

# 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. Молев,  
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 реографического индекса сопровождается повышением индекса альфа- и уменьшением индекса дельта-ритмов. У подростков пубертатного периода увеличение значения реографического 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 (ПО<sub>2</sub>) 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,  $\sigma$  – 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 % O<sub>2</sub>) 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 тета-ритма. 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., Грошillin 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 гипоксии. 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@rambler.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 fiziologicheskiy 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 fiziologicheskiy 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 kislorodnoe obespechenie kognitivno-mnesticheskoy deyatel'nosti cheloveka pri raznykh urovnyakh gipoksii [Electrical brain activity and oxygen supply of cognitive-mnemonic 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 gornyykh 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 golovnog 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 regulatsiya 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 golovnog 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 reaktsii sosudov golovnog 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 enter-al'naya oksigenoterapiya v reabilitatsii patsientov s khronicheskoy obstruktivnoy boleznyu 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-biologicheskii zhurnal*. 2022; 3: 86–96. DOI: 10.34014/2227-1848-2022-3-86-96 (in Russian).