

ФИЗИОЛОГИЯ

УДК 612.014

DOI 10.34014/2227-1848-2022-3-86-96

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ БИОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ И ЦИРКУЛЯТОРНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГОЛОВНОГО МОЗГА У ПОДРОСТКОВ ПРИ ОСТРОЙ ГИПОКСИИ

А.Б. Иванов, И.Х. Борукаева, З.Х. Абазова, А.А. Молов,
Т.Б. Кипкеева, А.Г. Шокуева, К.Ю. Шхагумов

ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова»,
г. Нальчик, Россия

Степень мозгового кровенаполнения и биоэлектрическая активность головного мозга напрямую определяют его физиологическую активность. Данных о закономерности и неразрывности этих процессов недостаточно.

Цель исследования – провести сравнительный анализ биоэлектрической активности и циркуляторного обеспечения головного мозга у подростков при острой гипоксии.

Материалы и методы. Исследовано 100 чел. мужского пола двух возрастных групп: 1-я группа – подростки в возрасте от 12 до 14 лет, 2-я группа – подростки в возрасте от 15 до 17 лет.

Результаты. Выявлено наличие положительной взаимосвязи между кровоснабжением, метаболизмом и функцией головного мозга. У подростков раннего пубертатного периода значительное влияние на характер ЭЭГ и РЭГ при гипоксии оказывают эндокринные изменения, связанные с половым созреванием. Увеличение географического индекса сопровождается повышением индекса альфа- и уменьшением индекса дельта-ритмов. У подростков пубертатного периода увеличение значения географического индекса приводит к снижению индекса альфа-ритма и увеличению медленноволновых дельта-колебаний в лобных и затылочных отведениях. Под действием кратковременной гипоксии происходит увеличение кровенаполнения головного мозга. В условиях вдыхания обедненного кислородом воздуха (14 %), несмотря на увеличение МОД и МОК, у подростков пубертатного возраста развивается тканевая гипоксия, особенно выраженная в раннем периоде полового созревания, о чем свидетельствует снижение потребления кислорода у подростков 12–14 лет. Кровоток в мозге при гипоксии увеличивается.

Ключевые слова: острая гипоксия, адаптация к гипоксии, кровоснабжение, биоэлектрическая активность, функциональная система дыхания, реоэнцефалография, электроэнцефалография.

Введение. Несмотря на то что возрастные аспекты трофики и снабжения организма кислородом в целом уже известны, зависимость биоэлектрической активности нейронов определенных долей коры больших полушарий от их кровоснабжения и питания кислородом у подростков изучена недостаточно. В настоящий момент исследований об изменениях кровоснабжения, питания O_2 и биоэлектрической активности клеток головного мозга подростков в условиях гипоксии крайне мало [1–7].

Как известно, функциональная система дыхания (ФСД) ответственна за скорость поэтапной доставки кислорода, адекватной потребностям организма, и поддержание pO_2 в тканях на уровнях выше критических. Центральная и автономная эндокринные системы выполняют роль центров управления всеми функциями органов дыхания, кровообращения, кроветворения, которые обеспечивают поступление кислорода в ткани и его утилизацию с образованием CO_2 и АТФ во всем орга-

низме, в т.ч. и в клетках головного мозга [8]. Исследование изменений состояния ФСД при гипоксии у детей пубертатного периода дает новое представление о снабжении головного мозга кислородом как в условиях нормоксии, так и в условиях дыхания воздухом, обедненным кислородом.

Вопросы взаимозависимости функционального состояния различных долей коры мозга и подкорковых образований от кровоснабжения и питания кислородом имеют большое значение не только для характеристики уровня развития головного мозга и его функционального состояния у здоровых подростков, но и для оценки клинических симптомов различных заболеваний, в патогенезе которых гипоксия играет немаловажную роль. Перечисленное выше определяет актуальность исследований особенностей суммарной биоэлектрической активности различных областей коры больших полушарий и ее взаимосвязь с кровенаполнением и снабжением кислородом у подростков раннего пубертатного и пубертатного периодов [9–15].

Цель исследования. Провести сравнительный анализ биоэлектрической активности и циркуляторного обеспечения головного мозга у подростков при острой гипоксии.

Материалы и методы. Обследовано 100 лиц мужского пола двух возрастных групп: 1-я группа – 70 подростков в возрасте от 12 до 14 лет (ранний пубертатный период), 2-я группа – 30 подростков в возрасте от 15 до 17 лет (пубертатный период).

Регистрация РЭГ и ЭЭГ осуществлялась на комплексной отечественной установке «Телепат-103» с компьютерной обработкой результатов.

У испытуемых определялись показатели функциональной системы дыхания: минутный объем дыхания (МОД), дыхательный объем (ДО), частота дыхания (ЧД) с помощью волюметра (Финляндия), частота сердечных сокращений (ЧСС), систолический объем (СО), минутный объем кровообращения (МОК) по Пугиной и Старру, потребление кислорода (ПО₂) по Дугласу – Холдену. Гипоксические условия создавались аппаратом «Гипоксикатор» (Trade Medical) и установкой «Био-Нова-204» («Горный воздух»).

Работа велась в два этапа. Первый этап включал обследование подростков всех возрастных групп при нормальном атмосферном давлении и содержании кислорода во вдыхаемом воздухе 20,9 % (нормоксические условия). На втором этапе испытуемые обследовались в нормобарических условиях, но при пониженном содержании кислорода во вдыхаемом воздухе. Острая гипоксия создавалась в ходе гипоксического теста посредством вдыхания воздуха с пониженным содержанием кислорода в ингалируемой газовой смеси (14 %).

Статистическая обработка результатов проводилась согласно правилам математической статистики с использованием программ Microsoft Excel и Statistic 6.0 для Windows. Данные обрабатывались вариационно-статистическими методами. Уровень значимости оценивался по t-критерию Стьюдента, использовалась формула расчета ошибки средней

$$m_M = \frac{\sigma}{\sqrt{n}},$$

где m – ошибка средней, M – средняя арифметическая, σ – стандартное отклонение, n – выборка [1]. Критерий достоверности различий вычислялся по формуле

$$t_D = \frac{M_1 - M_2}{\sqrt{m_1^2 + m_2^2}}.$$

Значения критерия достоверности различий (t_D) определялись при трех уровнях вероятности (p) и разных числах степеней свободы (v). Число степеней свободы находилось по формуле $v=n-1$.

Результаты и обсуждение. В ходе исследования было установлено, что у подростков раннего пубертатного периода еще присутствуют некоторые свойства распределения ритмов ЭЭГ, присущие детскому возрасту: в 12-летнем возрасте – низкий индекс альфа-ритма в лобных долях и почти в 3 раза более высокий индекс дельта-ритма по сравнению с индексом альфа-ритма в лобных долях, в 2 раза более высокий индекс дельта-ритма в затылочных долях мозга; у подростков 13–14 лет – преобладание суммарной медленной активности (тета+дельта) над быстрой активностью (альфа+бета).

Средние значения показателей биоэлектрической активности различных отделов

коры головного мозга подростков 12–14 лет в покое в нормоксических условиях представлены в табл. 1. Доминирование альфа-ритма на ЭЭГ в этом возрасте еще не происходит,

индекс наиболее медленной активности (дельта-ритма) оказывается наиболее высоким по сравнению с индексами других ритмов (табл. 1).

Таблица 1
Table 1

Индекс ритмов электроэнцефалограммы у подростков 12–14 лет в норме
Normal EEG indices in adolescents aged 12–14

Отведение ЭЭГ EEG lead	Индекс ритмов, % Rhythm index, %			
	альфа alpha	бета beta	тета theta	дельта delta
F3	13,32±0,63	6,32±0,56	18,40±1,29	61,95±1,03
F4	13,14±1,18	5,92±0,56	18,16±1,17	63,35±1,97
O1	27,27±1,37	9,34±1,27	10,64±0,94	52,76±2,58
O2	29,80±2,15	9,10±1,39	9,74±1,00	51,37±3,12

В результате исследования биоэлектрической активности головного мозга у подростков 15–17 лет в нормоксических условиях было установлено, что электроэнцефалограмма подростков пубертатного периода начинает приобретать характеристики, близкие ЭЭГ взрослого человека (табл. 2). Это проявляется в нараста-

нии числа колебаний альфа-ритма по сравнению с предыдущей возрастной группой. На ЭЭГ видно, что в затылочно-теменных областях особенно выделяются колебания в диапазоне альфа-ритма. Отличие от ЭЭГ взрослого человека состоит в некотором преобладании в лобных отделах мозга дельта- и тета-колебаний.

Таблица 2
Table 2

Индекс ритмов электроэнцефалограммы у подростков 15–17 лет в норме
Normal EEG indices in adolescents aged 15–17

Отведение ЭЭГ EEG lead	Индекс ритмов, % Rhythm index, %			
	альфа alpha	бета beta	тета theta	дельта delta
F3	22,21±1,63	4,33±0,26	20,73±1,28	52,60±2,02
F4	22,69±1,32	4,94±0,37	18,39±1,59	53,98±2,41
O1	63,15±2,81	3,63±0,14	9,22±0,92	24,00±2,44
O2	49,22±3,21	4,92±0,48	12,12±1,03	33,75±3,04

В этом возрасте значения индекса альфа-ритма в разных долях коры колеблются в пределах 20–63 %. Наблюдается его рост в лобно-затылочном направлении, отмечается увеличение индекса альфа-ритма в затылочных долях коры.

Динамика биоэлектрической активности различных долей коры мозга у подростков 12–14 лет в результате действия сниженного содержания кислорода во вдыхаемом воздухе (14 % O₂) представлена в табл. 3.

Таблица 3
Table 3Индекс ритмов электроэнцефалограммы у подростков 12–14 лет при гипоксии
EEG indices in adolescents with hypoxia aged 12–14

Отведение ЭЭГ EEG lead	Индекс ритмов, % Rhythm index, %			
	альфа alpha	бета beta	тета theta	дельта delta
F3	16,92±1,12*	6,20±0,65	28,97±2,32*	47,91±2,52*
F4	21,99±1,22*	7,53±1,36	31,48±2,95*	39,00±2,29*
O1	28,62±1,70	14,27±2,80*	20,53±1,84*	36,59±3,51*
O2	36,40±3,49*	13,35±2,25*	18,12±1,87*	32,13±0,88*

Примечание. * – различия достоверны по сравнению с нормоксией ($p \leq 0,05$).

Note. * – the differences are significant compared with normoxia ($p \leq 0.05$).

Установлено, что на изменения ритмов ЭЭГ подростков данной возрастной группы гипоксия оказывает дифференцированное влияние, в частности способствует увеличению альфа-, бета- и тета-активности и снижению индекса дельта-ритма. Индекс альфа-ритма возрастает в пределах исследуемых областей коры мозга на 27–56 %.

Таким образом, у подростков 12–14 лет при гипоксии происходит уменьшение медленноволновых колебаний в дельта-диапазоне и увеличение колебаний в остальных ритмах ЭЭГ (альфа-, бета- и тета-).

Результаты исследований индекса ритмов ЭЭГ у подростков 15–17 лет при гипоксии представлены в табл. 4.

Таблица 4
Table 4Индекс ритмов электроэнцефалограммы у подростков 15–17 лет при гипоксии
EEG indices in adolescents with hypoxia aged 15–17

Отведение ЭЭГ EEG lead	Индекс ритмов, % Rhythm index, %			
	альфа alpha	бета beta	тета theta	дельта delta
F3	22,24±2,16	4,04±0,33	19,64±1,20	52,66±2,49
F4	18,55±2,10*	3,87±0,41*	18,36±1,67	58,99±2,57
O1	44,35±3,73*	5,79±0,64*	12,07±1,10*	37,79±3,16*
O2	34,30±3,00*	6,42±0,50*	15,50±0,69*	42,92±3,02*

Примечание. * – различия достоверны по сравнению с нормоксией ($p \leq 0,05$).

Note. * – the differences are significant compared with normoxia ($p \leq 0.05$).

При вдыхании воздуха с 14 % кислорода на ЭЭГ подростков данного возраста происходит рост индекса дельта-ритма во всех исследуемых областях коры мозга, причем наиболее значительный – в затылочных долях мозга.

В отличие от подростков 12–14 лет, у которых биоэлектрическая активность при гипоксии характеризуется уменьшением колебаний дельта-волн, у подростков пубертатного периода происходит увеличение дельта-ак-

тивности, а в большинстве случаев и тетаритма. Это указывает на своеобразную реакцию коры головного мозга, связанную с функциональными гормональными перестройками, присущими организму в раннем пубертатном и пубертатном периодах.

У лиц обеих возрастных категорий реографический индекс (РИ) в лобных отведениях оказался выше, чем в затылочных долях коры головного мозга (табл. 5).

Таблица 5
Table 5

Значения реографического индекса в затылочных и лобных отведениях у подростков при нормоксии

Rheographic indices in frontal and occipital leads in adolescents with normoxia

Возраст, лет Age, years old	Отведения РЭГ REG lead			
	FMd	FMs	Omd	Oms
12–14	0,146±0,015	0,141±0,009	0,098±0,018	0,129±0,013
15–17	0,145±0,009	0,130±0,014	0,105±0,011	0,086±0,010

Несмотря на то что РИ имеет склонность к снижению, сопряженную с возрастом, подобные изменения в исследуемых возрастных периодах практически не прослеживаются.

Известно, что РИ является косвенным по-

казателем кровенаполнения того или иного участка головного мозга, поэтому данные об изменении РИ в условиях гипоксии могут быть полезными для оценки кровенаполнения различных участков мозга (табл. 6).

Таблица 6
Table 6

Показатели реографического индекса в лобных и затылочных отведениях у подростков разного возраста при гипоксии

Rheographic indices in frontal and occipital leads in adolescents of different age with hypoxia

Возраст, лет Age, years old	Отведения РЭГ REG lead			
	FMd	FMs	Omd	Oms
12–14	0,174±0,012	0,163±0,006*	0,122±0,026	0,189±0,011*
15–17	0,178±0,005*	0,150±0,015	0,156±0,004*	0,106±0,012

Примечание. * – различия достоверны по сравнению с нормоксией ($p \leq 0,05$).

Note. * – the differences are significant compared with normoxia ($p \leq 0.05$).

У подростков 15–17 лет при действии острой гипоксии усиливается кровенаполнение головного мозга. При сопоставлении полученных результатов с показателями трофики организма в целом можно судить о ФСД у лиц разных возрастных групп. Безусловно, кровенаполнение головного мозга зависит от гемодинамических факторов, влияющих на перераспределение крови в кровеносном русле, от минутного объема кровообращения и степени оксигенации артериальной крови.

Основная задача ФСД – обеспечение адекватности поэтапного процесса массопереноса респираторных газов метаболическим потребностям организма, т.е. обеспечение такой скорости доставки кислорода, которая удовлетворяла бы кислородный запрос всех органов, в т.ч. и головного мозга [8, 16–22]. При гипоксии у подростков раннего пубертатного возраста статистически значимо ($p < 0,05$) увеличился минутный объем дыхания (на 19 %) за счет возрастания его частоты. При этом достоверного увеличения дыхательного объема не произошло. Отмечалось снижение доли альвеолярной вентиляции в МОД до $61,4 \pm 0,8$ % и падение скорости потребления кислорода до $168,0 \pm 2,0$ мл/мин, что свидетельствовало о развитии тканевой гипоксии. У подростков пубертатного периода эти изменения носили более выраженный характер.

Аналогичные изменения у подростков раннего пубертатного и пубертатного периодов выявлялись со стороны системной гемодинамики при действии острой гипоксии: увеличился МОК, ЧСС без достоверного возрастания ударного объема сердца, что характеризовало пониженную экономичность и эффективность кровообращения.

Заключение. Всестороннее исследование биоэлектрической активности мозга и его циркуляторного обеспечения в условиях гипоксии показало, что показатели РЭГ лобных областей у подростков раннего пубертатного и пубертатного периодов более высокие, чем в затылочных отведениях. При сопоставлении фронтальных и затылочных отведений ЭЭГ в тех же возрастных группах зафиксирована аналогичная закономерность по показателям дельта-ритма.

Анализ реоэнцефалограмм при гипоксии у подростков в двух возрастных группах пока-

зал, что РИ, являющийся показателем кровенаполнения, достоверно увеличивается в обеих возрастных категориях.

В период ранней половозрелости значительное влияние на направленность ЭЭГ и РЭГ при гипоксии оказывают эндокринные изменения, связанные с половым созреванием. В 12–14 лет повышается активность гипоталамо-гипофизарной системы, что оказывает существенное влияние на формирование полового статуса подростков. Как следствие, происходит увеличение мозгового кровотока, сопряженное с повышением индекса альфа-ритма и уменьшением дельта-активности. Надо полагать, это связано с высоким фоновым всплеском в нормоксических условиях дельта-колебаний, которые при гипоксии снижаются за счет уменьшения влияния лимбической системы. Усиление циркуляторного обеспечения мозга на фоне усиления биоэлектрической активности, очевидно, связано с перераспределением крови, в результате которого происходит стабилизация тканевого дыхания мозга за счет включения как системных, так и местных механизмов и приспособительных реакций на тканевом уровне.

У подростков пубертатного периода, чей нейрофизиологический статус приближается к статусу взрослого человека, увеличение мозгового кровообращения приводит к снижению альфа-ритма и увеличению медленноволновых дельта-колебаний в лобных и затылочных отведениях. Это является доказательством гетерогенной чувствительности параметров ЭЭГ к изменениям функционального состояния ЦНС и окислительно-восстановительного метаболизма нервной ткани у подростков к началу и концу полового созревания.

Полагаем, что результаты проведенных исследований внесут вклад в диагностику нарушений функционального состояния головного мозга у подростков с различной аномалией. На сегодняшний день метод ЭЭГ имеет большое значение при скрининге пациентов с различными типами неврологических расстройств, включая ишемию головного мозга, энцефалопатию и прочие заболевания. Выявление действия острой гипоксии на организм здоровых и больных необходимо для подбора оптимального содержания кислорода во дыха-

емой смеси при проведении интервальной гипокситерапии, которая находит эффективное применение в лечении таких болезней, как неспецифический хронический обструктивный

бронхит, близорукость, в реабилитации пациентов после перенесенной пневмонии, вызванной COVID-19, и профилактике ее развития у лиц, относящихся к группе риска.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература

1. Грачев В.И., Маринкин И.О., Севрюков И.Т. Влияние гипоксии на центральную нервную систему, органы и ткани с учетом возрастных особенностей. *Norwegian Journal of Development of the International Science*. 2018; 6-2 (19): 3–20.
2. Бурых Э.А. Доминирующая активность сигма-диапазона ЭЭГ у человека при острой экспериментальной нормобарической гипоксии. *Вестник образования и развития науки Российской академии естественных наук*. 2021; 3: 60–68.
3. Бурых Э.А. Взаимосвязь изменений локальных и пространственно-временных спектральных характеристик ЭЭГ при гипоксии у человека. *Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова*. 2005; 91 (11): 1260–1280.
4. Бурых Э.А. Изменения внешнего дыхания, мозгового кровотока и ЭЭГ при острой гипоксии у испытуемых с разной гипоксической резистентностью. *Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова*. 2011; 97 (5): 459–471.
5. Сечин Д.И., Тамбовцева Р.В. ЭЭГ активность у спортсменов при выполнении моторных задач после пребывания в условиях воздействия нормобарической гипоксии. В кн.: *Новые подходы к изучению проблем физиологии экстремальных состояний*. Москва; 2021: 145.
6. Бурых Э.А., Сергеева Е.Г. Электрическая активность мозга и кислородное обеспечение когнитивно-мнестической деятельности человека при разных уровнях гипоксии. *Физиология человека*. 2008; 34 (6): 51–62.
7. Шемякина Н.В., Нагорнова Ж.В. Изменения когнитивных вызванных потенциалов и спонтанной биоэлектрической активности в условиях нормобарической гипоксии. *Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова*. 2018; 104 (11): 1368–1380.
8. Колчинская А.З., Цыганова Т.Н., Остапенко Л.А. Нормобарическая интервальная гипоксическая тренировка в медицине и спорте. Москва: Медицина; 2003. 250.
9. Бурых Э.А. Особенности динамики спектра ЭЭГ человека при постоянном уровне острого гипоксического воздействия. *Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова*. 2018; 104 (9): 1049–1064.
10. Бурых Э.А. Индивидуальные особенности потребления кислорода организмом человека при гипоксии. *Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова*. 2007; 93 (11): 1292–1307.
11. Джунусова Г.С. Центральные регуляторные механизмы адаптации человека в горных условиях. *Медицина Кыргызстана*. 2014; 5: 36–39.
12. Рожков В.П., Трифонов М.И., Сороко С.И. Контроль функционального состояния мозга на основе оценки динамики интегральных параметров многоканальной ЭЭГ у человека в условиях гипоксии. *Физиология человека*. 2021; 47 (1): 5–19.
13. Ерошенко А.Ю., Кочубейник Н.В., Шатов Д.В., Грошлин С.М., Скляр В.Н., Степанов В.А., Линченко С.Н. Гипоксическая тренировка как способ протекции головного мозга человека от повреждающего действия дефицита кислорода. *Медицинский вестник Юга России*. 2018; 9 (4): 33–41.
14. Рожков В.П., Сороко С.И., Трифонов М.И., Бекшаев С.С., Бурых Э.А., Сергеева Е.Г. Корово-подкорковые взаимодействия и регуляция функционального состояния мозга при острой гипоксии у человека. *Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова*. 2008; 94 (5): 481–501.
15. Гусейнов А.Г. Механизмы влияния гипоксии на суммарную активность коры головного мозга. *Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова*. 2017; 103 (11): 1209–1224.
16. Бурых Э.А., Сороко С.И. Различия в стратегиях и возможностях адаптации человека к гипоксическому воздействию. *Физиология человека*. 2007; 33 (3): 63–74.
17. Рожков В.П., Трифонов М.И., Бурых Э.А., Сороко С.И. Оценка индивидуальной устойчивости человека к острой гипоксии по интегральным характеристикам структурной функции многоканальной ЭЭГ. *Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова*. 2019; 105 (7): 832–852.

18. Балыкин М.В., Зайнеева Р.Ш., Каманина Т.В., Балыкин Ю.М., Жарков А.В. Кровоснабжение и реакции сосудов головного мозга у лиц зрелого возраста при нормобарической гипоксии и гипоксении. Медицина Кыргызстана. 2014; 2-1: 14–19.
19. Barrick T.R., Mackay C.E., Prima S., Maes F., Vandermeulen D., Crow T.J., Roberts N. Anatomical analysis of cerebral asymmetry: an exploratory study of the relationship between brain torque and planum temporale asymmetry. *Neroimage*. 2005; 24 (3): 678–687.
20. Boldyreva G., Zhavoronkova L., Sharova E., Dobronravova I. Electroencephalographic intercentral interaction as a reflection of normal and pathological human brain activity. *Spanish J. of Psychology*. 2007; 10 (1): 167–177.
21. Strelets V.B., Garakh Zh.V., Novototskii-Vlasov V.Y., Magamedov R.A. EEG power and rhythm synchronization in health and cognitive pathology. *Neuro-sci. Behav. Physiol*. 2006; 36: 655–662.
22. Борукаева И.Х., Абазова З.Х., Иванов А.Б., Шхагумов К.Ю. Интервальная гипокситерапия и энтеральная оксигенотерапия в реабилитации пациентов с хронической обструктивной болезнью легких. Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 2019; 2: 27–32.

Поступила в редакцию 09.06.2022; принята 12.07.2022.

Авторский коллектив

Иванов Анатолий Беталович – доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой нормальной и патологической физиологии человека, ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова». 360004, Россия, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173; e-mail: abivanov@gambler.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1995-167X>.

Борукаева Ирина Хасанбиевна – доктор медицинских наук, профессор, ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова». 360004, Россия, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173; e-mail: irborukaeva@yandex.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1180-228X>.

Абазова Залина Хасановна – кандидат медицинских наук, доцент, ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова». 360004, Россия, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173; e-mail: zalina.abazova@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2827-5068>.

Молов Анзор Аскербиевич – кандидат биологических наук, доцент кафедры нормальной и патологической физиологии человека, ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова». 360004, Россия, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173; e-mail: anzor-m@yandex.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9920-5289>.

Кипкеева Татьяна Борисовна – ассистент кафедры нормальной и патологической физиологии человека, ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова». 360004, Россия, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173; e-mail: tborisovna10@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0285-0995>.

Шокуева Асият Гисаевна – ассистент кафедры нормальной и патологической физиологии человека, ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова». 360004, Россия, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173; e-mail: schokueva@yandex.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3540-119X>.

Шхагумов Казбек Юрьевич – кандидат медицинских наук, доцент, ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова». 360004, Россия, г. Нальчик, ул. Чернышевского, 173; e-mail: kazbek07_07@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3671-481X>.

Образец цитирования

Иванов А.Б., Борукаева И.Х., Абазова З.Х., Молов А.А., Кипкеева Т.Б., Шокуева А.Г., Шхагумов К.Ю. Сравнительный анализ биоэлектрической активности и циркуляторного обеспечения головного мозга у подростков при острой гипоксии. Ульяновский медико-биологический журнал. 2022; 3: 86–96. DOI: 10.34014/2227-1848-2022-3-86-96.

COMPARATIVE ANALYSIS OF BRAIN BIOELECTRICAL ACTIVITY AND CIRCULATORY SUPPLY IN ADOLESCENTS WITH ACUTE HYPOXIA

A.B. Ivanov, I.Kh. Borukaeva, Z.Kh. Abazova, A.A. Molov,
T.B. Kipkeeva, A.G. Shokueva, K.Yu. Shkhagumov

Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov, Nalchik, Russia

Brain bioelectrical activity and the degree of cerebral blood supply directly determine physiological brain activity. There is insufficient evidence on the regularity and continuity of these processes.

The aim of the study is to conduct a comparative analysis of brain bioelectrical activity and circulatory supply in adolescents with acute hypoxia.

Materials and Methods. The authors examined 100 adolescent males of two age groups: Group 1 consisted of boys aged 12–14 years old, Group 2 included those aged 15–17.

Results. The authors revealed a positive correlation between blood supply, metabolism and brain function. In early pubertal adolescents, puberty-associated endocrine changes have a significant effect on EEG and REG indices in adolescents with hypoxia. An increase in the rheographic index is accompanied by an increase in the alpha- and a decrease in the delta-rhythm indices. In pubertal adolescents, an increase in the rheographic index causes a decrease in alpha rhythm and an increase in slow-wave delta oscillations in the frontal and occipital leads. Under short-term hypoxia, an increase in the brain filling with blood is observed. Under oxygen depletion (14%), despite the increase in pulmonary and blood minute volumes, tissue hypoxia develops in pubertal adolescents. It is especially evident in the early puberty, as there is even a decrease in oxygen consumption in adolescents aged 12–14. In adolescents with hypoxia cerebral blood flow increases.

Key words: acute hypoxia, adaptation to hypoxia, blood supply, bioelectrical activity, functional respiratory system, rheoencephalography, electroencephalography.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interest.

References

1. Grachev V.I., Marinkin I.O., Sevryukov I.T. Vliyanie gipoksii na tsentral'nyuyu nervnyuyu sistemu, organy i tkani s uchetom vozrastnykh osobennostey [The influence of hypoxia on the central nervous system, organs and tissues in accordance to age-related characteristics]. *Norwegian Journal of Development of the International Science*. 2018; 6-2 (19): 3–20 (in Russian).
2. Burykh E.A. Dominiruyushchaya aktivnost' sigma-diapazona EEG u cheloveka pri ostroy eksperimental'noy normobaricheskoy gipoksii [Dominant activity of EEG sigma-band during acute observed normobaric hypoxia in humans]. *Vestnik obrazovaniya i razvitiya nauki Rossiyskoy akademii estestvennykh nauk*. 2021; 3: 60–68 (in Russian).
3. Burykh E.A. Vzaimosvyaz' izmeneniy lokal'nykh i prostranstvenno-vremennykh spektral'nykh kharakteristik EEG pri gipoksii u cheloveka [Correlation between changes in EEG local and spatio-temporal spectral characteristics in patients with hypoxia]. *Rossiyskiy fiziologicheskii zhurnal im. I.M. Sechenova*. 2005; 91 (11): 1260–1280 (in Russian).
4. Burykh E.A. Izmeneniya vneshnego dykhaniya, mozgovogo krovotoka i EEG pri ostroy gipoksii u ispytuemykh s raznoy gipoksicheskoy rezistentnost'yu [Changes in external respiration, cerebral blood flow and EEG during acute hypoxia in patients with different hypoxic resistance]. *Rossiyskiy fiziologicheskii zhurnal im. I.M. Sechenova*. 2011; 97 (5): 459–471 (in Russian).
5. Sechin D.I., Tambovtseva R.V. EEG aktivnost' u sportsmenov pri vypolnenii motornykh zadach posle prebyvaniya v usloviyakh vozdeystviya normobaricheskoy gipoksii [EEG activity in athletes during motor tasks after exposure to normobaric hypoxia]. V kn.: *Novye podkhody k izucheniyu problem fiziologii ekstremal'nykh sostoyaniy* [New approaches to the problems of extreme state physiology]. Moscow; 2021: 145 (in Russian).
6. Burykh E.A., Sergeeva E.G. Elektricheskaya aktivnost' mozga i kislородное obespechenie kognitivno-mnesticheskoy deyatel'nosti cheloveka pri raznykh urovnyakh gipoksii [Electrical brain activity and oxygen supply of cognitive-mnestic human activity at different levels of hypoxia]. *Fiziologiya cheloveka*. 2008; 34 (6): 51–62 (in Russian).

7. Shemyakina N.V., Nagornova Zh.V. Izmeneniya kognitivnykh vyzvannykh potentsialov i spontanoy bioelektricheskoy aktivnosti v usloviyakh normobaricheskoy gipoksii [Changes in cognitive evoked potentials and spontaneous bioelectrical activity under normobaric hypoxia]. *Rossiyskiy fiziologicheskii zhurnal im. I.M. Sechenova*. 2018; 104 (11): 1368–1380 (in Russian).
8. Kolchinskaya A.Z., Tsyganova T.N., Ostapenko L.A. *Normobaricheskaya interval'naya gipoksicheskaya trenirovka v meditsine i sporte* [Normobaric interval hypoxic training in medicine and sports]. Moscow: Meditsina; 2003. 250 (in Russian).
9. Burykh E.A. Osobennosti dinamiki spektra EEG cheloveka pri postoyannom urovne ostrogo gipoksicheskogo vozdeystviya [Characteristics of human EEG spectrum dynamics under constant acute hypoxic exposure]. *Rossiyskiy fiziologicheskii zhurnal im. I.M. Sechenova*. 2018; 104 (9): 1049–1064 (in Russian).
10. Burykh E.A. Individual'nye osobennosti potrebleniya kisloroda organizmom cheloveka pri gipoksii [Individual differences in oxygen consumption by a human body under hypoxia]. *Rossiyskiy fiziologicheskii zhurnal im. I.M. Sechenova*. 2007; 93 (11): 1292–1307 (in Russian).
11. Dzhunusova G.S. Tsentral'nye regulatorynye mekhanizmy adaptatsii cheloveka v gornykh usloviyakh [Central regulatory mechanisms of human adaptation in high mountain conditions]. *Meditsina Kyrgyzstana*. 2014; 5: 36–39 (in Russian).
12. Rozhkov V.P., Trifonov M.I., Soroko S.I. Kontrol' funktsional'nogo sostoyaniya mozga na osnove otsenki dinamiki integral'nykh parametrov mnogokanal'noy EEG u cheloveka v usloviyakh gipoksii [Control of the functional state of the brain based on the dynamics of integral parameters of multichannel EEG in humans under acute hypoxia]. *Fiziologiya cheloveka*. 2021; 47 (1): 5–19 (in Russian).
13. Eroshenko A.Yu., Kochubeynik N.V., Shatov D.V., Groshilin S.M., Sklyarov V.N., Stepanov V.A., Linchenko S.N. Gipoksicheskaya trenirovka kak sposob protektsii golovnogogo mozga cheloveka ot povrezhdayushchego deystviya defitsita kisloroda [Hypoxic training as a way of the human brain protection from the damaging effects of oxygen deficiency]. *Meditsinskiy vestnik Yuga Rossii*. 2018; 9 (4): 33–41 (in Russian).
14. Rozhkov V.P., Soroko S.I., Trifonov M.I., Bekshaev S.S., Burykh E.A., Sergeeva E.G. Korkovo-podkorkovye vzaimodeystviya i regulyatsiya funktsional'nogo sostoyaniya mozga pri ostroy gipoksii u cheloveka [Cortical-subcortical correlation and regulation of cerebral functional state under acute hypoxia in humans]. *Rossiyskiy fiziologicheskii zhurnal im. I.M. Sechenova*. 2008; 94 (5): 481–501 (in Russian).
15. Guseynov A.G. Mekhanizmy vliyaniya gipoksii na summarnuyu aktivnost' kory golovnogogo mozga [Mechanisms of impact of hypoxia on general activity of brain cortex]. *Rossiyskiy fiziologicheskii zhurnal im. I.M. Sechenova*. 2017; 103 (11): 1209–1224 (in Russian).
16. Burykh E.A., Soroko S.I. Razlichiya v strategiyakh i vozmozhnostyakh adaptatsii cheloveka k gipoksicheskomu vozdeystviyu [Differences in strategies and possibilities of human adaptation to hypoxic exposure]. *Fiziologiya cheloveka*. 2007; 33 (3): 63–74 (in Russian).
17. Rozhkov V.P., Trifonov M.I., Burykh E.A., Soroko S.I. Otsenka individual'noy ustoychivosti cheloveka k ostroy gipoksii po integral'nym kharakteristikam strukturnoy funktsii mnogokanal'noy EEG [Estimation of individual human tolerance to acute hypoxia according to the integral characteristics of the structural function of the multichannel EEG]. *Rossiyskiy fiziologicheskii zhurnal im. I.M. Sechenova*. 2019; 105 (7): 832–852 (in Russian).
18. Balykin M.V., Zayneeva R.Sh., Kamanina T.V., Balykin Yu.M., Zharkov A.V. Krovosnabzhenie i reaktzii sosudov golovnogogo mozga u lits zrelogo vozrasta pri normobaricheskoy gipoksii i gipokapnii [Blood supply and cerebral vessels in adults under normobaric hypoxia and hypocapnia]. *Meditsina Kyrgyzstana*. 2014; 2-1: 14–19 (in Russian).
19. Barrick T.R., Mackay C.E., Prima S., Maes F., Vandermeulen D., Crow T.J., Roberts N. Anatomical analysis of cerebral asymmetry: an exploratory study of the relationship between brain torque and planum temporale asymmetry. *Neroimage*. 2005; 24 (3): 678–687.
20. Boldyreva G., Zhavoronkova L., Sharova E., Dobronravova I. Electroencephalographic intercentral interaction as a reflection of normal and pathological human brain activity. *Spanish J. of Psychology*. 2007; 10 (1): 167–177.
21. Strelets V.B., Garakh Zh.V., Novototskii-Vlasov V.Y., Magamedov R.A. EEG power and rhythm synchronization in health and cognitive pathology. *Neuro-sci. Behav. Physiol*. 2006; 36: 655–662.

22. Borukaeva I.Kh., Abazova Z.Kh., Ivanov A.B., Shkhagumov K.Yu. Interval'naya gipoksiterapiya i enteral'naya oksigenoterapiya v rehabilitatsii patsientov s khronicheskoy obstruktivnoy bolezn'yu legkikh [The role of interval hypoxia therapy and enteral oxygen therapy in the rehabilitation of patients with chronic obstructive pulmonary disease]. *Voprosy kurortologii, fizioterapii i lechebnoy fizicheskoy kul'tury*. 2019; 2: 27–32 (in Russian).

Received 9 June 2022; accepted 12 July 2022.

Information about the authors

Ivanov Anatoliy Betalovich, Doctor of Sciences (Biology), Professor, Head of the Chair of Normal and Pathological Human Physiology, Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov. 360004, Russia, Nalchik, Chernyshevsky St., 173; e-mail: abivanov@rambler.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1995-167X>.

Borukaeva Irina Khasanbievna, Doctor of Sciences (Medicine), Professor, Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov. 360004, Russia, Nalchik, Chernyshevsky St., 173; e-mail: irborukaeva@yandex.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1180-228X>.

Abazova Zalina Khasanovna, Candidate of Sciences (Medicine), Associate Professor, Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov. 360004, Russia, Nalchik, Chernyshevsky St., 173; e-mail: zalina.abazova@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2827-5068>.

Molov Anzor Askerbievich, Candidate of Sciences (Biology), Associate Professor, Chair of Normal and Pathological Human Physiology, Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov. 360004, Russia, Nalchik, Chernyshevsky St., 173; e-mail: anzor-m@yandex.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9920-5289>.

Kipkeeva Tat'yana Borisovna, Teaching Assistant, Chair of Normal and Pathological Human Physiology, Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov. 360004, Russia, Nalchik, Chernyshevsky St., 173; e-mail: tborisovna10@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0285-0995>.

Shokueva Asiyat Gisaevna, Teaching Assistant, Chair of Normal and Pathological Human Physiology, Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov. 360004, Russia, Nalchik, Chernyshevsky St., 173; e-mail: schokueva@yandex.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3540-119X>.

Shkhagumov Kazbek Yur'evich, Candidate of Sciences (Medicine), Associate Professor, Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov. 360004, Russia, Nalchik, Chernyshevsky St., 173; e-mail: kazbek07_07@mail.ru, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3671-481X>.

For citation

Ivanov A.B., Borukaeva I.Kh., Abazova Z.Kh., Molov A.A., Kipkeeva T.B., Shokueva A.G., Shkhagumov K.Yu. Sravnitel'nyy analiz bioelektricheskoy aktivnosti i tsirkulyatornogo obespecheniya golovno mozga u podrostkov pri ostroy gipoksii [Comparative analysis of brain bioelectrical activity and circulatory supply in adolescents with acute hypoxia]. *Ulyanovskiy mediko-biologicheskij zhurnal*. 2022; 3: 86–96. DOI: 10.34014/2227-1848-2022-3-86-96 (in Russian).