

УДК 612.82:612.017.2(23.0)

## РАЗРАБОТКА НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ РЕГУЛЯТОРНЫМИ ПРОЦЕССАМИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ ЧЕЛОВЕКА В УСЛОВИЯХ ГОР

*Г.С. Джунусова, Н.У. Сатаева, Ч.С. Шерматова, С.Б. Ибраимов, Э.Дж. Мусаева*

Представлены результаты ЭЭГ-исследований горцев и определены параметры нейрофизиологического статуса, участвующих в формировании адаптивных механизмов и являющихся критериями уровня "адаптационного напряжения", а также пределы допустимых отклонений в состоянии функциональных систем с определением факторов риска для здоровья горцев.

*Ключевые слова:* спектральная мощность ритмов мозга; высокогорье; гипоксия; электроэнцефалограмма; функциональная асимметрия.

---

## DEVELOPMENT OF REGULATORY PROCESSES NEUROPHYSIOLOGICAL HUMAN CENTRAL NERVOUS SYSTEM IN THE MOUNTAINS

*G.S. Dzhunusova, N.U. Satayeva, Ch S. Shermatova, S.B. Ibraimov, E.J. Musayeva*

In article presents the results of EEG research highlanders and considers the status of the neurophysiological parameters involved in the formation of adaptation mechanisms and criteria of adaptive stress, and also the limits of tolerance in a state of functional systems with the definition of health risk factors.

*Keywords:* spectral power rhythms of the brain; highlands; hypoxia; electroencephalogram (EEG); functional asymmetry.

**Введение.** Основные закономерности морфо-функционального развития мозга в целом обеспечивают адаптивные возможности организма и формируют поведенческие и когнитивные функции индивида. Именно с возрастом формируется необходимый эквивалент мозговых функций, что создает структурно-функциональную основу для оптимальной адаптации организма к условиям среды, осуществления сенсорной и интегративной деятельности мозга [1, 2]. От морфофункционального состояния мозга зависят его адаптация, успешность обучения, психологические взаимоотношения. Вместе с тем организм горцев, имеющий повышенное напряжение всех регуляторных механизмов, остается практически не изученным.

За последнее время нами достигнуты следующие успехи: выявлены особенности ЭЭГ-активности и характер межцентральных взаимоотношений коры и подкорковых структур мозга в условиях острой и хронической гипоксии; определены типы пластичности (адаптивности) центральных механизмов регуляции мозга лиц, впервые адаптирующихся в условиях высокогорья, и постоянных жителей горных регионов; разработаны типологические ЭЭГ-нормативы для жителей высокогорья;

разработан метод адаптивного биоуправления по ЭЭГ для коррекции функциональных расстройств ЦНС и оптимизации дезадаптивных нарушений в условиях высокогорья [3]. Несмотря на полученные результаты в изучении взаимодействия ЦНС с высокогорной средой, механизмы, лежащие в основе высокой устойчивости и успешности длительной адаптации человека в горах, остаются во многом неясными. Постоянная и непредсказуемая изменчивость параметров окружающей среды при адаптации неизбежно приводит к формированию индивидуального разнообразия механизмов саморегуляции организма, позволяющих выживать в условиях высокогорья.

Адаптационные резервы человека тесно связаны с напряжением физиологических механизмов и зависят от силы действующего фактора, а также продолжительности его воздействия [4, 5]. Имеются также данные, позволяющие по локальным и пространственным особенностям спектральной мощности ЭЭГ судить о соответствии амплитудно-частотных параметров тому или иному возрасту человека, о наличии задержек морфофункционального созревания мозга или отклонениях в развитии [6–8]. Под влиянием окружающей среды

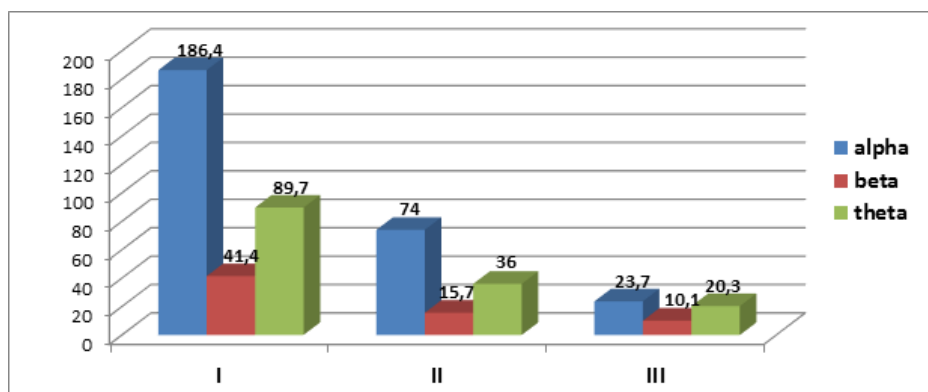


Рисунок 1 – Спектральная мощность альфа-, бета- и тета-ритмов мозга у трех групп горцев. По оси абсцисс – основные ритмы мозга; по оси ординат – спектральная мощность ЭЭГ

происходит формирование структуры и функций организма в разные периоды жизни, особенно это заметно в процессе развития, когда совершенствуется деятельность всех систем организма.

**Объект и методы исследования.** Объектом исследований явились 100 студентов Нарынского госуниверситета, из них 77 девушек и 23 юноши в возрасте от 16 до 24 лет. Для анализа ЭЭГ-параметров использовался компьютерный электроэнцефалограф-анализатор ЭЭГА-21/26 “Энцефалан-131-03” фирмы “Медиком МТД” (Россия). У всех испытуемых одновременно регистрировали ЭЭГ от 21 отведения по международной системе 10-20. Применялся расширенный анализ спектральной мощности основных ритмов мозга. По параметрам ЭЭГ все испытуемые разделены на 3 группы: 1-я – с высокой спектральной мощностью альфа-ритма от 91 мкВ и выше; 2-я – со средней мощностью альфа-ритма 60–90 мкВ; 3-я – с низкой спектральной мощностью альфа-ритма от 59 мкВ и ниже.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Исследования велись по выделению системных и межсистемных взаимосвязей между основными регуляторными системами организма человека в условиях высокогорья. Из обследованных студентов 60 % имеют жалобы на патологии в какой-либо физиологической системе организма, из них 12 % обследованных предъявляли жалобы, связанные с центральной нервной системой, 48 % – на другие системы организма. При разделении по спектрам мощности альфа-ритма оказалось, что из 100 человек 34 % отнесены в группу с высокой спектральной мощностью альфа-ритма; 43 % – в группу со средней спектральной мощностью альфа-ритма и еще 23 % – в группу с низкой спектральной мощностью альфа-ритма. Спектральная мощность основных ритмов ЭЭГ представлена на рисунке 1.

Результаты наших исследований показали, что в ЭЭГ горцев наблюдается преобладание спектральной мощности в альфа-диапазоне с доминирующей частотой  $9,8-10,2 \pm 0,4$  Гц. В ЭЭГ лиц с незрелостью мозговых структур наблюдается преобладание спектральной мощности в тета- и бета-диапазонах.

В числе отличительных особенностей изменений активности в тета-диапазоне следует отметить наибольшую выраженность снижения мощности тета-ритма в височно-теменно-центральных зонах коры головного мозга. Для бета-частот повышение относительной мощности значимо для лобно-центральных областей с включением теменных и височных областей. При этом формирование электрогенеза правого полушария несколько опережает левое. По данным [9], наблюдаемая гетерохрония изменений в правом и левом полушариях приводит к увеличению и стабилизации функциональной дифференцировки полушарий к 17–18-летнему возрасту.

У обследованных студентов (40 %) отмечаются следующие отклонения в ЭЭГ – это:

- а) низкая частота (8–9,5 Гц) и недостаточная выраженность альфа-ритма в затылочных и теменных областях коры больших полушарий, нарушение его пространственной локализации;
- б) наличие более высокого уровня тета-активности, особенно в височных и лобных зонах;
- в) возрастная “незрелость” организации волновой структуры взаимосвязей основных компонентов (волн) паттернов ЭЭГ с отсутствием характерных “функциональных ядер” в отдельных зонах коры головного мозга.

Результаты исследований свидетельствуют о продолжающемся развитии ЦНС у молодых горцев. В организации биоэлектрической активности мозга наиболее показательное снижение с возра-

Таблица 1 – Спектры мощности основных ритмов ЭЭГ у подростков-горцев

Располож электр-в.	Средняя спектральная мощность (мкВ <sup>2</sup> )				
	I	II	III	beta	theta
ЗДЧ	9,4 ±0,5	9,4 ±0,5	9,4 ±0,5	16,4 ±0,8	5,9 ±0,7
O2-A2	239,6 ±0,6	76,4 ±0,8	28,8 ±0,9	18,4 ±0,7	31 ±1,2
O1-A1	192,5 ±1,5	71,9 ±1,3	25 ±0,5	16 ±0,6	29,3 ±0,2
P4-A2	140,5 ±1,3	75,6 ±1,5	26,6 ±1,1	12,8 ±0,7	27,6 ±0,2
P3-A1	136,5 ±1,4	75,9 ±1,09	24,4 ±0,8	11,9 ±0,6	26,2 ±0,7
C4-A2	164,2 ±1,5	69,5 ±1,2	24,5 ±0,7	11,3 ±0,8	24,3 ±0,9
C3-A1	179 ±1,8	70,5 ±1,09	24,2 ±0,7	11,5 ±0,8	29,1 ±0,8
F4-A2	183 ±1,8	72,8 ±0,6	22,1 ±0,5	11,4 ±0,3	21,9 ±0,5
F3-A1	168 ±1,6	79,7 ±1,1	23,5 ±0,6	11,4 ±0,3	24,7 ±0,3
Fp2-A2	264,8 ±1,9	77,5 ±1,1	20,3 ±0,6	9,9 ±0,1	24,5 ±0,6
Fp1-A1	227,5 ±1,8	70,2 ±0,6	20,8 ±0,4	11,2 ±0,2	28,9 ±0,5
T6-A2	175,8 ±1,6	74,3 ±0,5	25 ±0,3	12,1 ±0,2	28,9 ±0,5
T5-A1	123,9 ±1,2	73,2 ±0,4	22,6 ±0,3	11,3 ±0,2	23 ±0,3
T4-A2	155,7 ±1,4	62,1 ±0,6	22,6 ±0,4	11,1 ±0,2	19,2 ±0,3
T3-A1	125,3 ±1,2	81,9 ±0,8	20,7 ±0,4	10,6 ±0,2	21,4 ±0,3
F8-A2	331,9 ±2,3	77,2 ±0,6	16,2 ±0,2	12,8 ±0,2	22,8 ±0,2
F7-A1	277,2 ±0,8	79,8 ±0,7	19,6 ±0,4	10,4 ±0,1	19,2 ±0,4
Oz-A2	215,2 ±1,7	74,6 ±0,6	28,3 ±0,4	18,1 ±0,5	58,2 ±0,6
Pz-A1	145,7 ±1,6	75,5 ±0,8	27,8 ±0,3	12,7 ±0,2	36,8 ±0,5
Cz-A2	130,2 ±1,1	71,2 ±0,3	26,9 ±0,2	12,2 ±0,2	31,8 ±0,3
Fz-A1	155,9 ±1,6	71,9 ±0,8	24,1 ±0,5	10,4 ±0,2	27,6 ±0,3
Fpz-A2	182,1 ±1,9	71,9 ±0,8	23,1 ±0,2	9,9 ±0,1	31,8 ±0,3
Среднее	186,4 ±1,8	74 ±0,7	23,7 ±0,4	12,3 ±0,3	28 ±0,5

том активности в дельта- и тета-диапазонах частот ЭЭГ и относительное повышение мощности колебаний потенциалов в альфа- и бета-диапазоне.

В таблице 1 представлены средние значения спектральной мощности альфа-, бета-, и тета-ритмов, причем параметры СМ альфа-ритма даны по 3 группам. Как показали результаты исследований основные изменения коснулись неравномерного созревания отдельных зон коры головного мозга, что выразилось в преобладании низкочастотного альфа-ритма, недостаточной его модуляции по амплитуде (с невыраженными или сглаженными альфа-веретенами), в нарушении его пространственного распределения с преобладанием в центральных и лобно-центральных отделах мозга. Повышение амплитудных значений альфа-ритма, и смещение его частоты к 8 Гц и субдоминирование тета-ритма создают паттерн ЭЭГ, характеризующий параметры биоэлектрической активности незрелого мозга.

Анализ спектрального состава ЭЭГ позволил выявить функциональные сдвиги в области альфа- и тета-ритмов. Функциональные сдвиги особенно выражены в группе горцев с высокой спектральной мощностью альфа-ритма.

Смещение альфа-ритма в сторону низких частот свидетельствует о снижении уровня активации со стороны глубоких структур мозга и субдоминировании тета-ритма, что выражается в наличии медленноволнового тета-ритма в центральных теменных, лобно-височных и затылочных зонах коры головного мозга. Что касается бета-ритма, то результаты исследований четко выраженной зональности не выявили, но при этом известно, что при наличии тревожного состояния на ЭЭГ может регистрироваться бета-активность, свидетельствующая об изменении уровня тревожности или о неустойчивости функционального состояния обследованных лиц. Данный факт характеризует нестабильность альфа-ритма и присутствию альфа-подобной активности. Установлено, что наибольшие изменения биоэлектрической активности наблюдаются в параметрах альфа- и тета-ритмов, играющих определяющую роль в формировании процессов внимания и развитии когнитивных процессов. Необходимо отметить, что биоэлектрическая активность мозга отражает функциональное состояние ЦНС в момент обследования. При этом учащение альфа-ритма является критерием в детерминации степени морфофункционального созревания мозга.

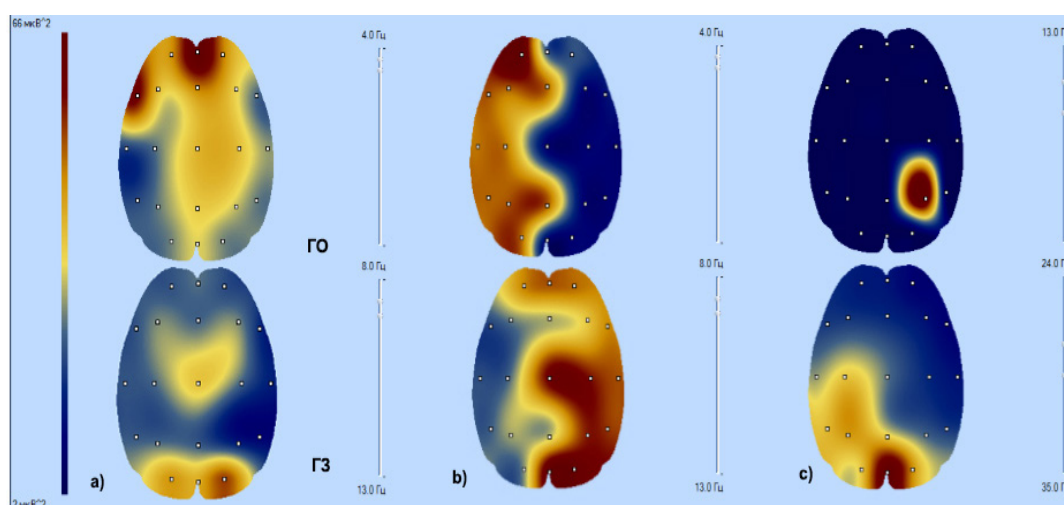


Рисунок 2 – Смещение фокуса перестроек спектральной мощности ЭЭГ в индивидуальных спектрограммах горцев-подростков: а – из затылочных в центральные области коры; б – смена доминирования полушарий; с – усиление СМ в бета-диапазоне ЭЭГ. ГЗ – при закрытых глазах; ГО – при открытых глазах

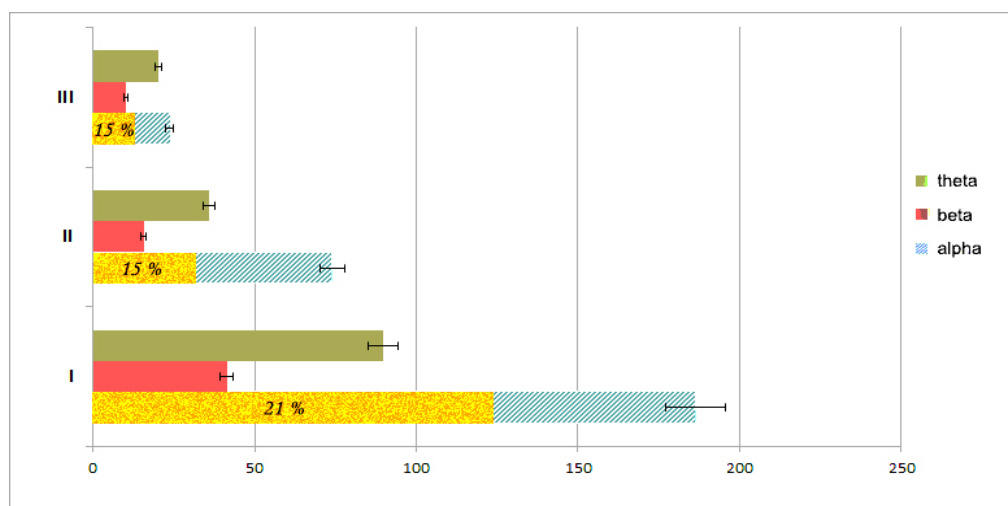


Рисунок 3 – Выраженность фронтальной асимметрии альфа-ритма (ФАА) у подростков-горцев по спектральной мощности ЭЭГ. По оси абсцисс – значения спектральной мощности ЭЭГ, по оси ординат – группы горцев:

I – с высокой спектральной мощностью 91  $\mu\text{V}^2$  и выше; II – со спектральной мощностью 60–90  $\mu\text{V}^2$ ;

III – со спектральной мощностью 59  $\mu\text{V}^2$ .

Анализ формирования пространственной организации альфа-ритма отражает созревание коры больших полушарий, что можно проследить в индивидуальных спектрограммах обследованных лиц. Установлено, что при закрывании и открывании глаз респондентами, фокус перестроек спектральной мощности ЭЭГ смещался в центральные области коры вместо теменно-затылочных областей в норме (рисунок 2).

Подробное исследование ЭЭГ позволило выявить и такой показатель, как фронтальная

асимметрия альфа-ритма (ФАА), который рассматривается как ЭЭГ-коррелят наличия функциональных расстройств, связанных с дефицитом внимания и гиперактивности, при которых повышена потребность в двигательной активности. Повышение фронтальной активности альфа-ритма в левом полушарии соответствует преобладанию у обследованных лиц положительной эмоциональной составляющей и подвижности, а повышение фронтальной асимметрии альфа-ритма в правом полушарии связано с отрицательным эмоциональ-

ным состоянием, а также с избеганием активных действий, активностью тормозных процессов и повышенной тревожностью обследованных лиц, что является механизмом ослабления влияния со стороны лобной коры на моторные зоны коры мозга. У 51 % обследованных нами лиц отмечается ФАА. Причем в группе с высокой спектральной мощностью альфа-ритма ( $91 \text{ мкВ}^2$  и более) отмечается у 21 % обследованных, а в группах со средней ( $60\text{--}90 \text{ мкВ}^2$ ) и низкой ( $59 \text{ мкВ}^2$  и менее) спектральной мощностью альфа-ритма по 15 % в каждой из групп (рисунок 3). Преобладание ФАА в правом полушарии мозга отмечается у 62 % обследованных, а в левом полушарии мозга – у 20 %. При этом отсутствие выраженной фронтальной асимметрии альфа-ритма наблюдается у 18 % обследованных лиц.

Итак, к основным выявленным изменениям ЭЭГ относятся: функциональная незрелость отдельных зон коры больших полушарий головного мозга, особенно ассоциативных зон, преимущественно теменно-затылочно-височные; преобладание низкочастотного альфа-ритма и медленноволновых тета- и дельта-ритмов.

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что организм представляет собой колебательную систему, где каждой адаптивной реакции свойственны свои частотные характеристики. Нарушение синхронизации способствует развитию патологии и, напротив, ее оптимизация является сутью коррекционных адаптационных мероприятий. Регуляторные адаптивные возможности определяются наличием потенциальных механизмов реализации в саморегулирующихся адаптивных системах, имеющих прямую связь с уровнем функционирования и обратную – со степенью напряжения регуляторных систем.

Отмеченные частотные диапазоны альфа-ритма могут быть использованы для экспресс-диагностики функционального состояния и выявления групп риска с ранними негативными проявлениями функциональных нарушений ЦНС. Установлено, что у 40 % подростков высокогорья на ЭЭГ отмечается наличие тета-подобного альфа-ритма в теменно-затылочных и лобно-центральных областях коры, особенно в правом полушарии мозга, что отражает повышенный уровень напряжения основных регуляторных механизмов мозга, участвующих в формировании адаптивных реакций.

Преобладание отмеченных сдвигов в правом полушарии мозга свидетельствует о неравномерности темпов формирования нейрофизиологических механизмов, определяющих возрастные особенности мозга, обуславливающих адаптивные механизмы ЦНС в горах. Являются ли указанные изменения региональными особенностями, связанными с необходимостью адаптации к неблагоприятным условиям высокогорья, или они свидетельствуют о функциональных нарушениях морфо-функционального развития ЦНС, пока сказать невозможно.

#### Литература

1. Сороко С.И. Нейрофизиологические и психофизиологические основы адаптивного биоуправления / С.И. Сороко, В.В. Трубачев. СПб.: Политехника-сервис, 2010. 607 с.
2. Сороко С.И. Индивидуальные стратегии адаптации человека в экстремальных условиях / С.И. Сороко, А.А. Алдашева // Физиол. человека. 2012. Т. 38. № 6. С. 1–9.
3. Джунусова Г.С. Центральные механизмы адаптации человека в горах / Г.С. Джунусова. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2013. 280 с.
4. Агаджанян Н.А. Изучение образа жизни, состояния здоровья и успеваемости студентов при интенсификации образовательного процесса / Н.А. Агаджанян, Т.Ш. Миннибаев, А.Е. Северин // Гигиена и санитария. 2005. № 3. С. 48.
5. Украинцева Ю.В. Психофизиологическая характеристика лиц с различной стрессоустойчивостью / Ю.В. Украинцева, М.Н. Русалова // Успехи физиологических наук. 2006. Т. 37. № 2. С. 19–40.
6. Thatcher R.W. Cyclic cortical reorganization during early childhood / R.W. Thatcher // Brain Cognit. 1992. Vol. 2. № 4. P. 8–39.
7. Фарбер Д.А. Принципы системной структурно-функциональной организации мозга и основные этапы ее формирования / Д.А. Фарбер // Структурно-функциональная организация развивающегося мозга. Л., 1990.
8. Физиология развития ребенка: (Теоретические и прикладные аспекты) / под ред. М.М. Безруких, Д.А. Фарбер. М., 2000.
9. Смирнов В.М. Мозговые механизмы психофизиологических состояний / В.М. Смирнов, Т.Н. Резникова, Ю.М. Губачев и др. М.; Л.: Наука, 1989. 147 с.