркинсона [20].

Применение ПЭТ в научных исследованиях позволило детализировать процессы церебрального энергообмена. Основой нейровизуализации церебрального энергообмена в ПЭТ является тесная функциональная связь между активностью нейронов, локальным мозговым кровотоком и процессами метаболизма [22, 23]. Полученные с помощью ПЭТ данные позволили установить, что усиление функциональной активности ГМ сопровождается усилением локального мозгового кровотока и энергетических характеристик ГМ при участии в этом процессе клеток нейроглии – астроцитов [22, 23]. Было сделано заключение, что клетки нейроглии – астроциты опосредуют нейрометаболические процессы в ГМ, что и обеспечивает общую энергетику ГМ [22, 23].

С помощью ПЭТ было также установлено, что дисфункциональные митохондриальные процессы способствуют развитию энергетических нарушений в ГМ и возникновению нервно-психических симптомов [24]. Психические процессы на современном этапе рассматриваются как продукт нейронных сетей, потребляющих значительное количество энергии. Этот механизм может приводить к образованию активных форм кислорода – побочных продуктов окислительного стресса, что может иметь как положительные, так и отрицательные последствия для организма человека [22, 23].

Недостатками метода ПЭТ является его дороговизна, что ограничивает его более широкое применение при проведении медицинских осмотров, а также необходимость привязки к ядерным институтам (радионуклиды для ПЭТ производятся в циклотронах), поэтому в настоящее время исследования с применением этого метода выполняются только в стационарных медицинских центрах. Необходимость введения в организм радиоак-

тивных веществ также затрудняет широкое применение метода.

Однофотонная эмиссионная компьютерная томография (ОФЭКТ)

Этот метод исследования основан (как и ПЭТ) на способности радиофармпрепаратов, вводимых в организм, накапливаться в тканях, обладающих высокой метаболической активностью, тем самым отражая энергетические характеристики ГМ. В отличие от ПЭТ, при проведении ОФЭКТ в мозг вводятся вещества, не участвующие в обмене, меченные ^{99m}Tc , ^{201}Tl [25, 26]. Эти радиоизотопы встраиваются в фармацевтические препараты, являющиеся белками, либо другими органическими молекулами, которые способны абсорбироваться органами-мишенями. В зависимости от интенсивности гамма-излучения от тех или иных органов судят об интенсивности обмена веществ в органах-мишенях и косвенно о параметрах энергетической активности. ОФЭКТ не дает точной анатомической картины изучаемого органа [25, 26], однако его применение имеет самостоятельную диагностическую ценность, так как функциональные нарушения, возникающие при патологии ГМ, предшествуют развитию структурных изменений.

В литературе представлены исследования по успешному применению ОФЭКТ для диагностики злокачественных новообразований различной локализации [26, 27]. В научных исследованиях с помощью ОФЭКТ были получены данные, подтверждающие функциональную нейропластичность ГМ – способность на протяжении всей жизни адаптироваться посредством обучения в ответ на изменения окружающей среды, и восстанавливаться после травмы и повреждений, которые тесно связаны с энергетическими процессами ГМ [28].

ОФЭКТ менее дорогостоящий метод по сравнению с ПЭТ, и для его проведения не требуется привязка к ядерным институтам, но проводится только в стационарных условиях. Кроме того, имеется необходимость введения в организм радиоактивных веществ, что затрудняет широкое использование метода.

Магнитно-резонансная томография (МРТ)

МРТ – это метод, позволяющий определить энергетически более и менее активные зоны ГМ. Метод основан на получении послойных (томографических) изображений разных структур головного мозга за счет использования эффекта ядерного магнитного резонанса (ЯМР). ЯМР – физическое явление, основанное на свойствах некоторых атомных ядер при помещении их в постоянное магнитное поле поглощать энергию в радиочастотном диапазоне и излучать ее после прекращения воздействия радиочастотного импульса. Электромагнитный отклик атомных ядер (МР-сигнал) преобразуется в цифровой код, поступающий на компьютер, который и строит изображение в виде срезов в различных плоскостях (корональной, сагиттальной) [29, 30]. С помощью МРТ создаются подробные и детализированные изображения внутренних структур организма, лучше всего метод подходит для визуализации мягких тканей – мозга, мышц, внутренних органов. Модифицированный метод МРТ – функциональная магнитно-резонансная томография – фМРТ позволяет получить оценки энергетических процессов ГМ.

Метод фМРТ фиксирует гемодинамические изменения, происходящие при активной работе нейронов, что дает возможность оценить функциональную активность ГМ, её изменения, и косвенно – энергетические процессы – при различных заболеваниях и состояниях [30–32].

При проведении фМРТ пациент выполняет специальные задания. Установлено, что во время выполнения заданий в разных зонах коры больших полушарий усиливается кровоток, в дренирующих венах снижается уровень дезоксигемоглобина и повышается уровень оксигемоглобина. В результате изменяется уровень насыщения кислородом эритроцитов и меняется интенсивность МР-сигнала, это фиксируется на серии изображений. Количественная оценка изменений интенсивности МР-сигнала, отражающего изменения кровотока в разных зонах коры, позволяет определить степень активации нейронов и косвенно судить об энергообмене [30–32]. Однако этот метод, как и МРТ, осуществляется только в стационарных условиях [33–35].

Измерение локального мозгового кровотока методом изотопного клиренса

Метод основан на измерении скорости вымывания из ткани мозга изотопов ксенона, или криптона (изотопный клиренс) или же атомов водорода (водородный клиренс). Скорость вымывания радиоактивной метки прямо связана с интенсивностью кровотока. Чем интенсивнее кровоток в данном участке мозга, тем быстрее в нем будет увеличиваться содержание радиоактивной метки и быстрее происходить ее вымывание. Увеличение кровотока коррелирует с ростом уровня метаболической активности мозга, а это один из показателей энергообмена. Регистрация метки производится с помощью многоканальной гамма-камеры [1, 36]. Скорость вымывания изотопа в различных точках полушарий преобразуется в значения локального кровотока, что представляется в виде карты метаболической активности мозга, характеризующей энергообмен [1, 36].

В научных исследованиях описанный метод динамической сцинтиграфии находит применение при изучении феномена ауторегуляции мозгового кровотока, который тесно связан с показателями энергетики разных зон мозга [37]. В клинике результаты оценки мозгового кровотока этим методом используются в качестве диагностических и прогностических критериев при различных патологических состояниях – тяжелых черепно-мозговых травмах, нарушениях мозгового кровообращения [38].

Электрофизиологические методы определения энергетического обмена

К этим методам относятся полярографический метод и реоэнцефалография. Оба метода раньше других методов стали использоваться для косвенного определения интенсивности церебрального энергетического обмена.

Полярографический метод определения интенсивности энергетического обмена

Суть метода в том, что растворенные в жидкой среде вещества могут взаимодействовать с находящимся в этой же среде заряженным электродом. В ходе взаимодействия – электрохимической реакции – вещество и электрод обмениваются электронами. Интенсивность взаимодействия зависит от количества электронов на электроде (т.е. величины заряда), и от концентрации взаимодействующего с электродом вещества. Возникает принципиальная возможность определить по электрическому заряду на электроде, а также по интенсивности обмена электронов между электродом и веществом концентрацию взаимодействующего с электродом вещества. Исследование с использованием полярографического метода проводят посредством записи зависимости силы тока – текущего между двумя противоположно заряженными электродами, находящимися в растворе определя-

емого вещества – от величины поданного на электроды электрического напряжения. Для этого применяют специальную полярографическую установку. С помощью полярографического метода определяют напряженность кислорода в мозговой ткани. Полярографический метод инвазивный, его применение ограничено рамками нейрохирургических операций (имплантации долгосрочных интрацеребральных электродов) [1, 39].

Реоэнцефаллография (РЭГ)

В основе РЭГ лежит запись меняющейся величины электрического сопротивления при пропускании через ткани головы токов высокой частоты. Изменения электрического сопротивления зависят от кровенаполнения мозговых сосудов и скорости кровотока, что позволяет оценивать состояние кровоснабжения мозга, и, следовательно, оценивать энергетические процессы. Информация о мозговом кровотоке в случае регистрации РЭГ мало связана с конкретными мозговыми структурами, поэтому по информативности РЭГ уступает другим методам, например, методу измерения локального мозгового кровотока. Однако, для интегральной оценки динамики кровоснабжения и, соответственно, оценки общих характеристик энергетических процессов ГМ применение РЭГ оказывается полезным [1].

Запись РЭГ производится специальным прибором реоэнцефалографом, либо электроэнцефалографом с реографической приставкой, представляющим собой генератор высокочастотного тока (120 кГц). Реоэнцефалограмма представляет собой кривую, синхронную с пульсом. Анализ параметров РЭГ обладает важными диагностическими характеристиками, так как дает сведения об имеющейся у больного сосудистой патологии, а также позволяет оценить различия энергетических показателей в разных зонах коры, относящихся к каротидному, либо вертебрально-базиллярному сосудистым бассейнам. Диагностические возможности метода могут быть расширены применением функциональных проб, которые позволяют отличить функциональные изменения от органических, и уточнить локализацию поражения [1, 40, 41]). Недостатком метода является получение очень обобщенной мозговой характеристики, в том числе энергетических процессов.

Определение уровня постоянного потенциала (УПП), или нейроэнергокартирование (НЭК)

УПП – это относительно новый электрофизиологический метод оценки энергетических процессов головного мозга [1]. Под УПП понимают устойчивую разность потенциалов милливольтного диапазона, регистрируемую между мозгом (точнее – экстрацеребральными структурами головы) и референсными областями (например, рукой) с помощью усилителей постоянного тока. Такие потенциалы ряд авторов описывают как сверхмедленную электрическую активность, или «омега-потенциалы» [42].

УПП отражает состояние кислотно-щелочного равновесия на границе гематоэнцефалического барьера [1, 43]. В норме кислотность крови, оттекающей от мозга, определяется накоплением кислых продуктов обмена (молочной кислоты при гликолизе, угольной кислоты при кислородном окислении в цикле Кребса). Ацидотический сдвиг крови является одним из важных факторов увеличения концентрации водородных ионов и, как следствие, усиления локального мозгового кровотока. Тесная связь процессов метаболизма с концентрацией водородных ионов в оттекающей от мозга крови и потенциалом ГЭБ позволяет использовать УПП как по-

казатель церебрального энергообмена. В норме повышение локального мозгового кровотока и потребления глюкозы сопровождается ростом УПП. В нормативном диапазоне показателей высокие значения УПП отражают повышение энергообмена, низкие – его снижение [1]. При патологии описанные соотношения могут меняться. Повышение УПП может быть связано с нарастанием гликолиза вследствие снижения локального мозгового кровотока (например, при нарушениях мозгового кровообращения [1]). Либо церебральный ацидоз может быть вызван усилением катаболизма вследствие атрофических заболеваний мозга (болезни Альцгеймера, Паркинсона). Поэтому относительно простая трактовка УПП в норме требует дополнительного внимания при заболеваниях ГМ.

В настоящее время область применения описанного метода широка. Это получение новых данных о работе ГМ и его энергетических характеристиках при разных функциональных состояниях человека – от спокойного бодрствования до состояния после тяжелого стресса [1, 43–45].

Показатель величины межполушарных различий (ВМПР) мощности биопотенциалов (БП) гомологичных отведений

ВМПР БП характеризует церебральный энергообмен на основе мощностных характеристик ЭЭГ. Эти характеристики имеют двоякую природу. С одной стороны, в них отражается качество восходящих влияний (активирующих и тормозящих) из неспецифической системы (НС) ГМ на кору, с другой – они характеризуют метаболические процессы, а также энергообмен, происходящие в ткани мозга [11, 12, 21, 46–48].

Показатель оценивает величину межполушарных различий мощности БП гомологичных отведений без учета знака показателя, выявляя степень неравномерности распределения мощностных характеристик между гемисферами, что характеризует взаимодействие активирующих и тормозящих отделов НС ГМ при формировании функциональной межполушарной асимметрии ГМ [21].

Используемые мощностные характеристики, полученные с помощью спектрального анализа ЭЭГ, отражают количественную оценку частоты и амплитуды БП ГМ. Показатель формируется путем усреднения совокупной величины различий мощности БП между гомологичными отведениями во всех частотных диапазонах – δ , θ , α , β_1 , β_2 . Тем самым, частотные различия нивелируются, и показатель ВМПР мощности БП гомологичных отведений отражает суммарную разницу мощности между двумя зонами отведения.

Сравнение ВМПР мощности БП гомологичных отведений и УПП, проведенное у здоровых и лиц с наличием патологии (сосудистого и не сосудистого характера), подтвердило обоснованность применения данного показателя для оценки энергетических процессов ГМ [49].

В исследованиях, проведенных у работников ЯОПП с помощью показателя ВМПР мощности БП гомологичных отведений, было установлено, что при низком уровне ПФА церебральный энергообмен усиливается. Усиление энергообмена наблюдается при снижении ФС ЦНС, при этом в ЭЭГ регистрируется большое число аномальных показателей. В наибольшей степени энергообмен усиливается в структурно-функциональном образовании, участвующем в осуществлении функций, в разных участках коры ГМ, а также в структурно-функциональном образовании, функции которого формируются при доминирующей роли корково-подкорковых

взаимоотношений. В структурно-функциональном образовании, осуществляющем функции, за которые отвечают подкорковые структуры (диэнцефальные отделы ствола), церебральный энергообмен не изменяется. Метод даст возможность оценить функциональную активность головного мозга и его энергетические процессы. Важно отметить доступность метода и наличие необходимой аппаратуры в амбулаторных и стационарных условиях.

Заключение

В обзоре были представлены различные методы исследования ГМ, позволяющие с разной степенью точности исследовать церебральный энергообмен. Однако часть из этих методов может использоваться только в стационарных условиях или иметь привязку к учреждениям, синтезирующим радиофармпрепараты. Широкое применение таких методов ограничено, так как они осуществляются в крупных клинических центрах.

Есть электрофизиологические методы (более ранние) для косвенного определения интенсивности энергетического обмена – полярографический и РЭГ. Полярографический метод имеет тесную привязку к нейрохирургическим вмешательствам. РЭГ, отражающий динамику кровоснабжения ГМ интегрально, оказывается полезным для самой общей, приблизительной оценки энергетических процессов ГМ.

Метод УПП имеет много перспектив для изучения энергетики ГМ. В настоящее время он широко используется в амбулаторной практике и в нейрофизиологи-

ческих и психологических исследованиях. Этому способствуют доступность метода (не является дорогостоящим) и хорошо разработанный дизайн исследования. Из недостатков можно отметить, что этот метод не дает возможность выделить структурно-функциональные образования ГМ, участвующие в энергетических процессах.

Показатель ВМПР мощности БП гомологичных отделений основывается на мощностных характеристиках ЭЭГ, отражающих активность нервных клеток и метаболические процессы в них. Показатель выявляет степень неравномерности распределения мощностных характеристик между гемисферами. Это характеризует взаимодействие активирующих и тормозящих отделов НС ГМ при формировании функциональной межполушарной асимметрии, и косвенно – уровень церебрального энергообмена. Достоинством метода является его тесная связь с ЭЭГ-показателями, что дает возможность одновременно оценивать как функциональную активность ГМ, так и его энергетические процессы, и выделить структурно-функциональные образования. Именно этот метод дает возможность быстро и качественно исследовать процессы церебрального энергообмена в амбулаторных условиях, что дает преимущество этому методу при проведении обследований работников ЯОПП. Он дает возможность выявить лиц с низким уровнем ПФА и начальными стадиями заболеваний, снижающими церебральный энергообмен, например АГ, и оказывающими негативное влияние на профессиональную деятельность.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Фокин В.Ф., Пономарева Н.В. Энергетическая физиология мозга. М.: Антидор, 2003. 288 с.
2. Siebert G., Gessner R., Klasser M. Energy Supply of the Central Nervous System // *Bibl Nutr Dieta*. 1986. No.38. P.1-26. DOI: 10.1159/000412595.
3. Camandola S., Mattson M.P. Brain Metabolism in Health, Aging, and Neurodegeneration // *EMBO J*. 2017 Jun. V.36. No.11. P.1474-92. DOI: 10.15252/emboj.201695810
4. Magistretti P.J., Allaman I.A. Cellular Perspective on Brain Energy Metabolism and Functional Imaging // *Neuron*. 2015. V.86. No.4. P.883-901. doi: 10.1016/j.neuron.2015.03.035.
5. Bélanger M., Allaman I., Magistretti P.J. Brain Energy Metabolism: Focus on Astrocyte-Neuron Metabolic Cooperation // *Cell Metab*. 2011. V.14. No.6. P.724-38. DOI: 10.1016/j.cmet.2011.08.016. PMID: 22152301.
6. Zanzonico P. Positron Emission Tomography: A Review of Basic Principles, Scanner Design and Performance, and Current Systems // *Seminars in Nuclear Medicine*. 2004. V.34. No.2. P. 87-111. DOI:10.1053/j.semnucmed.2003.12.002.
7. Щепанов В.Ю. Надежность деятельности и профессиональное здоровье работающих в неблагоприятных условиях: Автореф. дис. ... докт. мед. наук. М., 1996. 52 с.
8. 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: Метод. рекоменд. ФМБА России Р 2.2.9.84-2015. М., 2015.
9. Березин Ф.Б. Психологическая и психофизическая адаптация человека. Л.: Наука, 1988. 260 с.
10. 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.1 №23. С. 12-18.
11. 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.5. №68. С. 50-59. DOI:10.33266/1024-6177-2023-68-5-50-59
12. Зверева З.Ф., Торубаров Ф.С., Ванчакова Н.П., Денисова Е.А. Церебральный энергообмен у работников ядерно опасных предприятий и производств с низким уровнем психофизиологической адаптации // *Медицина экстремальных ситуаций*. 2022. Т.2. №24. С.50-55. DOI: 10.47183/mes.2022.012.
13. Климов А.В., Денисов Е.Н., Иванова О.В. Артериальная гипертензия и ее распространенность среди населения // *Молодой ученый*. 2018. Т.50. №236. С.86-90. URL: <https://moluch.ru/archive/236/54737/> (дата обращения: 27.05.2024).
14. Артериальная гипертензия у взрослых: Клин. рекоменд. 2020–2022. Утверждены Минздравом РФ 20.01.2023.
15. Лазарева Е.Ю. Клинико-психологические особенности адаптационного потенциала личности у больных сердечно-сосудистыми заболеваниями: Автореф. дис. ... канд. психол. наук. СПб., 2016.
16. Еремина Н.М., Месникова И.Л., Романенко З.В. Комплексная оценка адаптации и качества жизни амбулаторных пациентов с артериальной гипертензией // *Медицинский журнал*. 2016. Т.1. №55. С. 106-109.
17. Рудас М.С., Насникова И.Ю., Матякин Г.Г. Позитронно-эмиссионная томография в клинической практике. М., 2007. 53 с.
18. Иващенко И.М., Шнякин П.Г., Катаева А.А., Павлова И.С., Григорян К.В., Ширванян М.А. Возможности позитронно-эмиссионной томографии в диагностике злокачественных опухолей головного мозга (обзор литературы) // *В мире научных открытий*. 2018. Т.10. №84. С.72-85.
19. Demetriades A.K., Almeida A.C., Bhangu R.S., Barrington S.F. Application of Positron Emission Tomography in Neuro-Oncology: a Clinical Approach // *Surgeon*. 2014. V.12. No.3. P.148-57. DOI: 10.1016/j.splash.2013.12.001.
20. Ricci M., Cimini A., Chiaravallotti A., Filippi L., Schillaci O. Positron Emission Tomography (PET) and Neuroimaging in the Personalized Approach to Neurodegenerative Causes of Dementia // *Int J. Mol Sci*. 2020. V.21. No.20. P.7481. DOI:10.3390/ijms 21207481.
21. Зверева З.Ф. Характер межполушарного распределения мощности биопотенциалов головного мозга в норме и при его латерализованном поражении: Автореф. дис. ... докт. мед. наук. М., 2004.
22. Figley C.R., Stroman P.W. The Role(s) of Astrocytes and Astrocyte Activity in Neurometabolism, Neurovascular Coupling, and the Production of Functional Neuroimaging Signals // *Eur J Neurosci*. 2011. V.33. No.4. P.577-88. DOI: 10.1111/j.1460-9568.2010.07584.x. PMID: 21314846 Review.
23. Büttiker P., Weissenberger S., Esch T., Anders M., Raboch J., Ptacek R., Kream Stefano G.B. Dysfunctional Mitochondrial Processes Contribute to Energy Perturbations in the Brain and Neuropsychiatric Symptoms // *Front Pharmacol*. 2023. No.13. P.1095923. DOI:10.3389/fphar.2022.1095923.
24. Morella I.M., Brambilla R., Moret L. New Roles of Brain Metabolism in the Development of Cognitive Impairment and Neuropsychiatric Disorders // *Neurosci. Biobehav. Rev*. 2022. No.142. P.104892. DOI: 10.1016/J.neubiorev.2022.104892.
25. Сергуладзе Т.Н., Асланиди И.П. Клиническая значимость однофотонной эмиссионной компьютерной томографии головного мозга // *Клиническая физиология кровообращения*. 2012. № 2. С.22 -29.
26. Бабиянц А.Я., Хананашвили Я.А. Мозговое кровообращение: физиологические аспекты и современные методы исследования // *Журнал фундаментальной медицины и биологии*. 2018. №3. С. 46-54.

27. Зельчан Р.В., Медведева А.А., Брагина О.Д., Рыбина А.Н., Рябова А.И., Чернов В.И., Чойнзюнов Е.Л. Изучение диагностической эффективности однофотонной эмиссионной компьютерной томографии с новым радиофармацевтическим лекарственным препаратом ^{99m}Tc Tc-1-ТНО-D-глюкоза в визуализации опухолей головного мозга // Сибирский онкологический журнал. 2022. Т.5. №21. С. 24–33. DOI: 10.21294/1814-4861-2022-21-5-24-33.
28. Rainer E., Wang H., Traub-Weidinger T., Widhalm G., Fueger B., Chang J., Zhu Z., Marosi C., Haug A., Hacker M., Li S. The Prognostic Value of [123I]-Vascular Endothelial Growth Factor ([123I]-VEGF) in Glioma // Eur J Nucl Med Mol Imaging. 2018. V.45. No.13. P. 2396–2403. DOI: 10.1007/s00259-018-4088-y.
29. Бажин А.В., Блинов Н.Н., Васильев Ю.А., Васильева Ю.Н., Душкова Д.В., Карпов С.С., Лазаренко А.О., Лежнев Д.А., Нечаев В.А., Сергеев А.Д., Ульянова В.А. Стандарты выполнения магнитно-резонансной томографии. М., 2019. 68 с.
30. Glover G. H. Review of Functional Magnetic Resonance Imaging // Neurosurgery Clinic in New York City. 2011. V. 22. No.2. P.133-9. VII. DOI: 10.1016/J.nec.2010.11.001.
31. Кремнева Е.И., Синицын Д.О., Добрынина Л.А., Суслина А.Д., Кротенкова М.В. Функциональная МРТ покоя в неврологии и психиатрии // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С.Корсакова. 2022. Т.2. №122. С.5-14.
32. Кремнева Е.И., Коновалов Р.Н., Кротенкова М.В. Функциональная магнитно-резонансная томография // Анналы клинической и экспериментальной неврологии. 2011. Т.1 №5. С.30-38. DOI: 10.17816/psaic316.
33. Буккиева Т.А., Чегина Д.С., Ефимцев А.Ю., Левчук А.Г., Исхаков Д.К., Соколов А.В., Фокин В.А., Труфанов Г.Е. Функциональная МРТ покоя. Общие вопросы и клиническое применение // REJR 2019. Т.2. №9. С.150-170. DOI:10.21569/2222-7415-2019-9-2-150-170.
34. Коптева Ю.П., Агафьина А.С., Труфанов Г.Е., Щербак С.Г. Магнитно-резонансная томография коннектома в оценке результатов нейрореабилитации у пациентов с рассеянным склерозом (обзор литературы) // Российский журнал персонализированной медицины. 2023. Т.1. №3. С. 43-53. DOI: 10.18705/2782-3806-2023-3-1-43-53.
35. Прошина Е.А., Дейнекина Т.С., Мартынова О.В. Нейрогенетика функциональной коннективности мозга: современные подходы к изучению (обзор) // Современные технологии в медицине. 2024. Т.16. №1. С.66-77. <https://doi.org/10.17691/stm2024.16.1.07>.
36. Nilson B.V., Rickner G., Wolgast M. On the Theory of the Intravenous Isotope Method for Measuring Cerebral Blood Flow // Scand J Clin Lab Invest. 1977. May. V.37. No.3. P.195-200. PMID: 356172/ DOI: 10.3109/00365517709091482.
37. Семенютин В.Б., Алиев В.А. Современные методы оценки ауторегуляции мозгового кровотока // Регионарное кровообращение. 2011. Т.4. №40. С. 13-27.
38. Bowman J.J., Muizelaar J.P. Assessment of Regional Cerebral Blood Flow in Acute Traumatic Brain Injury Using Stable Computed Tomography with Xenon Amplification // Acta Neurochir Suppl (Wien). 1993. No.59. P.34-40. DOI: 10.1007/978-3-7091-9302-06.
39. Bartlett K., Saka M., Jones M. Polarographic Electrode Measures of Cerebral Tissue Oxygenation: Implications for Functional Brain Imaging Sensors (Basel). 2008. V.8. No.12. P.7649-7670. DOI: 10.3390/s8127649.
40. Шидловская Т.В., Шидловская Т.А., Герасименко С.И. Качественные и количественные показатели реоэнцефалографии у больных начальной сенсоневральной тугоухостью на фоне различных сосудистых факторов (эпизодического повышения АД, ВСД по гипертоническому типу, гипертонической болезни I степени) // Оториноларингология. Восточная Европа. 2012. Т.3. №8. С. 13-23.
41. Верхожина Т.К., Кинаш И.Н., Ипполитова Е.Г., Кошкарёва З.В., Склярёнок О.В. Особенности церебральной гемодинамики у пациентов с остеохондрозом шейного отдела позвоночника // Забайкальский медицинский вестник. 2019. №4. С. 1-7.
42. Аладжалова Н.А. Психофизиологические аспекты сверхмедленной ритмической активности головного мозга. М.: Наука, 1979. 212 с.
43. Депутат И.С., Нехорошкова А.Н., Грибанов А.В., Большевидцева И.Л., Старцева Л.Ф. Анализ распределения уровня постоянного потенциала головного мозга в оценке функционального состояния организма (обзор) // Экология человека. 2015. №10. С.27-36.
44. Кирсанов В.М. Динамика энергетического потенциала мозга в условиях использования активных форм обучения // Ученые записки. 2011. Т.7. №77. С.85-92.
45. Поборский А.Н., Сафронов А.А. Особенности энергетического обмена головного мозга у студентов с различным типом межполушарной асимметрии // Академический журнал Западной Сибири. 2013. Т.3. №9. С. 61-63.
46. Зверева З.Ф., Ванчакова Н.П. Величина асимметрии мощности ритмов ЭЭГ как показатель функционального состояния мозга // Патологическая физиология и экспериментальная медицина. 2003. №4. С. 41-44.
47. Зверева З.Ф., Ванчакова Н.П. Оценка функционального состояния мозга по показателю величины асимметрии мощности биопотенциалов ЭЭГ // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. 2003. №1. С. 23 – 26.
48. Зверева З.Ф., Ванчакова Н.П., Золотарёва Н.Н. Клинические и нейрофизиологические показатели у больных с дисциркуляторной энцефалопатией // Журнал невропатологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. 2010. №2. С. 15-18.
49. 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 мощности биопотенциалов гомологичных отведений и уровня постоянного потенциала головного мозга) // Медицина экстремальных ситуаций. 2017. №2. С. 49-59.
1. Fokin V.F., Ponomareva N.V. *Energeticheskaya Fiziologiya Mozga* = Energetic Physiology of the Brain. Moscow, Antidor Publ., 2003. 288 p. (In Russ.).
2. Siebert G., Gessner B., Klasser M. Energy Supply of the Central Nervous System. Bibl Nutr Dieta.1986;38:1-26. Doi: 10.1159/000412595.
3. Camandola S., Mattson M.P. Brain Metabolism in Health, Aging, and Neurodegeneration. EMBO J. 2017;36;11:1474-92. DOI: 10.15252/emboj.201695810
4. Magistretti P.J., Allaman I.A Cellular Perspective on Brain Energy Metabolism and Functional Imaging. Neuron. 2015;86:4:883-901. doi: 10.1016/j.neuron.2015.03.035.
5. Bélanger M., Allaman I., Magistretti P.J. Brain Energy Metabolism: Focus on Astrocyte-Neuron Metabolic Cooperation. Cell Metab. 2011;14:6:724-38. DOI: 10.1016/j.cmet.2011.08.016. PMID: 22152301.
6. Zanzonico P. Positron Emission Tomography: A Review of Basic Principles, Scanner Design and Performance, and Current Systems. Seminars in Nuclear Medicine. 2004;34;2:87-111. DOI:10.1053/j.semnuclmed.2003.12.002.
7. Shcheblanov V.Yu. *Nadezhnost' Deyatel'nosti i Professional'noye Zdorov'ye Rabotayushchikh v Neblagopriyatnykh Usloviyakh* = Reliability of Activity and Professional Health of Workers in Adverse Conditions. Extended Abstract of Doctor's Thesis (Med.). Moscow Publ., 1996, 52 p. (In Russ.).
8. Organization and Implementation 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 Federal Medical and Biological Agency of Russia. Methodological Recommendations of the Russian Federal Medical and Biological Agency 2.2.9.84-2015. Moscow Publ., 2015 (In Russ.).
9. Berezin F.B. *Psikhologicheskaya i Psikhofizicheskaya Adaptatsiya Cheloveka* = Psychological and Psychophysical Adaptation of a Person. Leningrad, Nauka Publ., 1988. 260 p. (In Russ.).
10. Torubarov F.S., Bushmanov A.Yu., Zvereva Z.F., Kretov A.S., Luk'yanova S.N., Denisova Ye.A. Concept of Medical Psychophysiological Examination of Personnel of Nuclear Facilities. *Meditina Ekstremal'nykh Situatsiy* = Medicine of Extreme Situations. 2021;23;1:12-18 (In Russ.).
11. Zvereva Z.F., Torubarov F.S., Vanchakova N.P., Luk'yanova S.N., Miroshnikov Ye.V., Denisova Ye.A. 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. *Meditinskaya Radiologiya i Radiatsionnaya Bezopasnost* = Medical Radiology and Radiation Safety. 2023;68;5:50-59 (In Russ.). DOI:10.33266/1024-6177-2023-68-5-50-59.
12. Zvereva Z.F., Torubarov F.S., Vanchakova N.P., Denisova Ye.A. Cerebral Energy Exchange in Employees of Hazardous Nuclear Facilities and Productions with the low Degree of Psychophysiological Adaptation. *Meditina Ekstremal'nykh Situatsiy* = Medicine of Extreme Situations. 2022;24:50-55 (In Russ.). DOI: 10.47183/mes.2022.012.
13. Klimov A.V., Denisov Ye.N., Ivanova O.V. Arterial Hypertension and its Prevalence among the Population. *Moloday Uchenyy* = Young Scientist. 2018;50;236:86-90 (In Russ.). URL: <https://moluch.ru/archive/236/54737/> (date of access: 05/27/2024).
14. Arterial Hypertension in Adults. Clinical Recommendations. 2020–2022. Approved by the Ministry of Health of the Russian Federation Publ. 01/20/2023 (In Russ.).
15. Lazareva Ye.Yu. *Kliniko-Psikhologicheskiye Osobennosti Adaptatsionnogo Potentsiala Lichnosti U Bol'nykh Serdechno-Sosudistymi Zabolevaniyami* = Clinical and Psychological Features of the Adaptive Potential of the Individual in Patients with Cardiovascular Diseases. Extended Abstract of Candidate's Thesis (Psychological Sciences). St. PetersburgPubl., 2016 (In Russ.).
16. Yeremina N.M., Mesnikova I.L., Romanenko Z.V. Comprehensive Assessment of Adaptation and Quality of Life of Outpatients with Arterial Hypertension. *Meditinskiy Zhurnal* = Medical Journal. 2016;55;1:106-109 (In Russ.).
17. Rudas M.S., Nasnikova I.Yu., Matyakin G.G. *Positronno-Emissionnaya Tomografiya v Klinicheskoy Praktike* = Positron Emission Tomography in Clinical Practice. Moscow Publ., 2007. 53 p. (In Russ.).
18. Ivashchenko I.M., Shnyakin P.G., Katayeva A.A., Pavlova I.S., Grigoryan K.V., Shirvanyan M.A. Possibilities of Positron Emission Tomography in the Diagnosis of Malignant Brain Tumors (Literature Review). *V Mire Nauchnykh Otkrytiy* = In the World of Scientific Discoveries. 2018;84;10:72-85 (In Russ.).
19. Demetriades A.K., Almeida A.C., Bhangu R.S., Barrington S.F. Application of Positron Emission Tomography in Neuro-Oncology: a Clinical Approach. Surgeon. 2014;12;3:148-57. DOI: 10.1016/j.splash.2013.12.001.

20. Ricci M., Cimini A., Chiaravallotti A., Filippi L., Schillaci O. Positron Emission Tomography (PET) and Neuroimaging in the Personalized Approach to Neurodegenerative Causes of Dementia. *Int. J. Mol. Sci.* 2020;21:20:7481. DOI:10.3390/ijms 21207481.
21. Zvereva Z.F. *Kharakter Mezhpolutsharnogo Raspredeleniya Moshchnosti Biopotentsialov Golovnogogo Mozga v Norme i pri yego Lateralizovannom Porazhenii* = The Nature of the Interhemispheric Distribution of the Power of Brain Biopotentials in Normal Conditions and in Cases of Lateralized Lesions. Extended Abstract of Doctor's Thesis (Med.). Moscow Publ., 2004 (In Russ.).
22. Figley C.R., Stroman P.W. The Role(s) of Astrocytes and Astrocyte Activity in Neurometabolism, Neurovascular Coupling, and the Production of Functional Neuroimaging Signals. *Eur. J. Neurosci.* 2011;33:4:577-88. DOI: 10.1111/j.1460-9568.2010.07584.x. PMID: 21314846 Review.
23. Büttiker P., Weissenberger S., Esch T., Anders M., Raboch J., Ptacek R., Kream R.M., Stefano G.B. Dysfunctional Mitochondrial Processes Contribute to Energy Perturbations in the Brain and Neuropsychiatric Symptoms. *Front. Pharmacol.* 2023;13:1095923. DOI:10.3389/fphar.2022.1095923.
24. Morella I.M., Brambilla R., Moret L. New Roles of Brain Metabolism in the Development of Cognitive Impairment and Neuropsychiatric Disorders. *Neurosci. Biobehav. Rev.* 2022;142:104892. DOI: 10.1016/J.neubio.2022.104892.
25. Serguladze T.N., Aslanidi I.P. Clinical Significance of Single-Photon Emission Computed Tomography of the Brain. *Klinicheskaya Fiziologiya Krovoobrashcheniya* = Clinical Physiology of Blood Circulation. 2012;2:22-29 (In Russ.).
26. Babiants A.YA., Khananashvili YA.A. Cerebral Circulation: Physiological Aspects and Modern Research Methods. *Zhurnal Fundamental'noy Meditsiny i Biologii* = Journal of Fundamental Medicine and Biology. 2018;3:46-54 (In Russ.).
27. Zel'chan R.V., Medvedeva A.A., Bragina O.D., Rybina A.N., Ryabova A.I., Chernov V.I., Choyzonov Ye.L. Study of the Diagnostic Effectiveness of Single-Photon Emission Computed Tomography with a New Radiopharmaceutical Drug ^{99m}Tc -1-THIO-D-Glucose in Visualizing Brain Tumors. *Sibirskiy Onkologicheskii Zhurnal* = Siberian Journal of Oncology. 2022;21:5:24-33 (In Russ.). DOI: 10.21294/1814-4861-2022-21-5-24-33.
28. Rainer E., Wang H., Traub-Weidinger T., Widhalm G., Fueger B., Chang J., Zhu Z., Marosi C., Haug A., Hacker M., Li S. The Prognostic Value of [123I]-Vascular Endothelial Growth Factor ([123I]-VEGF) in Glioma. *Eur. J. Nucl. Med. Mol. Imaging.* 2018;45:13:2396-2403. DOI: 10.1007/s00259-018-4088-y.
29. Bazhin A.V., Blinov N.N., Vasil'yev YU.A., Vasil'yeva YU.N., Dushkova D.V., Karpov S.S., Lazarenko A.O., Lezhnev D.A., Nechayev V.A., Sergeyev A.D., Ul'yanova V.A. *Standarty Vypolneniya Magnitno-Rezonansnoy Tomografii* = Standards for Performing Magnetic Resonance Imaging. Moscow Publ., 2019. 68 p. (In Russ.).
30. Glover G. H. Review of Functional Magnetic Resonance Imaging. *Neurosurgery Clinic in New York City.* 2011;22:2:133-9. VII. DOI: 10.1016/J.nec.2010.11.001.
31. Kremneva Ye.I., Sinitsyn D.O., Dobrynina L.A., Suslina A.D., Krotchenkova M.V. Functional Resting MRI in Neurology and Psychiatry. *Zhurnal Nevrologii i Psikiatrii im. S.S.Korsakova* = S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry. 2022;122:2:5-14 (In Russ.).
32. Kremneva Ye.I., Kononov R.N., Krotchenkova M.V. Functional Magnetic Resonance Imaging. *Annaly Klinicheskoy i Eksperimental'noy Nevrologii* = Annals of Clinical and Experimental Neurology. 2011;5:1:30-38 (In Russ.). DOI: 10.17816/psaic 316.
33. Bukkieva T.A., Čegina D.S., Efimcev A.Ü., Levčuk A.G., Ishakov D.K., Sokolov A.V., Fokin V.A., Trufanov G.E. Resting State Functional MRI. General Issues and Clinical Application. *REJR* 2019;9:2:150-170 (In Russ.). DOI:10.21569/2222-7415-2019-9-2-150-170.
34. Kopteva YU.P., Agaf'ina A.S., Trufanov G.Ye., Shcherbak S.G. Magnetic Resonance Imaging of the Connectome in Assessing the Results of Neurorehabilitation in Patients with Multiple Sclerosis (Literature Review). *Rossiyskiy Zhurnal Personalizirovannoy Meditsiny* = Russian Journal of Personalized Medicine. 2023;3:1:43-53 (In Russ.). DOI: 10.18705/2782-3806-2023-3-1-43-53.
35. Proshina Ye.A., Deynekina T.S., Martynova O.V. Neurogenetics of Brain Connectivity: Current Approaches to the Study (Review). *Sovremennye Tehnologii v Medicine* = Modern Technologies in Medicine. 2024;1:16:66-77. <https://doi.org/10.17691/stm2024.16.1.07>.
36. Nilson B.V., Rickner G., Wolgast M. On the Theory of the Intravenous Isotope Method for Measuring Cerebral Blood Flow. *Scand J Clin Lab Invest.* 1977 May;37(3):195-200. PMID: 356172/ DOI: 10.3109/00365517709091482.
37. Semenyutin V.B., Aliyev V.A. Modern Methods of Assessing Autoregulation of Cerebral Blood Flow. *Regionarnoye Krovoobrashcheniye* = Regional Blood Circulation. 2011;4:40:13-27 (In Russ.).
38. Bowman J.J., Muizelaar J.P. Assessment of Regional Cerebral Blood Flow in Acute Traumatic Brain Injury Using Stable Computed Tomography with Xenon Amplification Acta. *Neurochir Suppl (Wien).* 1993;59:34-40. DOI: 10.1007/978-3-7091-9302-06.
39. Bartlett K., Saka M., Jones M. Polarographic Electrode Measures of Cerebral Tissue Oxygenation: Implications for Functional Brain Imaging Sensors (Basel). 2008;8:12:7649-7670. DOI: 10.3390/s8127649.
40. Shidlovskaya T.V., Shidlovskaya T.A., Gerasimenko S.I. Qualitative and Quantitative Indicators of Rheoencephalography in Patients with Initial Sensorineural Hearing Loss Against the Background of Various Vascular Factors (Episodic Increases in Blood Pressure, Hypertensive VSD, Stage I Hypertension). *Otorinolaringologiya. Vostochnaya Yevropa* = Otorhinolaryngology. Eastern Europe. 2012;3:8:13-23 (In Russ.).
41. Verkhovozina T.K., Kinash I.N., Ippolitova Ye.G., Koshkareva Z.V., Sklyarenko O.V. Features of Cerebral Hemodynamics in Patients with Osteochondrosis of the Cervical Spine. *Zabaykal'skiy Meditsinskiy Vestnik* = Transbaikalian Medical Bulletin. 2019;4:1-7 (In Russ.).
42. Aladzhalova N.A. *Psikhofiziologicheskiye Aspekty Sverkhmedlennoy Ritmicheskoy Aktivnosti Golovnogogo Mozga* = Psychophysiological Aspects of Infralow Rhythmic Activity of the Brain. Moscow, Nauka Publ., 1979. 212 p. (In Russ.).
43. Deputat I.S., Nekhoroshkova A.N., Gribanov A.V., Bol'shevidtseva I.L., Startseva L.F. Analysis of the Distribution of the Level of Constant Brain Potential in Assessing the Functional State of the Body (Review). *Ekologiya Cheloveka* = Human Ecology. 2015;77:10:27-36 (In Russ.).
44. Kirsanov V.M. Dynamics of the Energy Potential of the Brain Under the Conditions of Using Active Forms of Learning. *Uchenyye Zapiski* = Scientific Notes. 2011;77:7:85-92 (In Russ.).
45. Poborskiy A.N., Safronov A.A. Features of Brain Energy Metabolism in Students with Different Types of Interhemispheric Asymmetry. *Akademi-cheskii Zhurnal Zapadnoy Sibiri* = Academic Journal of Western Siberia. 2013;9:3:61-63 (In Russ.).
46. Zvereva Z.F., Vanchakova N.P. The Magnitude of the Power Asymmetry of EEG Rhythms as an Indicator of the Functional State of the Brain. *Patologicheskaya Fiziologiya i Eksperimental'naya Meditsina* = Pathological Physiology and Experimental Medicine. 2003;4:41-44 (In Russ.).
47. Zvereva Z.F., Vanchakova N.P. Assessment of the Functional State of the Brain Based on the Magnitude of Asymmetry in the Power of EEG Biopotentials. *Zhurnal Nevrologii i Psikiatrii im. S.S. Korsakova* = S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry. 2003;1:23-26 (In Russ.).
48. Zvereva Z.F., Vanchakova N.P., Zolotarova N.N. Clinical and Neurophysiological Parameters in Patients with Dyscirculatory Encephalopathy. *Zhurnal Nevrologii i Psikiatrii im. S.S. Korsakova* = S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry. 2010;2:15-18 (In Russ.).
49. Miroshnik Ye.V., Zvereva Z.F., Bobrov A.F., Baskakov I.S., Vanchakova N.P., Yelanskaya O.V. Comparison of Indicators of Bioelectrical Activity of the Brain and Energy Processes in Brain Tissue (The Magnitude of Interhemispheric Differences in the Power of Biopotentials of Homologous Leads and the Level of Constant Brain Potential). *Meditsina Ekstremal'nykh Situatsiy* = Medicine of Extreme Situations. 2017;2:49-59 (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: 20.07.2024. **Принята к публикации:** 25.09.2024.

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: 20.07.2024. **Accepted for publication:** 25.09.2024.