

УДК 612.084

ВЛИЯНИЕ КРАТКОВРЕМЕННОЙ ГИПОКСИИ НА БИОЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ ГОЛОВНОГО МОЗГА ДЕТЕЙ, ПОДРОСТКОВ И ЮНОШЕЙ

Борукаева И.Х., Абазова З.Х., Кумыков В.К.

*ФГБОУ ВПО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова»,
Нальчик, e-mail: irborukaeva@yandex.ru*

Проведен анализ возрастных особенностей распределения амплитуды основных биопотенциалов головного мозга в условиях гипоксии у детей, подростков и юношей. У детей и юношей изменения биоэлектрической активности головного мозга при действии кратковременной гипоксии проявлялись в увеличении индекса и амплитуды альфа-, тета- и дельта-волн. Действие гипоксии на подростков 13–16 лет привело к увеличению амплитуды медленноволновой дельта-активности и снижению амплитуды быстроволновой альфа-активности, что свидетельствовало о повышенной чувствительности организма подростков к действию гипоксии и усилению влияния подкорковых структур на биоэлектрическую активность коры головного мозга. Воздействие гипоксии обусловило снижение умственной работоспособности у всех обследованных, наиболее выраженное у подростков 13–16 лет, что согласовывалось с изменениями биоэлектрической активности головного мозга и функциональной системы дыхания у лиц разного возраста.

Ключевые слова: электроэнцефалограмма, возрастные особенности, гипоксия

THE EFFECT OF INTERMITTENT HYPOXIA ON BIOELECTRIC ACTIVITY OF THE BRAIN IN CHILDREN, ADOLESCENTS AND YOUTHS

Borukaeva I.K., Abazova Z.K., Kumykov V.K.

Kabardino-Balcar State University, Nalchik, e-mail: irborukaeva@yandex.ru

The age differences of the amplitude distribution of the main potentials of the brain under hypoxic conditions in children, adolescents and youths were analyzed. The children and young people changes in the bioelectrical activity of the brain in action intermittent hypoxia was manifested in the increase of the index and the amplitude of the alpha, theta and delta waves. Effect of hypoxia on teenagers 13–16 years has led to the increase of the slow-wave delta activity amplitude and reduced fast-wave alpha activity amplitude, testified to the high sensitivity of organism of teenagers to the effect of hypoxia and increase the influence of subcortical structures of the bioelectric activity of the brain cortex. The impact of hypoxia caused a reduction of the mental health all surveyed, the most pronounced among teenagers 13–16 years, which is consistent with changes in the bioelectrical activity of the brain and functional system of respiration in patients of different age.

Keywords: electroencephalogram, age peculiarities, hypoxia

Одной из основных задач современной медицины является выявление функционального развития головного мозга, обеспечивающего формирование когнитивных процессов на разных этапах развития человека. Получить представления о функциональной активности головного мозга стало возможным после открытий немецкого психиатра Ганса Бергера, впервые применившего метод электроэнцефалографии (ЭЭГ) для регистрации биоэлектрической активности головного мозга. ЭЭГ изучает биоэлектрические процессы в головном мозге человека в диапазоне частот от 0,5 до 35 Гц [2, 3, 5, 8]. Как известно, ЭЭГ отражает функциональную активность головного мозга, которая зависит от степени зрелости мозговых структур. Поэтому очевидно, что по мере созревания различных структур ЦНС изменяется биоэлектрическая активность головного мозга, что нашло отражение во встречающихся в литературе данных о возрастных особенностях ЭЭГ у детей [6, 7, 9, 13]. В доступной литературе практически отсутствуют сведения об изменении

амплитуды основных биопотенциалов ЭЭГ в процессе возрастного развития и при действии кратковременной гипоксии.

Выявление зависимости состояния различных отделов головного мозга от кислородного режима организма имеет большое значение как для характеристики состояния функций головного мозга у здоровых детей, подростков и юношей, так и для диагностики предпатологических состояний, основным патогенетическим звеном которых является гипоксия [5, 10, 14]. Поэтому в последние годы актуальным направлением исследований в физиологии стало изучение влияния кратковременной гипоксии на биоэлектрическую активность головного мозга. Особенности биоэлектрической активности головного мозга и нейрофизиологических механизмов, обеспечивающих оптимальный кислородный режим, находят непосредственное отображение в формировании когнитивных процессов [6, 12, 13].

Целью работы явилось изучение особенностей биоэлектрической активности

головного мозга у детей, подростков и юношей в условиях гипоксии и выявление зависимости когнитивных процессов от биоэлектрической активности головного мозга.

Материал и методы исследования

Обследовано 250 здоровых лиц от 8 до 21 года, которые в соответствии с возрастной периодизацией, рекомендованной Институтом возрастной физиологии РАО (1965), были разделены на 3 возрастные группы: 1 группа – 65 детей 8–12 лет (второе детство), 2 группа – 75 детей в возрасте от 13 до 16 лет (подростковый период) и 3 группу составили 70 лиц в возрасте от 17 до 21 лет (юношеский период). Все обследованные были мужского пола и правшами. При проведении исследований респондентам и родителям была предоставлена полная информация о целях и характере исследований; обследование проводилось после получения письменного согласия респондентов и родителей на участие в исследованиях в соответствии с Хельсинским договором. Запись биопотенциалов головного мозга осуществлялась с использованием электроэнцефалографа Eras 29/40/44/64/128 Schwarzer (Германия, 2007) с компьютерным изображением полученных результатов в виде графиков в правых и левых затылочных (O_1, O_2), теменных (P_3, P_4), центральных (C_3, C_4), височных (T_3, T_4) и лобных (F_3, F_4) отведениях коры головного мозга. Расположение электродов соответствовало международной системе 10/20. Обследование включало запись так называемой «фоновой ЭЭГ» (или «ЭЭГ покоя»), и запись ЭЭГ при вдыхании воздуха с пониженным содержанием кислорода. Гипоксические газовые смеси поступали от аппарата «гипоксикатор» «Био-Нова-204», который конвертировал комнатный воздух в гипоксическую газовую смесь с регулируемым содержанием кислорода. Оптимальное содержание кислорода в гипоксической смеси и длительность вдыхания гипоксической смеси определялись в результате двухступенчатого гипоксического теста. Для определения умственной работоспособности использовались коррективные тесты, таблицы Анфимова, метод А.Г. Иванова-Смоленского, лабиринт Торндайка. Статистическую обработку полученных результатов осуществляли с помощью программы «Microsoft Excel» и «Statistica 8,0» и парного *t*-критерия Стьюдента по правилам математической статистики. Все численные значения были представлены в виде среднего арифметического значения и стандартной ошибки среднего $M \pm m$. Статистически достоверными считались различия при $p < 0,05$.

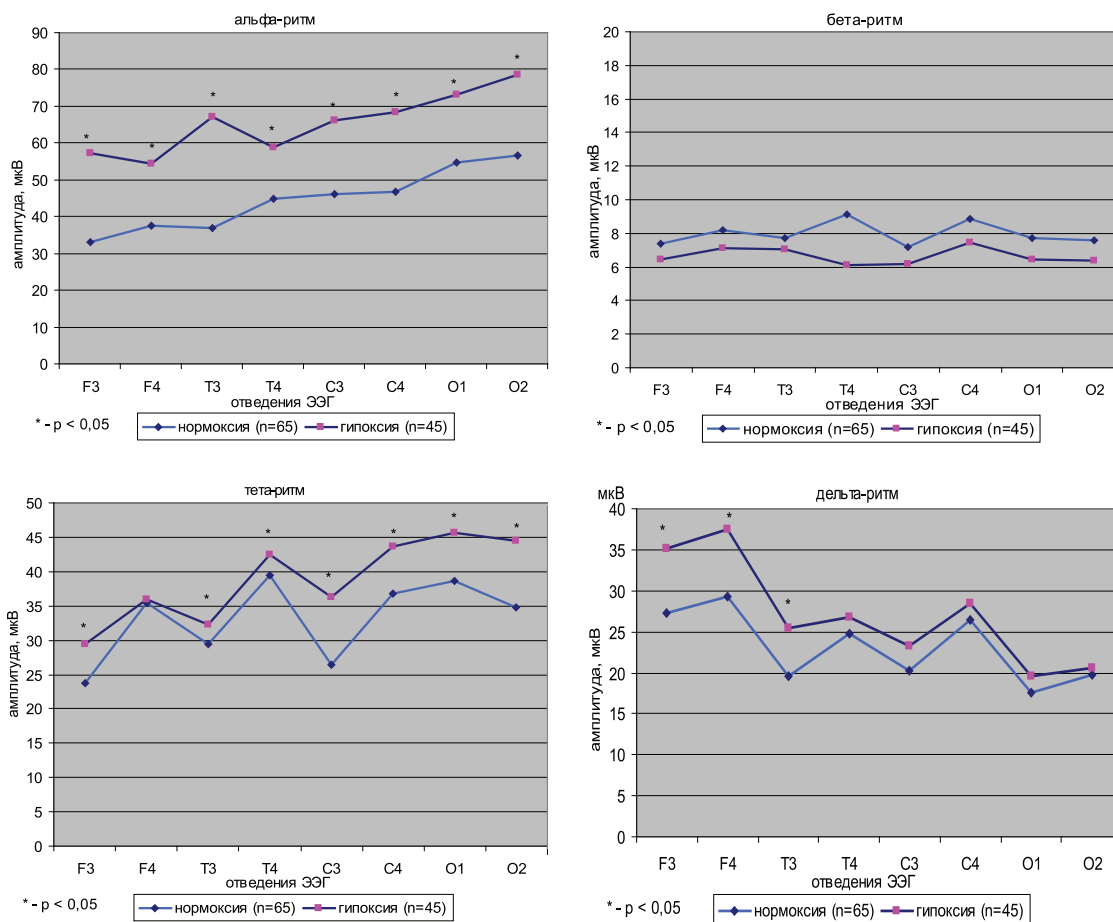
Результаты исследования и их обсуждение

Выявление влияния гипоксии на функциональное состояние коры головного мозга чрезвычайно важно, так как многие предпатологические процессы в организме сопровождаются развитием гипоксического состояния. При изучении влияния гипоксии на биоэлектрическую активность коры головного мозга у детей 8–12 лет было выявлено достоверное ($p < 0,05$) увеличение активности альфа-ритма и тета-ритма и снижение активности бета-ритма. Сум-

марная медленноволновая активность достоверно ($p < 0,05$) возросла при действии гипоксии за счет тета-волн, что свидетельствовало о повышении активности лимбической системы. Выявлялась тенденция к увеличению ($p > 0,05$) амплитуды дельта-ритма в затылочных и теменных долях головного мозга. Сравнение амплитуды основных биоритмов ЭЭГ в лобных долях при гипоксии указывало на то, что доля тета-активности и альфа-активности достоверно ($p < 0,05$) возросла в результате гипоксии. Индексы бета- и дельта-ритмов изменились незначительно. Максимальное изменение индекса дельта-ритма отмечалось в лобных отведениях и составляло после гипоксии 20–30%. Увеличение амплитуды альфа-колебаний в затылочных областях после гипоксического воздействия достигало 78 мкВ, средние значения колебаний находились на уровне 54–73 мкВ. Как видно, у детей данной возрастной группы при действии гипоксии усиливалось доминирование индексов суммарной медленноволновой активности по сравнению с высокочастотными за счет увеличения тета-колебаний, несмотря на возрастание активности альфа-волн, что свидетельствовало о повышении коркового влияния на фоне усиления активности лимбической системы (рисунки).

Амплитуда дельта-волн при гипоксическом воздействии повысилась в правом фронтальном отведении до $33,33 \pm 2,37$ мкВ, в правой затылочной области возросла до $44,64 \pm 2,71$ мкВ. В результате действия пониженного содержания кислорода усилилась асимметрия распределения амплитуды дельта-ритма в правом и левом полушариях. Таким образом, у детей 8–12 лет изменения альфа- и тета-ритмов, происходящие при недостатке кислорода во вдыхаемом воздухе, являются более чувствительными показателями к гипоксии, чем другие ритмы ЭЭГ.

Функциональная неполноценность коры головного мозга, несовершенство нервной и гуморальной регуляции, лабильность и неустойчивость регуляции вегетативной нервной системы, некоторое отставание темпов роста сердца от темпов роста тела, активация мозгового вещества надпочечников и повышенное содержание адреналина в крови объясняют повышенную чувствительность организма подростков 13–16 лет к гипоксии. При действии пониженного содержания кислорода в организме подростков развивалась не компенсированная, а субкомпенсированная гипоксия, при которой уже начинала проявляться местная тканевая гипоксия.



Сравнительная характеристика амплитуды ритмов ЭЭГ у детей 8–12 лет при нормоксии и гипоксии. (*) – $p < 0,05$ по отношению к показателям при нормоксии

В результате действия пониженного содержания кислорода во вдыхаемом воздухе достоверно ($p < 0,05$) снизилась амплитуда альфа-ритма в большинстве отведений по сравнению со значениями при нормоксии. Наиболее выраженные изменения отмечались в затылочных отведениях: амплитуда альфа-ритма снизилась до $22,03 \pm 0,74$ мкВ в правой затылочной области и до $24,20 \pm 0,98$ мкВ в левой затылочной области. Минимальные значения амплитуды альфа-ритма были зарегистрированы в лобных отделах: до $15,67 \pm 0,62$ мкВ в правой лобной доле. В центральных отделах головного мозга отмечалась выраженная асимметрия амплитуды альфа-ритма.

Достоверных изменений амплитуды бета-ритма у подростков при действии гипоксии не наблюдалось ($p > 0,05$). Амплитуда тетра-ритма в исследуемых областях коры головного мозга увеличилась в среднем до $33,67 \pm 0,62$ мкВ, наибольшие значения амплитуды тетра-ритма зафиксированы во фронтальных, височных и центральных отделах головного мозга. В других областях

головного мозга при гипоксии также отмечалось достоверное ($p < 0,05$) увеличение амплитуды тетра-ритма (табл. 1).

Гипоксическое воздействие привело к достоверному ($p < 0,05$) увеличению амплитуды дельта-ритма во всех исследуемых зонах коры и к выраженной асимметрии его распределения. В правой фронтальной области амплитуда дельта-ритма достигала $29,33 \pm 0,38$ мкВ, в левой фронтальной области – $34,67 \pm 0,93$ мкВ; в правом затылочном отведении – $31,00 \pm 0,65$ мкВ, в левом затылочном отведении – $38,33 \pm 2,09$ мкВ. Таким образом, у подростков при недостатке кислорода во вдыхаемом воздухе происходило уменьшение быстроволновых колебаний в ритме альфа-диапазона и увеличение медленноволновой активности (тетра- и дельта-ритмы), что свидетельствовало о повышении влияния подкорковых структур на биоэлектрическую активность головного мозга.

Вдыхание воздуха с пониженным содержанием кислорода (14%) у юношей 17–21 года привело к достоверному увеличению амплитуды альфа-ритма, тетра-ритма

и дельта-ритма во всех исследуемых областях коры головного мозга. Амплитуда бета-ритма достоверно снизилась во фронтальных отделах и правой височной области головного мозга; в центральных, теменных и затылочных отведениях достоверных изменений его амплитуды не отмечалось ($p > 0,05$). Наиболее высокие значения амплитуды дельта-волн были зарегистрированы в теменных и затылочных областях коры мозга. Амплитуда тета-волн при гипоксии достоверно ($p < 0,05$) возросла практически во всех областях головного мозга. Име-

лась асимметрия распределения амплитуды тета-ритма в правом и левом полушарии в лобных и центральных отделах головного мозга. Изменения амплитуды бета-активности при гипоксии были недостоверными ($p > 0,05$), кроме правой фронтальной и левой теменной области (табл. 2). У части юношей в ответ на вдыхание воздуха с пониженным содержанием кислорода на ЭЭГ реакция проявлялась в виде диффузной пароксизмальной активности, что также являлось нормальной реакцией коры головного мозга в данной возрастной группе.

Таблица 1

Показатели ($M \pm m$) амплитуды ритмов ЭЭГ у подростков 13–16 лет в условиях гипоксии

Отведения ЭЭГ	Амплитуда ритмов, мкВ			
	Альфа	Бета	Тета	Дельта
F ₃	15,67 ± 0,62*	5,33 ± 0,14	28,00 ± 0,85	29,33 ± 0,38*
F ₄	18,33 ± 0,38	8,33 ± 0,38	32,67 ± 0,62*	34,67 ± 0,93*
T ₃	17,00 ± 0,25*	6,60 ± 0,43	28,67 ± 0,51*	32,67 ± 1,26*
T ₄	21,67 ± 0,28*	9,00 ± 0,43	33,67 ± 0,79*	35,00 ± 0,74*
C ₃	16,33 ± 0,38*	8,33 ± 0,38	35,33 ± 0,38*	34,67 ± 0,51*
C ₄	21,00 ± 1,13*	7,00 ± 0,25	37,00 ± 0,25*	32,00 ± 0,74*
O ₁	22,03 ± 0,74*	7,33 ± 0,14	28,33 ± 0,62*	31,00 ± 0,65*
O ₂	24,20 ± 0,98*	7,67 ± 0,38	29,00 ± 0,49*	38,33 ± 2,09*
n – число обследованных	n = 45			

Примечание. (*) – $p < 0,05$ по отношению к показателям при нормоксии.

Таблица 2

Показатели ($M \pm m$) амплитуды основных биопотенциалов ЭЭГ у юношей 17–21 года при гипоксии

Отведения ЭЭГ	Амплитуда ритмов, мкВ			
	Альфа	Бета	Тета	Дельта
F ₃	55,33 ± 0,75*	3,67 ± 0,51*	29,33 ± 1,02*	19,33 ± 1,11
F ₄	54,00 ± 0,25*	6,15 ± 0,28	32,00 ± 0,25*	17,00 ± 0,25
T ₃	60,00 ± 0,25*	5,08 ± 0,43	28,00 ± 0,65*	14,67 ± 2,34
T ₄	70,67 ± 0,57*	5,67 ± 0,14*	26,00 ± 0,43*	17,33 ± 0,99
C ₃	75,00 ± 0,74*	5,33 ± 0,14	30,00 ± 0,43*	18,00 ± 1,50*
C ₄	78,67 ± 0,62*	5,35 ± 0,28	36,00 ± 0,43*	20,00 ± 0,65*
O ₁	86,33 ± 1,16*	5,23 ± 0,28	32,33 ± 0,51*	12,00 ± 2,84
O ₂	91,33 ± 0,38*	5,00 ± 0,25	31,67 ± 0,62*	15,33 ± 0,28
n – число обследованных	n = 45			

Примечание. (*) – $p < 0,05$ по отношению к показателям при нормоксии.

Таким образом, проведенные исследования биоэлектрической активности коры головного мозга у детей, подростков и юношей в условиях кратковременной гипоксии выявили четкую возрастную зависимость реакции организма на гипоксию: у детей 8–12 лет и юношей 17–21 года при действии гипоксии повышалась активность коркового влияния, у подростков усиливалась активность подкорковых структур.

Состояние умственной работоспособности у лиц разного возраста является важным показателем, отражающим функциональное состояние головного мозга. В условиях гипоксии показатели возбудительного и тормозного тестов имели тенденцию к ухудшению: количество выполненных знаков уменьшилось, а количество ошибок увеличилось по результатам корректурных тестов. У детей и подростков при гипоксии отмечалось достоверное ($p < 0,05$) нарушение координации движения при прохождении лабиринта Торндайка, проявляющееся большим количеством касаний к его границам и выходов за пределы лабиринта. Достоверно ($p < 0,05$) возросло время прохождения лабиринта. У юношей 17–21 года при гипоксии достоверных ($p < 0,05$) изменений показателей тонкой координации не наблюдалось. Следует отметить, что большее количество ошибок совершили подростки 13–16 лет по сравнению с детьми и юношами, что свидетельствовало о повышенной чувствительности этой возрастной группы к гипоксии. Действие гипоксии привело к достоверному ($p < 0,05$) нарушению дифференцировочного и запаздывающего торможения. Выявленные особенности умственной работоспособности согласовывались с изменениями биоэлектрической активности головного мозга и особенностями кислородного режима организма.

Заключение

Проведенные исследования показали, что у детей и юношей изменения биоэлектрической активности головного мозга при действии кратковременной гипоксии были схожи и проявлялись в увеличении индекса и амплитуды альфа-, тета- и дельта-волн. Действие гипоксии на подростков 13–16 лет привело к увеличению амплитуды медленноволновой дельта-активности и снижению амплитуды быстроволновой альфа-активности, что свидетельствовало о повышенной чувствительности организма подростков к действию гипоксии и усилении влияния подкорковых структур на биоэлектрическую активность коры

головного мозга. Воздействие кратковременной гипоксии обусловило снижение умственной работоспособности у всех обследованных, наиболее выраженное у подростков: увеличилось время прохождения лабиринта, количество касаний и выходов за пределы лабиринта, отмечалось снижение концентрации и иррадиации возбудительного и тормозного процессов, нарушение их силы и подвижности, что согласовывалось с изменениями биоэлектрической активности головного мозга у лиц разного возраста.

Список литературы

1. Агаджанян Н.А., Баевский Р.М., Берсенева А.П. Проблемы адаптации и учение о здоровье. – М.: Изд-во РУДН, 2006. – 284 с.
2. Бахтин О.М., Лазуренко Д.М., Киной В.Н., Асланян Е.В. Структурно-функциональная модель организации фоновой ритмической активности мозга // Проблемы нейрокибернетики. / Материалы XVI Международной конференции по нейрокибернетике. – Ростов-на-Дону, 2012. – Т. 2. – С. 26–30.
3. Благосклонова Н.К. Клиническая электроэнцефалография // Эпилептология детского возраста: Руководство для врачей / под ред. А.С. Петрухина. – М.: Медицина, 2000. – С. 309–407.
4. Благосклонова Н.К., Морозова М.А. Электрическая активность мозга детей и подростков с пароксизмальными состояниями неэпилептической природы // Дети со сложными нарушениями развития. Под редакцией доктора психологических наук Л.П. Григорьевой – М.: Экзамен, 2006. – С. 294–326.
5. Болдырева Г.Н., Жаворонкова Л.А., Шарова Е.В. и др. Полушарные особенности ЭЭГ и фМРТ реакций мозга при реальных и воображаемых движениях // Международный симпозиум по нейроимиджингу: фундаментальные исследования и клиническая практика. – М.: МГППУ, 2012. – С. 49–51.
6. Болдырева Г.Н., Шарова Е.В., Добронравова И.С. Роль регуляторных структур мозга в формировании ЭЭГ человека // Физиол. человека. – 2000. – Т. 26. – № 5. – С. 19–34.
7. Вершинина И.В. Особенности пространственной организации коры головного мозга детей 6 лет в процессе зрительного восприятия // Тезисы докладов XXI съезда Физиологического общества им. И.П. Павлова. – Калуга. – 2010. – С. 114.
8. Егорова И.С. Электроэнцефалография. – М.: Медицина, 1997. – 296 с.
9. Леутин В.П., Николаева Е.И., Фомина Е.В. Асимметрия мозга и адаптация человека // Асимметрия. – 2007. – № 1. – С. 71–73.
10. Меерсон Ф.З. Адаптационная медицина: механизмы и защитные эффекты адаптации. – М., 1993. – с. 331.
11. Фарбер Д.А., Фрид Г.М. Возрастные особенности пространственно – временной организации электрической активности мозга в состоянии спокойного бодрствования / Формирование системной организации психофизиологических функций в процессе индивидуального развития ребенка. – М.: АПН СССР, 1982. – С. 8–17.
12. Фарбер Д.А., Вильдавский В.Ю. Гетерогенность и возрастная динамика альфа-ритма электроэнцефалограммы // Физиол. человека. – 1996. – Т. 22.5. – С. 5.
13. Шаов М.Т. Кислородзависимые электрофизиологические и энерго-информационные механизмы адаптации нервных клеток к гипоксии (монография). – Воронеж, 2010. – 187 с.

References

1. Agadzhanjan N.A., Baevskij R.M., Berseneva A.P. Problemy adaptacii i uchenie o zdorove. M.: Izd-vo RUDN. 2006. 284 p.
2. Bakhtin O.M., Lazurenko D.M., Kiroj V.N., Aslanjan E.V. Strukturno-funkcionalnaja model organizacii fonovoj ritmicheskoj aktivnosti mozga // Problemy neirokibernetiki. / Materialy XVI Mezhdunarodnoj konferencii po neirokibernetike 2012. Rostov-na-Donu. Tom 2. pp. 26–30.
3. Blagosklonova N.K. Klinicheskaja elektroencefalografija // Epileptologija detskogo vozrasta: Rukovodstvo dlja vrachej / Pod red. A.S. Petrukhina. M.: Medicina. 2000. pp. 309–407.
4. Blagosklonova N.K., Morozova M.A. Elektricheskaja aktivnost mozga detej i podrostkov s paroksizmalnymi sostojanijami nejepilepticheskoj prirody // Deti so slozhnymi narushenijami razvitija. Pod redakciej doktora psihologicheskikh nauk L.P. Grigorevoj M. «Ekzamen». 2006. pp. 294–326.
5. Boldyreva G. N., Zhavoronkova L. A., Sharova E. V. i dr. Polushamye osobennosti EEG fMRT reakcij mozga pri realnykh i voozbrazhaemykh dvizhenijakh // Mezhdunarodnyj simpozium po nejroimidzingu: fundamentalnye issledovaniya i klinicheskaja praktika. Moskva. MGPPU. 2012. pp. 49–51.
6. Boldyreva G.N., Sharova E.V., Dobronravova I.S. Rol reguljatornykh struktur mozga v formirovanii EEG cheloveka // Fiziol. cheloveka. 2000. T. 26. no. 5. pp. 19–34.
7. Vershinina I.V. Osobennosti prostranstvennoj organizacii kory golovnogogo mozga detej 6 let v processe zritel'nogo vosprijatija // Tezisy dokladov XXI sezda Fiziologicheskogo obshhestva im. I.P. Pavlova. Kaluga. 2010. pp. 114.
8. Egorova I.S. Elektroencefalografija. M.: Medicina. 1997. 296 p.
9. Leutin V.P., Nikolaeva E.I., Fomina E.V. Asimetrija mozga i adaptacija cheloveka // Asimetrija. no. 1. 2007. pp. 71–73.
10. Meerson F.3. Adaptacionnaja medicina: mekhanizmy i zashhitnye jeffekty adaptacii. M. 1993. pp. 331.
11. Farber D.A., Frid G.M. Vozrastnye osobennosti prostranstvenno vremennoj organizacii elektricheskoi aktivnosti mozga v sostojanii spokojnogo bodrstvovaniya / Formirovanie sistemnoj organizacii psihofiziologicheskikh funkcij v processe individualnogo razvitija rebenka. M.: APN SSSR. 1982. pp. 8–17.
12. Farber D.A., Vildavskij V.Ju. Geterogenost i vozrastnaja dinamika alfa-ritma elektroencefalogrammy // Fiziol. cheloveka. 1996. T. 22.5. pp. 5.
13. Shaov M.T. Kislorodzavisimye elektrofiziologicheskie i energo-informacionnye mehanizmy adaptacii nervnykh kletok k gipoksii (monografija). Voronezh. 2010. 187 p.

Рецензенты:

Хараева З.Ф., д.м.н., профессор, заведующая кафедрой микробиологии, вирусологии и иммунологии медицинского факультета Кабардино-Балкарского государственного университета им. Х.М. Бербекова, г. Нальчик;

Асланов А.Д., д.м.н., профессор, заместитель главного врача Республиканской клинической больницы Кабардино-Балкарской Республики, г. Нальчик.

Работа поступила в редакцию 03.04.2014.