

УДК 612.821

ВЛИЯНИЕ ИНТЕРВАЛЬНОЙ ГИПОКСИЧЕСКОЙ ТРЕНИРОВКИ НА ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ ДЕТЕЙ

Шерхова Л. К., кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии, генетики и молекулярной биологии,
ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х. М. Бербекова», г. Нальчик
E-mail: fiziol@kbsu.ru

Шерхов З. Х., кандидат биологических наук, доцент кафедры нормальной и патологической физиологии,
ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х. М. Бербекова», г. Нальчик

Хандохов Т. Х., кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии, генетики и молекулярной биологии,
ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х. М. Бербекова», г. Нальчик

Боготова З. И., кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии, геоэкологии и молекулярно-генетических исследований и живых систем,
ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х. М. Бербекова», г. Нальчик

Тхазаплизев А. В., научный сотрудник управления научных исследований и инновационной деятельности,
ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х. М. Бербекова», г. Нальчик

Шерхова А. З., магистр,
ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х. М. Бербекова», г. Нальчик

Кипкеева Л. А., старший лаборант кафедры нормальной и патологической физиологии,
ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х. М. Бербекова», г. Нальчик

Исследовано влияния интервальной гипоксической тренировки на функциональное состояние центральной нервной системы детей 7–9 лет. Обнаружено, что изменения альфа- и дельта-ритмов, происходящие при недостатке кислорода во вдыхаемом воздухе, могут быть более чувствительными индикаторами к гипоксии, чем другие ритмы. Выявлены изменения, отражающие адаптационные процессы головного мозга испытуемых в условиях интервальной гипоксической тренировки.

Ключевые слова: головной мозг, гипоксия, адаптация.

THE INFLUENCE OF INTERVAL HYPOXIC TRAINING ON THE FUNCTIONAL STATUS CENTRAL NERVOUS SYSTEM OF CHILDREN

Sherkhova L. K., candidate of Biological Sciences, associate Professor of the Department of Physiology, Genetics and Molecular Biology,
FSBEI HE "Kabardino-Balkaria State University. H. M. Berbekov", city of Nalchik
E-mail: fiziol@kbsu.ru

Sherkhov Z. Kh., candidate of Biological Sciences, associate Professor of the Department of Normal and Pathological Physiology, FSBEI HE "Kabardino-Balkaria State University named after. H. M. Berbekov", city of Nalchik

Khandokhov T. Kh., candidate of Biological Sciences, associate Professor of the Department of Physiology, Genetics and Molecular Biology, FSBEI HE "Kabardino-Balkaria State University named after. H. M. Berbekov", city of Nalchik

Bogatova Z. I., candidate of Biological Sciences, associate professor of biology, geo-ecology and molecular-genetic research, and living systems FSBEI HE "Kabardino-Balkaria State University named after. H. M. Berbekov", city of Nalchik

Tkhazaplishev A. V., research fellow, Department of research and innovation, FSBEI HE "Kabardino-Balkaria State University named after. H. M. Berbekov", city of Nalchik

Sherkhova A. Z., master, FSBEI HE "Kabardino-Balkaria State University named after. H. M. Berbekov", city of Nalchik

Kipkeeva L. A., senior laboratory assistant of the Department of normal and pathological physiology, FSBEI HE "Kabardino-Balkaria State University named after. H. M. Berbekov", city of Nalchik

The influence of interval hypoxic training on the functional state of the Central nervous system in children 7–9 years old was studied. It was found that changes in alpha- and Delta-rhythms, occurring with a lack of oxygen in the inhaled air, may be more sensitive indicators to hypoxia than other rhythms. The changes reflecting the adaptation processes of the brain of the subjects in the conditions of interval hypoxic training were revealed.

Key words: brain, hypoxia, adaptation.

Актуальность.

Многолетними исследованиями доказано, что биоэлектрическая активность головного мозга, наряду с показателями психических функций, отражает функциональное состояние коры его больших полушарий, степень развития и организацию мозговых систем.

Электроэнцефалограмма является важнейшим объективным показателем работы мозга, имеющим фундаментальное значение [3]. Многими авторами показана высокая прогностическая ценность ЭЭГ-характеристик, полученных в результате структурного анализа ЭЭГ [1, 6, 7, 10, 13].

Не менее важное значение имеют исследования сверхмедленных физиологических процессов, которые расширили представления о функциональном состоянии гипоталамуса [2, 5, 8, 12]. Гипоталамус, как известно, представляет одно из важнейших звеньев нейрогуморальной регуляции внешнего дыхания, кровообращения, кроветворения, тканевых механизмов, ответственных за утилизацию кислорода в митохондриях, т.е. физиологических систем, обслуживающих функциональную систему дыхания [9].

Функциональная деятельность мозга находит отражение в динамике биоэлектрической активности, конкретные проявления этой закономерной связи изучены недостаточно, хотя сопоставление показателей ЭЭГ и регионального мозгового кровотока, особенно в возрастном аспекте, имеет немаловажное значение [4; 6, 12].

С появлением компьютерных электроэнцефалографов усилилось стремление перейти к оценке биопотенциалов мозга и распределения их по поверхности мозга. Среди таких способов анализа ЭЭГ появились частотный анализ, спектральный, корреляционно-спектральный, кросскорреляционный, фрактальный анализы, картирование, изучение ковариации, когерентности, мер хаотичности и энтропии происходящих нейрофизиологических процессов.

В литературе представлено немного работ, посвященных анализу показателей спектральной мощности биопотенциалов мозга в возрастном аспекте. В исследованиях здоровых детей в основном оценивалась возрастная динамика альфа-диапазона частот [4, 11]. Однако использование

имеющихся в литературе данных в практической работе затруднено, так как изучались различные, часто несравнимые параметры, которые имели различные единицы измерения, (относительные или условные единицы); а данные были представлены в основном графически.

Цель исследования – регистрация и изучение динамики активности нейрофизиологических структур, реализующих процессы мышления и обучения в условиях интервальной гипоксической тренировки.

Задачи исследования:

1. Изучить динамику ритмов ЭЭГ в условиях интервальной гипоксической тренировки при сопряженном развитии физических и умственных способностей в искусственно создаваемых условиях.

2. Исследовать активацию функционального состояния субъекта в ситуации, требующей произвольного внимания при интервальной гипоксической тренировке.

3. Выявить воздействие интервальной гипоксической тренировки на изменения распределения ритмов ЭЭГ во время сопряженного выполнения физической и умственной работы.

Объектом исследований являлся процесс интервальной гипоксической тренировки при сопряженном развитии физических и умственных способностей в искусственно создаваемых условиях и его воздействие на электрофизиологические показатели головного мозга.

Предмет исследования – динамика электрофизиологических показателей головного мозга при интервальной гипоксической тренировке в условиях искусственно управляемой среды.

Для выполнения исследования использовались следующие методы и методики исследования:

- анализ литературных источников;
- комплексная оценка регистрируемых ритмов ЭЭГ с помощью компьютерного комплекса.

Комплекс включает в себя:

- энцефалограф «Компакт-нейро 6»;
- электроды электроэнцефалографические ЭлСПЭГ-2 и устройство их фиксации;
- регистратор сатурации кислорода (SpO_2);
- регистрация наполнения крови кислородом;
- компьютеризованный комплекс «Координация»
- пакет прикладных программ.

Для обработки полученных результатов исследований применялись статистические методы встроенные в пакет прикладных программ.

При наложении электродов используется предложенная Международным обществом электроэнцефалографистов схема расположения электродов «10–20 %» или просто 10–20 (Jasper H., 1958).

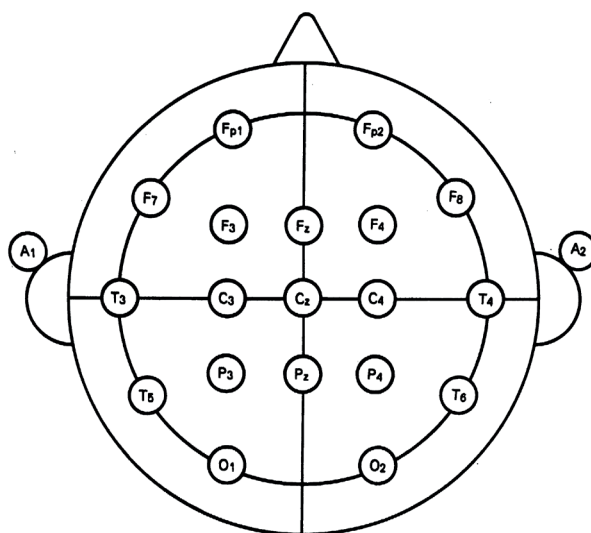


Рис. 1. Схема расположения электродов с буквенным и цифровым обозначением

В наших исследованиях мы использовали монополярный метод отведения, при котором активные электроды располагались в 19 точках поверхности головы по вышеописанной схеме, а референтный (пассивный) – на мочках ушей (рис. 1). Анализ ЭЭГ осуществлялся автоматически, в компьютерном режиме.

Реоэнцефалографическая система «Дозор-101» предназначена для регистрации сигналов РЭГ на экране компьютера, записи и хранения в архиве для дальнейших клинических и электрофизиологических исследований. Приставка рассчитана на использование совместно с блоком усилителей биопотенциалов «Телепат-103». РЭГ регистрировали во фронтотемпореальном (FM) и окципитотемпореальном (OM) отведениях слева и справа, в положении сидя. Важным преимуществом комплексной системы для исследования ЭЭГ и РЭГ является то, что преобразователь не требует специальной экранированной камеры.

Медленные потенциалы регистрировались при помощи специализированного компьютерного комплекса для исследования постоянных

потенциалов и энергозатрат головного мозга «Нейроэнергон». Установка состоит из усилителя постоянного тока с входным сопротивлением 10 Мом и полосой пропускания от 0 до 0,2 Гц и компьютера. Уровни постоянных потенциалов (УПП) измеряли при монополярном отведении с помощью хлорсеребряных электродов.

Организация исследования.

В детском санатории «Радуга» в течение 3 месяцев проводились экспериментальные занятия с детьми 7–9 лет. Детям предлагались задания различной сложности:

1. Разделить фрукты и овощи.
2. Прямой и обратный счет.
3. Разделить гласные и согласные звуки.
4. Соотнести геометрические фигуры.
5. Поставить ударения в словах.

Задания выполнялись на комплексе «Координация».

В курсе ИГТ гипоксия создавалась с помощью аппарата «Trade Medical». Курс нормобарической интервальной гипоксической тренировки включал 15 сеансов, в каждом из них – 4 серии пятиминутных гипоксических воздействий (вдыхание воздуха с 14% кислорода) с пятиминутными интервалами дыхания комнатным воздухом с нормальным содержанием кислорода (20,9 %).

Регистрация электрической активности коры головного мозга проводилась у одних и тех же детей в условиях нормоксии и при вдыхании воз-

духа с 14 % кислорода. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Было выяснено, что у детей данной возрастной группы гипоксия оказывает неодинаковое воздействие на изменения биоэлектрической активности в различных долях коры мозга. На рисунке 2 представлены графики изменений индексов ритмов при гипоксии и нормоксии.

Прежде всего достоверно увеличивается электрическая активность дельта-ритма и снижается активность быстрочастотных колебаний (табл. 1). Так, индекс дельта-ритма в лобных долях в результате гипоксии увеличился на 18–34 %, в височных на 46–55 %, в центральной на 58 %, теменных на 41–51 % и в затылочных на 40–53 %. Следует отметить, что при этом индексы альфа-ритма в результате воздействия гипоксии не только не увеличились, а достоверно снизились с $18,41 \pm 2,57$ % до $11,54 \pm 1,31$ % в левой лобной доле и с $25,26 \pm 1,96$ % до $15,51 \pm 2,19$ % в правой лобной доле.

Наблюдается увеличение амплитуды дельта- и тета-колебаний по сравнению с фоном. Особенно увеличилась амплитуда дельта-волн в затылочных и теменных долях мозга. Амплитуда дельта-колебаний в пределах исследуемых зон коры мозга увеличилась при гипоксии на 38–56 % выше фоновых значений амплитуд. Значения пиковой частоты дельта-ритма в условиях гипоксии уменьшаются от 1,5–1,75 Гц до 1,0–1,25 Гц.

Таблица 1

Индекс ритмов ЭЭГ у детей 7–9 лет при гипоксии ($M \pm m$), $n=24$

Отведения ЭЭГ	Индекс ритмов (%)							
	альфа		бэта		тэта		дельта	
F3	11,54±	1,31*	3,38±	0,27*	27,24±	2,71	55,37±	4,40
F4	15,51±	2,09*	3,99±	0,77	26,35±	2,21	53,64±	3,67*
T3	17,80±	2,01*	2,85±	0,35*	23,62±	1,79	54,37±	3,62*
T4	22,95±	2,91*	3,57±	0,38	24,61±	2,26	48,86±	4,15*
Cz	18,51±	2,09*	2,79±	0,31	27,43±	2,91	49,27±	4,34*
P3	28,36±	3,06	2,84±	0,22*	25,41±	1,84*	42,55±	3,92*
P4	31,57±	4,15	4,53±	0,54	21,73±	0,92*	42,18±	4,89*
O1	26,61±	2,86	3,70±	0,40*	21,13±	1,41	47,96±	4,26*
O2	24,12±	2,92*	4,54±	0,69	20,80±	1,59	48,75±	4,61*

(*) – $p < 0,05$ по отношению к нормоксии

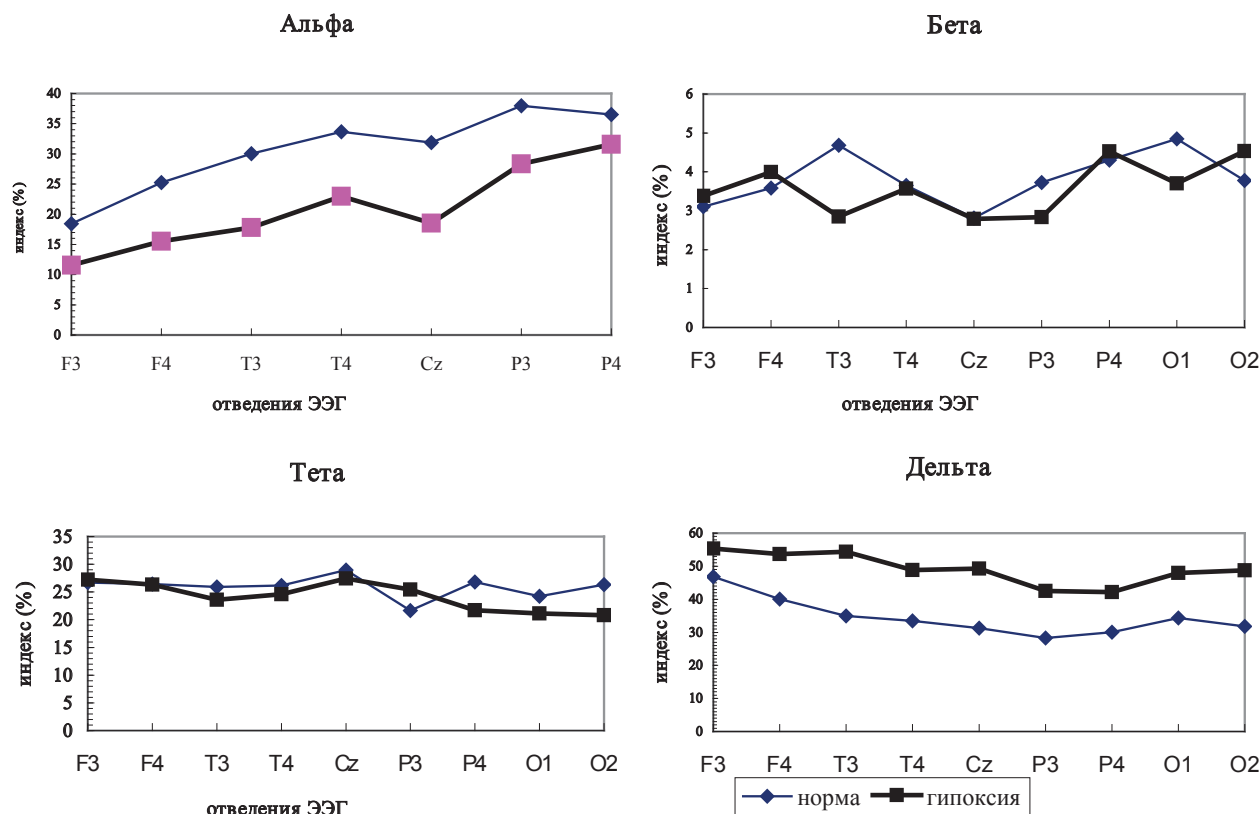


Рис. 2. Сравнительная характеристика индексов ритмов ЭЭГ у детей 7–9 лет в норме и при гипоксии

В некоторых случаях у детей, на ЭЭГ которых доминировал дельта-ритм в обычном режиме дыхания, реакция на гипоксию была неадекватной. В норме у них доминирует дельта-ритм как по индексу, так и по амплитуде (рис. 3, 5). После гипоксии эти параметры уменьшаются во всех отведениях. Например, у них индекс дельта-колебаний в отведениях O_2 и F_3 в норме составляет 80,99 % и 88,24 % соответственно, а после гипоксии эти значения индексов снижаются до 49,97 % и 63,95 % соответственно. Наряду с этим индекс альфа-волн в отведении O_2 увеличился с 11,48 % до 25,01 %, а в F_3 индекс альфа-ритма повысился с 4,10 % до 9,84 % в результате гипоксии. Аналогичные изменения наблюдались и в других отведениях.

Как видно на гистограммах, амплитуда дельта-волн во всех показанных отведениях в норме высокая по сравнению с альфа-колебаниями. После гипоксии амплитуда в дельта-диапазоне падает на половину, а амплитуда альфа-колебаний уменьшается незначительно (рис. 4, 6).

Анализ распределения ритмов ЭЭГ в различных долях коры мозга при гипоксии показал, что у детей данной возрастной группы при вдыхании гипоксической смеси происходит усиление медленноволновой электрической активности коры головного мозга, а именно, дельта-ритма. При вдыхании воздуха с 14 % кислорода в лобных долях коры мозга регистрируются более высокие значения суммарной активности индексов дельта- и тета-ритмов по сравнению с высокочастотными ритмами ЭЭГ (альфа и бета). В левой лобной доле индекс дельта-ритма составляет в среднем $55,37 \pm 4,40$ %, а индекс тета-ритма равен $27,24 \pm 2,71$ %, тогда как индексы альфа- и бета-ритмов в этом отведении равны $11,54 \pm 1,31$ и $3,38 \pm 0,27$ % соответственно. Такое же распределение индексов дельта-ритма и в правой лобной доле. Сравнение индексов ритмов фоновой активности в лобных долях с гипоксическим воздействием указывает на то, что доля дельта-активности значительно возросла, а альфа-ритмика снизилась в результате гипоксии. Индексы бета- и тета-ритмов изменились незначительно.

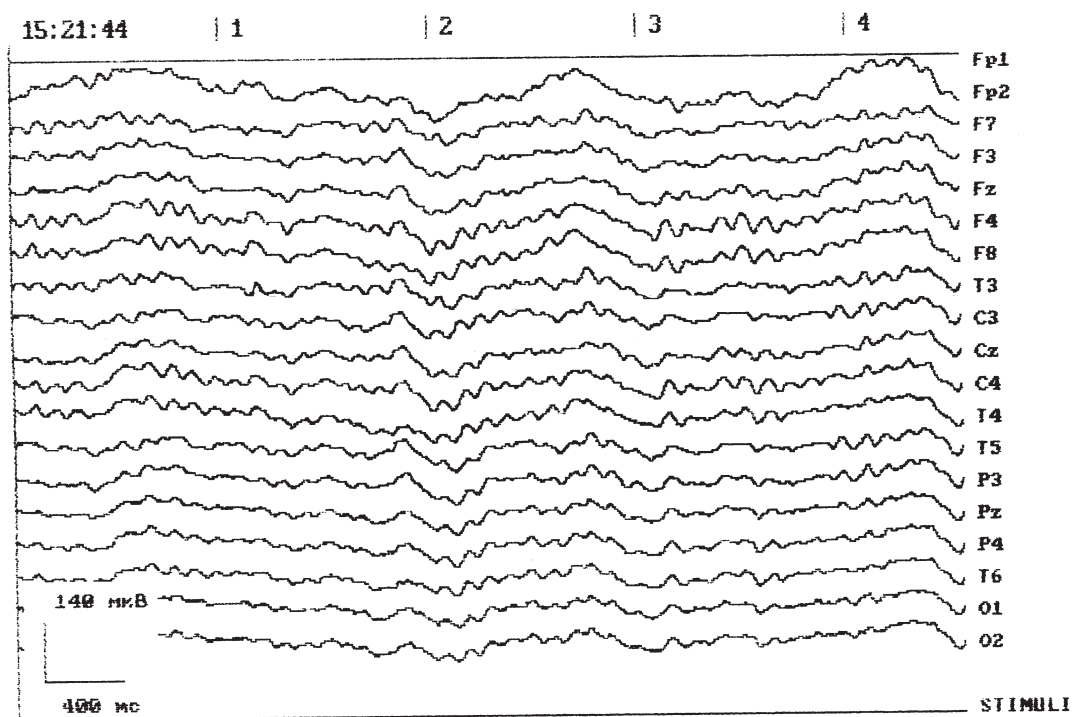


Рис. 3. Электроэнцефалограмма ребенка Н., 9 лет, при нормоксии

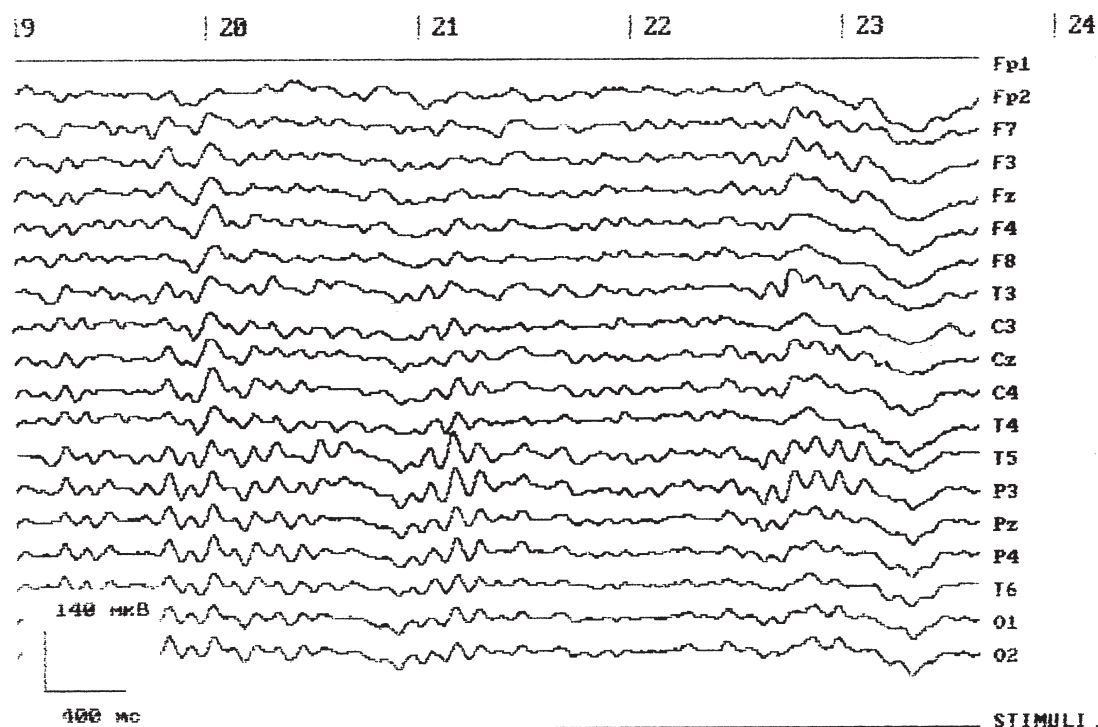


Рис. 4. Изменения электроэнцефалограммы ребенка Н., 9 лет, в результате дыхания воздухом с 14 % O₂

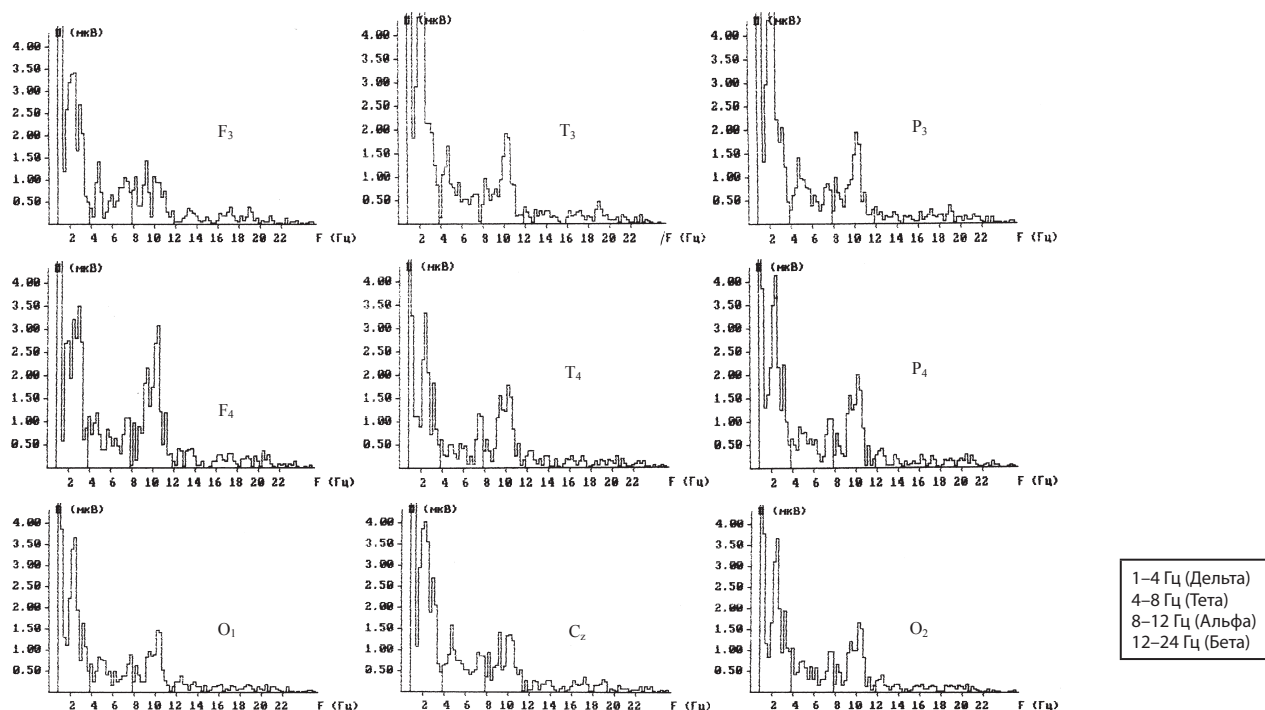


Рис. 5. Спектральный анализ амплитуд ЭЭГ в различных отведениях у ребенка Н., 9 лет, при вдыхании воздуха с 20,9% O_2

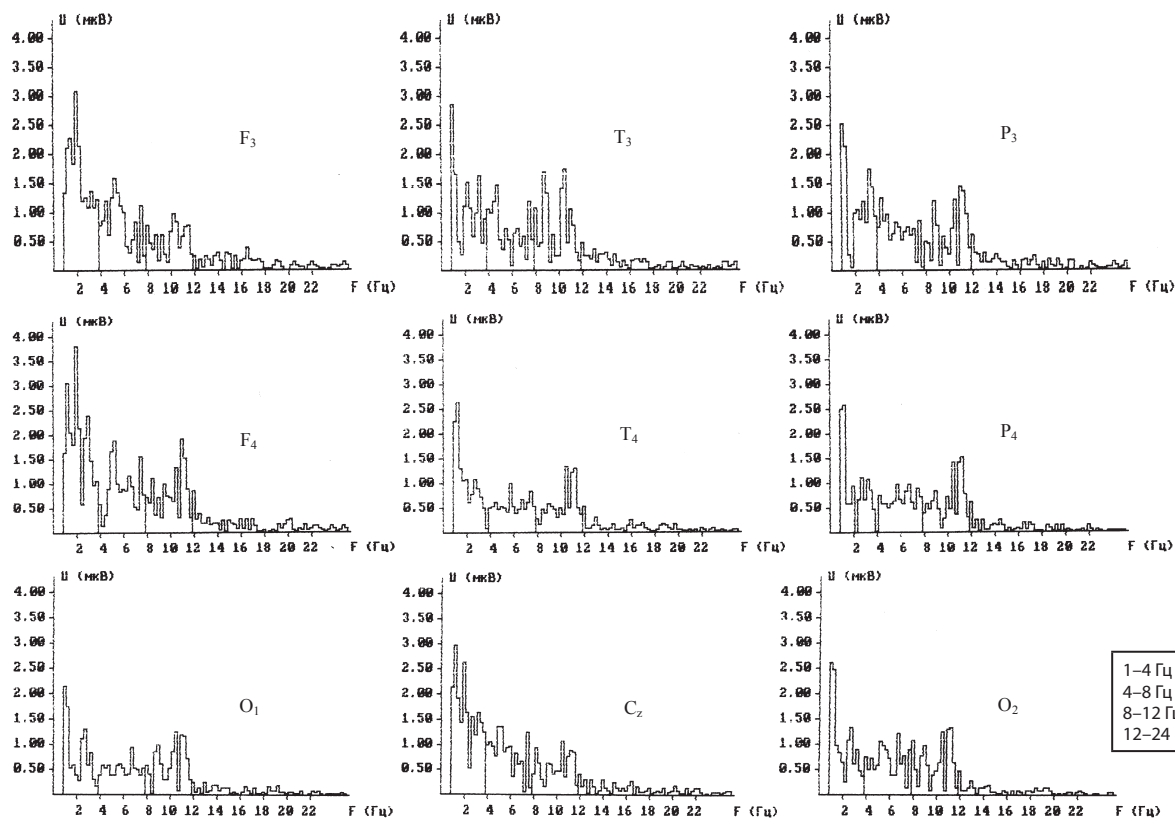


Рис. 6. Спектральный анализ амплитуд ЭЭГ в различных отведениях у ребенка Н., 9 лет, в результате дыхания воздухом с 14% O_2

Максимальное значение индекса дельта-ритма в лобных отведениях, выявленное после гипоксии, равно 88 %, а в большинстве случаев колебалось в пределах 30–70 %. Максимальное значение амплитуды дельта-колебаний в лобных долях после гипоксического теста достигало 100 мкВ, хотя пределы колебаний находились на уровне 70–80 мкВ. В отведении F_4 гипоксическое воздействие приводит к еще большему увеличению доли медленных волн в общем объеме ритмов ЭЭГ по сравнению с нормой (на 34 %). В отведении Cz эти изменения в связи с гипоксией еще весомее (57,5 %). В затылочном отведении (O_2) также увеличивается индекс дельта-ритмов при гипоксии (на 53 %). Таким образом, у детей данной возрастной группы при гипоксии усиливается доминирование индексов суммарной медленноволновой активности по сравнению с высокочастотными за счет увеличения дельта-колебаний и уменьшения индекса альфа-волн.

Амплитуда электрических колебаний дельта-волн также увеличивается во всех отведениях в результате гипоксического воздействия. Проис-

ходит повышение амплитуды дельта-диапазона в отведении F_3 – на 46 %, Cz – на 41 %, O_2 – на 57 %.

Таким образом, у детей 7–9 лет изменения альфа- и дельта- ритмов, происходящие при недостатке кислорода во вдыхаемом воздухе, могут быть более чувствительными индикаторами к гипоксии, чем другие ритмы.

В результате проведенных исследований выявлены изменения отражающие адаптационные процессы головного мозга испытуемых в условиях интервальной гипоксической тренировки при сопряженном развитии физических и умственных способностей. При сопряженном выполнении физической и умственной работы происходит локальное усиление амплитуды дельта-ритма в центральной и правой переднелобной, а также левой теменной областях. При выполнении функциональной пробы выявлены очаги тета-ритма в лобных долях правого полушария.

Работа выполнена в рамках выполнения работ по государственному заданию КБГУ на 2018 года №1.9337.2017/7.8, № 4.8449.2017/7.8 и № 6.9762.2017/7.8

ЛИТЕРАТУРА

1. Артеменко А. В., Кудрякова Т. А. Психофизиологические показатели успешности учебной деятельности 10-летних детей, проживающих в условиях Крайнего Севера // Нейрофизиологические основы формирования психических функций в норме и при аномалиях развития: Тез. докл. юбил. конф., посв. 80-летию со дня рожд. проф. Л. А. Новиковой. М., 1995. С. 10.
2. Бияшева З. Г., Швецова Е. В. Информационный подход к анализу возрастной динамики ЭЭГ мальчиков и подростков 7–18 лет при решении в уме арифметических задач // Физиология человека. Т. 19. № 5. 1993. С. 5–11.
3. Бреже М. Электрическая активность нервной системы. М.: Мир, 1978. – 264 с.
4. Галкина Н. С., Боровова А. И. Динамика формирования мю- и альфа-ритмов электроэнцефалограммы детей 2–3-го года жизни // Физиология человека. Т. 22. № 5. 1996. С. 30–36.
5. Красноперов О. В., Панченко А. Л. Соотношения функциональной асимметрии мозга, влияющие на субъективную характеристику сна, и психологические свойства личности // Психол. журнал. Т. 12. №2. 1991. С. 78–83.
6. Кудрякова Т. А. Динамика ЭЭГ-показателей детей школьного возраста под влиянием школьного обучения // Физиология человека. Т. 17. № 1. 1991. С. 172–175.
7. Лукашевич И. П., Мачинская Р. И., Фишман М. Н. Диагностика функционального состояния мозга детей младшего школьного возраста с трудностями обучения // Физиология человека. Т. 20. № 5. 1994. С. 34–45.
8. Панков Д. Д. Синдромология и возможности дифференцированной терапии при ранних клинических формах недостаточности кровообращения мозга // Журн. невропатологии и психиатрии. Т. 87. № 9. 1987. С. 1301–1306.
9. Переслени Л. И., Рожкова Л. А. Психофизиологические механизмы нарушения памяти у детей с задержкой психического развития в онтогенезе: Психофизиологические основы дифференциальной диагностики и коррекционного обучения детей с нарушениями познавательной деятельности / Под ред. Д. А. Фарбер, Л. П. Григорьевой. М., 1995. С. 65–84.
10. Соколов Е. Н., Станку А. И. Типы психофизиологических реакций на информационную нагрузку // Анализ сердечного ритма. Вильнюс: МОКСЛАС, 1982. С. 82–89.
11. Фарбер Д. А., Вильдавский В. Ю. Гетерогенность и возрастная динамика а-ритма электроэнцефалограммы // Физиология человека. Т. 22. № 5. 1996. С. 5–12.
12. Шерхов З. Х., Иванов А. Б., Шерхова Л. К., Шерхов Х. К., Хандохов Т. Х., Шаваева Ф. В. Действие гипоксии и молибдена на сердечно-сосудистую систему // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2013. № 3 (53). С. 193–197.
13. Шерхов З. Х. Изменение напряжения кислорода и биоэлектрической активности нервных клеток при импульсной гипоксии: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Нальчик: Кабардино-Балкарский ун-т, 1998.