

УДК 612.017:612.821

## ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА АДАПТИВНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЧЕЛОВЕКА С УЧЕТОМ ИНДИВИДУАЛЬНО-ТИПОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ

Джунусова Г.С., Сатаева Н.У., Садыкова Г.С.

*Институт горной физиологии и медицины НАН, Бишкек, e-mail: aiperi-03@mail.ru*

При воздействии факторов высокогорной среды для определения характерных критериев приспособительных реакций и устойчивости человека на сегодняшний день наиболее актуальными являются исследования по оценке и определению основных типов саморегуляции мозга, а также выявление характера межсистемных взаимоотношений. В предлагаемой статье изложены результаты электроэнцефалографических исследований, проведенных среди высокогорных жителей ( $n = 370$ , в возрасте 17–55 лет), проживающих на высоте 2800 м над уровнем моря в Нарынской, Иссык-Кульской и Ошской областях Кыргызской Республики. Установлено что успешность индивидуальной адаптивности и характер адаптации высокогорных жителей к постоянно меняющимся условиям внешней среды определяются пластичностью нервной системы. Определение типа центральных механизмов регуляции мозга позволяет судить о степени нормального функционирования центральной нервной системы в горах и имеет теоретическую и практическую значимость. Результаты исследований высокогорных жителей обоих регионов показали особенности распределения по типам ЦМР мозга, т.е. снижение спектральных и вероятностных показателей альфа-ритма и рост выраженности тета-ритма, отражающих сужение физиологических адаптивных границ у жителей гор. В условиях гор при избрании наиболее приемлемой стратегии адаптации значительную роль играет определение типов механизмов саморегуляции мозга, которые инициируют основные регулирующие системы организма, что в итоге формирует один из вариантов адаптивного поведения высокогорных жителей. Следует отметить, что у высокоадаптируемых жителей гор такое поведение формируется исключительно усилением контролируемых механизмов регуляции и снижением ответных реакций на условия жизнедеятельности в горах. А у низкоадаптируемых жителей гор рост напряжения механизмов регуляции и включение автономных, поведенческих компонентов адаптации являются дополнительными резервами приспособительных реакций. У 46% горцев выявлены признаки дезадаптации (снижение функционального состояния, сопровождающихся снижением спектральной мощности мозговых ритмов, ухудшением памяти, возрастанием тревожности и др.).

**Ключевые слова:** высокогорье, гипоксия, адаптация, человек, тип центральных механизмов регуляции мозга, пластичность мозга, ЭЭГ-ритмы

## ASSESSMENT OF ADAPTIVE CAPACITY, TAKING INTO ACCOUNT INDIVIDUAL AND TYPOLOGICAL FEATURES OF CENTRAL NERVOUS SYSTEM

Dzhunusova G.S., Sataeva N.U., Sadykova G.S.

*The Institute of Mountain Physiology and Medicine of the National Academy of Sciences, Bishkek, e-mail: aiperi-03@mail.ru*

Under the influence of factors of high mountain environment to determine the characteristic criteria of adaptive reactions and human stability today the most relevant are studies to assess and determine the main types of self-regulation of the brain, as well as identifying the nature of inter-system relationships. The proposed article presents the results of electrophysiological studies conducted on high mountain inhabitants ( $n = 370$ , aged 17–55 years), living at an altitude of 2,800 m above sea level in the Naryn and Osh regions of the Kyrgyz Republic. It has been established that the success of individual adaptability and the nature of adaptation of high-mountain residents to the constantly changing environmental conditions are determined by the plasticity of the nervous system. Determining the type of central mechanisms of brain regulation allows us to estimate the degree of normal functioning of the central nervous system in the mountains and has theoretical and practical significance. The results of studies of high-mountain residents of both regions showed distinctive features of the distribution according to the types of the central mechanisms regulation of the brain, i.e. a decrease in the spectral and probabilistic indices of the alpha rhythm and an increase in the severity of the theta rhythm, which reflects the narrowing of the physiological adaptive boundaries of the inhabitants of the mountains. Under the conditions of the mountains, when choosing the most appropriate adaptation strategy, a significant role is played by determining the type of brain self-regulation mechanisms, which initiate the main regulatory systems of the body, which ultimately forms one of the adaptive behaviors of high-mountain people. It should be noted that in highly adaptable mountain dwellers such behavior is formed solely by strengthening the controlling mechanisms of regulation and reducing the response reactions to the conditions of vital activity in the mountains. And for low-adaptable mountain dwellers, increased tension of regulatory mechanisms and the inclusion of vegetative, behavioral components of adaptation are additional reserves of adaptive responses. At 46 per cent of highlanders showed signs of disadaptation (reduced functional status, accompanied by a decline in the spectral power of major brain rhythms, deterioration of memory, increased anxiety, etc).

**Keywords:** highlands, hypoxia, adaptation, human, the type of central mechanisms of regulation of brain plasticity, EEG rhythms

Выработанные в процессе эволюции способы адаптации обеспечивают существование организма человека в постоянно меняющихся условиях окружающей среды.

На сегодняшний день имеется значительное количество работ, посвященных оценке физиологического состояния человека в горах. Исследования по определению централь-

ных механизмов саморегуляции мозга, а также характера межсистемных взаимоотношений являются наиболее перспективными в определении действительных критериев адаптивности и стабильности организма человека к условиям высокогорной среды [1, 2].

Цель исследования: исследование особенностей устойчивости человека в условиях высокогорья для определения эффективных методов отбора и прогноза адаптационных возможностей человека.

### Материалы и методы исследования

Объектом исследования явились лица, адаптирующиеся к условиям высокогорья (68 чел), и горцы, проживающие на высоте 2800 м н.у.м. (Нарынская обл. КР, 170 чел, Ошская обл. КР, 100 чел, и Иссык-Кульская обл., 100 чел). Регистрация ЭЭГ осуществлялась на 21-канальном компьютерном электроэнцефалографе-анализаторе «Энцефалан-131-10». Для анализа ЭЭГ использовались методы компьютерной оценки спектров мощности ЭЭГ, параметры доминирующих ритмов, характер функциональной асимметрии мозга и др. Оценивались: тип центральных механизмов регуляции (ЦМР) мозга по структуре компонентов ЭЭГ [3] и психофизиологические характеристики (внимание, память, мышление, тревожность, мотивация и др.) с применением специальных психологических тестов. Статобработка проводилась программой SPSS-16.

### Результаты исследования и их обсуждение

Известно, что успешность адаптации к изменяющимся условиям внешней среды во многом определяется основными свойствами нервной системы, среди которых ведущим является пластичность [3–5]. Оценка функциональных сдвигов у человека, как в обычных, так и экстремальных условиях, предполагает индивидуальную оценку параметров его основных функциональных систем [6]. Важнейшим при этом является уровень ЦМР мозга, координирующих деятельность всего организма [2, 7].

В наших исследованиях обнаружено, что у горцев с высокой пластичностью мозга (I тип ЦМР) отмечается низкочастотный альфа-ритм, больше выраженный в правых областях коры мозга, с выраженной спектральной мощностью до 100 мкВ<sup>2</sup> в затылочных зонах коры. У среднепластичных горцев (II тип ЦМР) спектральная мощность альфа-ритма снижена до 70,5 мкВ<sup>2</sup>. У низкопластичных горцев (III тип ЦМР) спектральная мощность альфа-ритма на ЭЭГ слабо выражена и не превышает 6 мкВ<sup>2</sup> [2]. Это показывает, что у лиц I типа ЦМР мозга снижены вероятности возникновения альфа-ритма, тогда как у лиц III типа повышаются вероятностные пороги мозговых ритмов, которые являются

признаком роста хронического напряжения центральных механизмов регуляции. А это, в свою очередь, и вызывает изменения в распределении типологических групп у горных жителей.

В результате проведенных нами лонгитудинальных, более чем 20-летних исследований ЭЭГ параметров мозга у горцев, проживающих в различных горных территориях на высоте 2800 м н.у.м., обнаружена диспропорция в распределении типов ЦМР мозга у горцев. Так, если в 1996 г. среди жителей, проживающих в Нарынской области (200 чел) к I типу ЦМР мозга (высокопластичному) было отнесено 26% лиц, ко II типу (среднему) – 50% и 24% к III типу (низкопластичному), то через 20 лет при обследовании 170 горцев в этом же регионе распределение между типами ЦМР мозга изменилось следующим образом: число лиц с III типом ЦМР мозга составило 78% от общего количества обследованных, со II типом – 12% и только 10% горцев отнесены в группу высокоадаптивных индивидов [8]. Еще большие различия отмечаются при сравнении северных и южных регионов Кыргызстана. Так, обследование горного населения южных регионов Кыргызстана показало иное распределение между основными типами ЦМР мозга по ЭЭГ. Установлено, что к I группе относятся 7% горцев, ко II группе относятся 6% горцев, а к III группе относятся 87% обследованных горцев. А у горцев, проживающих в Иссык-Кульской области, к I типу ЦМР мозга относятся 10% обследованных лиц, ко II типу ЦМР мозга – 9%, а к III типу ЦМР относятся 81% из числа обследованных горцев, что свидетельствует о том, что в горах южных и северных регионов Кыргызстана проживают в основном лица с низкой пластичностью центральных механизмов регуляции мозга.

По значениям спектральной мощности (СМ) альфа-ритма горцы разделены на три группы: с высокими значениями спектральной мощности (> 91 мкВ<sup>2</sup>), средними значениями СМ (60–90 мкВ<sup>2</sup>) и низкими значениями спектральной мощности (< 59 мкВ<sup>2</sup>). На ЭЭГ горцев Иссык-Кульской области доминирует альфа-ритм у 40% горцев, средней частотой  $8,5-10 \pm 2,5$  Гц и спектральной мощностью 75,4 мкВ<sup>2</sup>. На ЭЭГ субдоминирует тета-ритм у 37% лиц, спектральной мощностью 20,8 мкВ<sup>2</sup> и средней частотой  $4,9 \pm 1,2$  Гц, а также субдоминирует бета-ритм у 23% обследованных горцев, средней частотой  $17,8 \pm 4,3$  Гц и спектральной мощностью 10,7 мкВ<sup>2</sup>. Средняя спектральная мощность горцев представлена на рис (рис. 1, 2).

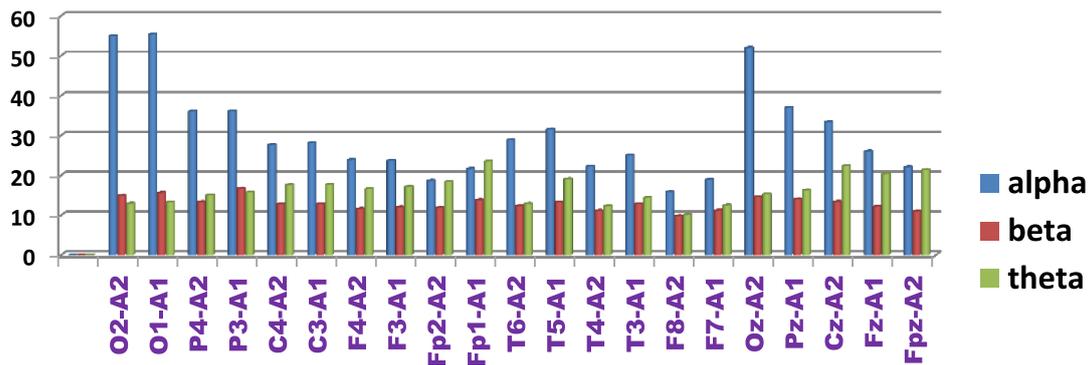


Рис. 1. Средняя спектральная мощность по всем зонам головного мозга. По оси абсцисс – зоны отведений ЭЭГ с поверхности головы; по оси ординат – значения спектральной мощности основных ритмов мозга

В устойчивом функциональном состоянии не отмечается равновероятного взаимодействия компонентов ЭЭГ [1]. Высокая пластичность нейродинамических перестроек повышает вероятность взаимодействия компонентов ЭЭГ с альфа-волнами во всех зонах коры головного мозга. У горцев с низкой пластичностью и устойчивостью мозга нейродинамических процессов отмечается высокая представленность в ЭЭГ высокочастотных и низкочастотных компонентов, но сила этих взаимодействий становится менее значимой. Представители этой группы обладают устойчивой и хорошо организованной структурой корково-подкорковых взаимоотношений. Тип ЦМР связан с временной организацией и взаимодействии друг с другом. Сдвиги в деятельности мозга неизменно сопровождаются изменениями временной организации волновой структуры ЭЭГ и ее пространственной организации [7].

Анализ регулирующей устойчивости параметров ЭЭГ показал, что запас устойчивости механизмов саморегуляции мозга наибольший у I группы и наименьший у лиц с III типом ЦМР мозга. Именно эти индивидуальные свойства механизмов саморегуляции мозга и определяют перестройки структуры паттерна ЭЭГ. Десинхронизация является объективным показателем дезадаптации организма, выражающим неспособность организма человека полностью адаптироваться.

У части обследованных горцев (46%) отмечается десинхронизация, которая затрагивает не только мозговые функции, но и нарушения физиологического и психологического состояния, вызывая дезадаптационные сдвиги. Причем именно резервы регуляции, их надежность, устойчивость и предел возможностей являются опреде-

ляющими звеньями физиологических перестроек в горах.

В ответ на влияние средовых факторов синхронизируются внутренние регуляторные механизмы, позволяющие организму срочно активировать и обеспечить исполнение необходимых компенсаторных реакций. Однако это несколько снижает функциональное состояние, и организм становится менее приспособленным к дальнейшим изменениям среды.

В связи с этим адаптация на фоне развивающегося десинхроноза происходит более напряжению и менее эффективно [3, 7]. Практически на любые воздействия факторов среды формируются комплексные реакции основных регуляторных систем. Они проявляются в мобилизации всех регуляторных механизмов, характеризующих изменение структуры внутрисистемных и межсистемных связей. Ключевая роль в долговременной адаптации принадлежит стресс-лимитирующим системам, снижающим интенсивность расходования резервов, обеспечивающих перевод обмена на более экономный и адекватный воздействию уровень. Долговременные механизмы адаптации сопряжены с переводом организма на новые уровни гомеостатического регулирования, ведущим при этом являются регуляторные пластические и энергетические механизмы адаптации. Результатом неблагоприятного взаимодействия организма может быть развитие дезадаптационных сдвигов функционального состояния, приводящих к изменению адаптивного поведения человека в горах. У 46% обследованных горцев выявлены дезадаптационные сдвиги, такие как признаки снижения функционального состояния нервной системы, сопровождающихся снижением спектральной мощности основных мозговых ритмов, ухудшением

памяти, возрастанием тревожности и др. Причем в I группе горцев выраженная дизритмия альфа-активности в виде ритма высокой амплитуды, нерегулярная, более выраженная в правой затылочной области коры головного мозга отмечается у 12%, во II группе у 6%, а в III группе – у 27% обследованных подростков. У части обследованных лиц I группы (20%) отмечается недостаточно организованная, высокоамплитудная альфа-активность в виде волн высокой амплитуды, нерегулярная в правой затылочной области на фоне высокочастотного бета-ритма, выраженного в левых височных и затылочных зонах коры головного мозга. Напротив, у 58% обследованных регистрируется организованная альфа-активность, регулярная и модулированная по амплитуде в затылочных зонах коры мозга.

Полиморфная активность у 27% горцев III типа, на фоне которой отмечается среднеамплитудная нерегулярная альфа-активность, более выраженная в центральных затылочно-теменных областях коры мозга при сохранности зональных различий. На фоне полиморфной активности у части горцев (37%) ЭЭГ характеризуется тета-активностью, частотой 4–4,9 Гц средней амплитуды, более выраженной в височно-теменно-затылочных зонах коры с обеих сторон. В этих случаях, как показали исследования по адаптивному биоуправлению по ЭЭГ, в том числе и в горах, указанные перестройки направлены на стабилизацию структуры взаимодействия компонентов ЭЭГ, улучшение функционального состояния, и они способствуют выходу из десинхронизации [2, 4].

Вопрос качества жизнедеятельности человека в условиях высокогорья все еще

остается актуальным, так как вопрос достижения относительного равновесия между организмом человека и высокогорной средой является результатом адаптации [7]. Результатом адаптации является повышение или снижение устойчивости к средовым факторам, сопровождающимся расширением или сужением диапазона адаптационных возможностей организма. Установлено, что чем выше экстремальность среды, тем более имеет место относительно устойчивая адаптация на определенный срок, по истечении которого развиваются явления дезадаптации.

Результаты психофизиологических исследований показали высокий уровень личностной тревожности у 40% обследованных горцев, средний уровень у 57% и низкий уровень всего лишь у 3% обследованных лиц. Высокий уровень ситуативной тревожности отмечается у 20%, средний уровень у 63% и низкий уровень у 17% горцев. Концентрация внимания высокая у 36% горцев, низкая у 45% обследованных лиц. При этом высокая устойчивость внимания отмечается у 78% горцев, а переключаемость внимания высока у 57%, средняя у 31% и низкая у 12%. Доминирует слуховой тип памяти (76% обследованных лиц). Продуктивным является непосредственный тип запоминания, при этом преобладание ассоциативной памяти отмечается только у 25% обследованных горцев. В списке актуальных мотиваций горцы на первом месте предпочитают занятие спортом, на втором – занятие музыкой и пением, на третьем – обучение иностранным языкам и занятие прикладным творчеством. В выборе профессий подростки предпочитают профессии из групп «человек – природа» (37%), «человек – человек» (25%) и «человек – техника» (20%).

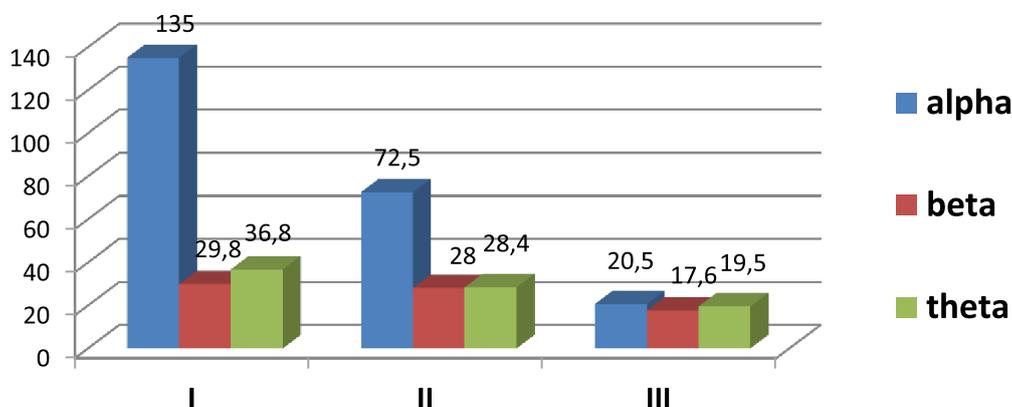


Рис. 2. Спектральная мощность основных ритмов ЭЭГ горцев по трем группам: I группа > 91 мкВ², II группа 60–90 мкВ², III группа < 59 мкВ²

### Заключение

Жизнедеятельность человека в горах обеспечивает приспособление организма к окружающей среде, обуславливая взаимодействие регуляторных, пластических и неспецифических компонентов адаптации. При этом неспецифические адаптационные изменения мобилизуют защитные регуляторные механизмы, сохраняя адекватный уровень гомеостатических констант в организме горцев.

### Список литературы

1. Новиков В.С., Сороко С.И. Физиологические основы жизнедеятельности человека в экстремальных условиях. СПб.: Политехника-принт, 2017. 476 с.
2. Джунусова Г.С. Центральные механизмы адаптации человека в горах. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2013. 280 с.
3. Сороко С.И., Бекшаев С.С., Сидоров Ю.А. Основные типы механизмов саморегуляции мозга. Л.: Наука, 1990. 205 с.
4. Сороко С.И., Трубачев В.В. Нейрофизиологические и психофизиологические основы адаптивного биоуправления. СПб.: Политехника, 2010. 607 с.
5. Сороко С.И., Алдашева А.А. Индивидуальные стратегии адаптации человека в экстремальных условиях // Физиология человека. 2012. Т. 38. № 6. С. 1–9.
6. Балыкин М.В., Каркобагов Х.Дж. Системные и органные механизмы кислородного обеспечения организма в условиях высокогорья // Российский физиологический журнал. 2012. № 1. С. 127–136.
7. Новиков В.С., Сороко С.И., Шустов Е.Б. Деадаптационные состояния человека при экстремальных воздействиях и их коррекция. СПб.: Политехника, 2018. 547 с.
8. Джунусова Г.С., Сагаева Н.У., Ибраимов С.Б. Функциональное состояние адаптивных механизмов мозга у горцев Кыргызстана // Медико-физиологические проблемы экологии человека: материалы VII Всероссийской конференции с международным участием. Ульяновск: УлГУ, 2018. С. 101–103.