

УДК: 612.014;612.017;612.275

**Арабова Зулфира Умарджоновна, к.м.н.**

*Кафедра нормальной физиологии ТГМУ им. Абуали ибни Сино, Душанбе*

**Arabova Zulfira Umardjanovna,**

*candidate of medical sciences, senior lecturer, department of normal physiology, avicenna tajik state medical University Abuali ibn Sino, Dushanbe, Tajikistan*

### **ПОКАЗАТЕЛИ ГОМЕОСТАЗА В ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ АДАПТАЦИИ ЧЕЛОВЕКА К ВЫСОКОГОРЬЮ**

**Аннотация.** Обследовано 27 мужчин жителей низкогорья в возрасте 20-22 года в условиях низкогорья, после перемещения их в условия высокогорья и после возвращения в условия низкогорья. Исследования проводили на портативном анализаторе газов и электролитов крови Abbott I-STAT. Отмечено, что парциальное давление и сатурация кислорода в условиях высокогорья снизились, а парциальное давление углекислого газа и pH артериальной крови – увеличились. В процессе реадаптации эти показатели не отличались от полученных до восхождения в горы. Концентрация гемоглобина в условиях высокогорья и в процессе реадаптации увеличился по сравнению с данными, полученных до восхождения в горы. Концентрация  $\text{HCO}_3^-$  и титруемых оснований крови в условиях высокогорья увеличились. В процессе реадаптации концентрация  $\text{HCO}_3^-$  крови остается увеличенной. Концентрация ионов натрия в условиях высокогорья увеличилась, а концентрации ионов калия, кальция и хлора уменьшились. В процессе реадаптации концентрация ионов калия и хлора остается меньше, а концентрация ионов кальция не отличается.

**Ключевые слова:** адаптация, высокогорье, реадаптация, парциальное напряжение и сатурация кислорода, парциальное давление углекислого газа, электролиты.

### **АДАМДЫН БИЙИК ТООЛОРГО АДАПТАЦИЯСЫНЫН НАТЫЙЖАЛУУЛУГУН БААЛООДО ГОМЕОСТАЗДЫН КӨРСӨТКҮЧТӨРҮ**

**Аннотация.** 20-22 жаштагы жапыз тоолуу аймактарда жашаган 27 эркек киши бийик тоолуу аймактарга көчүрүлүп, кайра кайтып келгенден кийин текшерилген. Изилдөөлөр кандын газы жана электролиттерди Abbott I-STAT портативдүү анализаторунда жүргүзүлгөн. Бийик тоолордун шартында кычкылтектин парциалдык басымы жана каныккандыгы төмөндөп, көмүр кычкыл газынын парциалдык басымы жана артерия канынын рНы жогорулаганы белгилениди. Кайра адаптациялоо процессинде бул көрсөткүчтөр тоого чыкканга чейин алынган көрсөткүчтөрдөн айырмаланган эмес. Бийик тоолордун шартында жана реадаптация процессинде гемоглобиндин концентрациясы тоолорго чыгуунун алдында алынган маалыматтар менен салыштырганда жогорулаган Бийик тоодо  $\text{HCO}_3^-$  жана титрленүүчү кан негиздеринин концентрациясы жогорулаган. Кайра адаптациялоо процессинде  $\text{HCO}_3^-$ -кандын концентрациясы жогорулайт.

Бийик тоолуу аймактарда натрий иондорунун концентрациясы жогорулап, калий, кальций жана хлор иондорунун концентрациясы төмөндөгөн. Кайра адаптациялоо процессинде калий жана хлор иондорунун концентрациясы төмөн бойдон калууда, ал эми кальций иондорунун концентрациясы айырмаланбайт

**Негизги сөздөр:** адаптация, бийик тоолор, реадаптация, парциалдык чыңалуу жана кычкылтектин каныккандыгы, көмүр кычкыл газынын парциалдык басымы, электролиттер.

### **INDICATORS OF HOMEOSTASIS IN ASSESSING THE EFFICIENCY OF HUMAN ADAPTATION TO HIGH MOUNTAINS**

**Abstract.** 27 male residents of low mountains aged 20-22 years were examined in low mountains, after moving them to high mountains and after returning to low mountains. The studies were carried out on a portable analyzer of gases and electrolytes of blood Abbott I-STAT. It was noted that the partial pressure

and saturation of oxygen in the conditions of high mountains decreased, and the partial pressure of carbon dioxide and pH of arterial blood increased. In the process of readaptation, these indicators did not differ from those obtained before climbing the mountains. The concentration of hemoglobin in the conditions of high mountains and in the process of readaptation increased in comparison with the data obtained before climbing the mountains. The concentration of HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> and titratable blood bases increased in high altitude conditions. In the process of readaptation, the concentration of HCO<sub>3</sub>-blood remains increased. The concentration of sodium ions in highlands increased and the concentration of potassium, calcium and chlorine ions decreased. In the process of readaptation, the concentration of potassium and chloride ions remains lower, while the concentration of calcium ions does not differ.

**Key words:** adaptation, high mountains, readaptation, partial voltage and saturation of oxygen, partial pressure of carbon dioxide, electrolytes.

В процессе адаптации к комплексу факторов высокогорья отмечается интеграция всех процессов в организме от молекулярного и клеточного уровня до целостного организма. Среди физико-химических показателей организма важнейшее место принадлежит кислотно-основному равновесию крови. От соотношения концентраций в крови катионов водорода и анионов ОН зависят активность ферментов, интенсивность окислительно-восстановительных реакций, процессы расщепления и синтеза белка, окисления углеводов и липидов, чувствительность клеточных рецепторов к медиаторам и гормонам, проницаемость клеточных мембран, физико-химические свойства коллоидных систем клеток и межклеточных структур и многое другое [1, 5]. Другим важным продуктом метаболизма является углекислый газ (CO<sub>2</sub>), который оказывает влияние на концентрацию ионов H<sup>+</sup> – важнейшую характеристику кислотно-основного состояния [3]. Существенную роль в оценке адаптационных возможностей человека к высокогорной гипоксии играют параметры оксигенации артериальной крови людей, к которым относятся парциальное напряжение кислорода, насыщение крови кислородом и концентрация гемоглобина [6]. Изменение концентраций наиболее важных электролитов (калия, натрия, кальция, хлора) в условиях гипоксии значительно осложняет состояние организма, оно также является непосредственной причиной развития или усугубления нарушений кислотно-основного равновесия крови [2, 3, 5]. На сегодняшний день недостаточно изучена динамика основных параметров гомеостаза (парциальное напряжение кислорода и углекислого газа, pH крови, кислотно-основное состояние крови, насыщение крови кислородом (sO<sub>2</sub>), концентрация гемоглобина, изменение элек-

тролитов) в процессе адаптации и реадaptации человека к условиям высокогорья. Изменения концентраций натрия и хлора во внеклеточном пространстве способствуют нарушению водного баланса, что приводит к дегидратации или отеку органов и тканей [2, 3]. Сочетанное исследование уровней электролитов в крови косвенно характеризует состояние водно-электролитного обмена [5]. Среди электролитов особая роль отводится ионам кальция, которые участвуют в поддержании целостности цитоплазматических мембран, регуляции нервно-мышечной проводимости, мышечном сокращении, обеспечении тонуса нейронов, контроле и активации ферментативных процессов.

В связи с вышеизложенным повышение концентрации ионов кальция способствует повреждению многих ферментативных процессов, а при его снижении происходит нарушение функционирования нервно-мышечной системы и процессов минерализации костной ткани.

**Целью исследования** явилось изучение показателей гомеостаза (кислотно – основного состояния, параметры оксигенации и концентрация электролитов артериальной крови) у людей при краткосрочной адаптации к условиям высокогорья и последующей реадaptации.

**Материалы и методы исследования.** Объектом исследования послужили 27 мужчин жителей низкогогорья в возрасте 20-22 года, которым трижды определяли основные показатели гомеостаза: ЖН-1 в условиях низкогогорья (г. Душанбе, высота 840 м над ур.м); ЖН-2 – после перемещения их в условия высокогорья (Сарытаг, высота 2800 м над ур.м) и ЖН-3 – после возвращения в условия низкогогорья (реадaptации). Исследования проводили на портативном анализаторе газов и электролитов крови AbbottI-STAT. Определяли следующие гомео-

статические показатели: концентрацию титруемых оснований – избыток оснований ВЕ, рН, концентрация  $\text{HCO}_3^-$  парциальное давление углекислого газа; оксигенацию артериальной крови (парциальное напряжение кислорода, процентное содержание оксигемоглобина, концентрация гемоглобина), основных электролитов (ионы натрия, калия, хлора и кальция).

Статистический анализ результатов проводили с помощью программы «STATISTICA6.0» (StatSoftInc, США).

**Результаты и их обсуждение.** Результаты кислотно-основного состояния крови от-

ражены в табл. 1. Из таблицы видно, что до восхождения в горы (высота 840 м над ур. м.) рН крови обследуемых был равен  $7,3 \pm 0,08$ , т.е. был ниже нормы и соответствовал состоянию ацидоза (кислая реакция крови). В условиях высокогорья (высота 2800 м над ур. м.) этот показатель увеличился на 2,7% и составил  $7,5 \pm 0,02$  ( $p < 0,05$ ), т.е. был выше нормы и соответствовал состоянию алкалоза (щелочная реакция крови). В процессе реадaptации рН крови был равен  $7,4 \pm 0,01$ , статистически не отличался от показателей,

Таблица 1.

**Показатели кислотно-основного состояния крови в процессе адаптации и реадaptации к условиям высокогорья**

	рН ( $M \pm m$ )	$\text{PCO}_2$ mmHg ( $M \pm m$ )	$\text{HCO}_3^-$ ( $M \pm m$ )	ВЕ ( $M \pm m$ )
ЖН-1	$7,3 \pm 0,08$	$24,6 \pm 1,0$	$16,9 \pm 0,5$	$-6 \pm 0,4$
ЖН-2	$7,5 \pm 0,02$ ( $p < 0,05$ )	$31,45 \pm 0,9$ ( $p < 0,001$ )	$19,7 \pm 0,6$ ( $p < 0,01$ )	$-4 \pm 0,4$ ( $p < 0,05$ )
ЖН-3	$7,4 \pm 0,01$ ( $p > 0,05$ )	$23,4 \pm 0,7$ ( $p > 0,05$ )	$18,1 \pm 0,4$ ( $p < 0,01$ )	$-5 \pm 0,4$ ( $p > 0,05$ )

*Примечание:* р – статистическая значимость различий показателей между всеми группами ( в условиях высокогорья, в период реадaptации)

полученных у испытуемых до восхождения в горы ( $p > 0,05$ ) и соответствовал норме рН крови человека (слабощелочная реакция крови). Парциальное давление углекислого газа ( $\text{PCO}_2$ ) до восхождения в горы составило  $24,6 \pm 1,0$  mmHg. В условиях высокогорья (высота 2800 м) этот показатель увеличился на 28% и составил  $31,45 \pm 0,9$  mmHg ( $p < 0,001$ ). В процессе реадaptации парциальное давление  $\text{PCO}_2$  составило  $23,4 \pm 0,7$  mmHg и статистически не отличалось от показателей, полученных у испытуемых до восхождения в горы ( $p > 0,05$ ). До восхождения в горы концентрация  $\text{HCO}_3^-$  крови обследуемых была равна  $16,9 \pm 0,5$ . В условиях высокогорья (высота 3200 м) этот показатель увеличился на 16,6% и составил  $19,7 \pm 0,6$  ( $p < 0,05$ ). В процессе реадaptации концентрация  $\text{HCO}_3^-$  крови была

равна  $18,1 \pm 0,4$ , статистически отличалась на 7,1% от показателей, полученных у испытуемых до восхождения в горы ( $p < 0,01$ ).

В результате проведенных исследований было выявлено, что до восхождения в горы концентрация титруемых оснований (избыток оснований ВЕ) крови обследуемых была равна  $-6 \pm 0,4$ . В условиях высокогорья этот показатель увеличился на 33% и составил  $-4 \pm 0,4$  ( $p < 0,05$ ). В процессе реадaptации концентрация ВЕ крови была равна  $-5 \pm 0,4$  и статистически не отличалась от показателей, полученных у испытуемых до восхождения в горы ( $p > 0,05$ ).

Результаты показателей оксигенации артериальной крови у людей в процессе адаптации к высокогорью и реадaptации отражены в табл.2

Таблица 2.

**Показатели парциального напряжения кислорода, процентного насыщения оксигемоглобина и количества гемоглобина в процессе адаптации к высокогорью и реадaptации**

	PO <sub>2</sub> mmHg	SO <sub>2</sub> %	Hb %
ЖН-1	79,0±3,4	95±0,6	112,6±1,2
ЖН-2	65,2±2,9 (p < 0,001)	91,9±0,8 (p < 0,001)	135,7±2,2 (p < 0,001)
ЖН-3	79,7±2,9 (p > 0,05)	95,7±0,05 (p > 0,05)	141,0±1,7 (p < 0,001)

*Примечание:* p – статистическая значимость различий показателей между всеми группами ( в условиях высокогорья и реадaptации)

Из таблицы видно, что парциальное напряжение кислорода (PO<sub>2</sub>) до восхождения в горы составило 79,0±3,4 mmHg, в условиях высокогорья этот показатель снизился на 21,2% и составил 65,2±2,9 mmHg (p < 0,001). После возвращения с гор парциальное напряжение кислорода pO<sub>2</sub> составило 79,7±2,9 mmHg и статистически не отличалось от показателей, полученных у испытуемых до восхождения в горы (p > 0,05). Процентное содержание оксигемоглобина (sO<sub>2</sub>) до восхождения в горы составила 95±0,6%, в условиях высокогорья этот показатель снизился на 3,4 % и составил 91,9±0,8% (p < 0,01). После возвращения с гор сатурация кислородом составила 95,7±0,05% и статистически не отличалось от показателей, полученных у испытуемых до восхождения в горы (p < 0,05). Концентрация гемоглобина до восхождения в горы составила 112,6±1,2%. В условиях высокогорья этот показатель увеличился на 20,5% и составил 135,7±2,2% (p < 0,001). После возвращения с гор концентрация гемоглобина составила 141,0±1,7 и статистически отличалась на 25,2% от показателей, полученных у испытуемых до восхождения в горы (p < 0,001).

Пусковой механизм развития гипоксии связан с гипоксемией – снижением содержания кислорода в артериальной крови. Нехватка кислорода стимулирует использование организмом дополнительных, анаэробных источников

энергии – расщепления гликогена до молочной кислоты. Кроме того, возникают неприятности в виде закисления внутренней среды организма молочной кислотой и другими недоокисленными метаболитами. Сдвиг pH еще более ухудшает условия деятельности высокомолекулярных структур, способных функционировать в узком диапазоне pH и быстро теряющих активность при увеличении концентрации гидроксильных (H<sup>+</sup>) ионов.

Дальнейшее понижение кислорода в крови вызывает мобилизацию организмом зрелых эритроцитов, депонированных в селезенке, печени, коже, других органах, и переход их в общий кровоток. При этом количество эритроцитов увеличивается на 15%, соответственно возрастает и вязкость крови. Следует, однако, отметить, что резкое увеличение числа эритроцитов и резкое повышение гемоглобина имеет помимо положительного, компенсаторного еще и отрицательное значение, так как при этом увеличивается вязкость крови, создающая повышенную нагрузку на мышцу сердца.

Показатели основных электролитов в процессе адаптации человека к высокогорью и реадaptации отражены в табл. 3. Из таблицы видно, что до восхождения в горы концентрация ионов натрия составила 133,9 ± 0,9 ммоль/л, в условиях высокогорья этот показатель увеличился на 1,4% и составил 135,7 ± 1,0 ммоль/л (p < 0,05). В процессе реадaptации количество

Таблица 3.

**Показатели ионов калия, натрия, кальция и хлора в процессе адаптации человека к высокогорью и реадаптации**

	Na ммоль/л	K ммоль/л	Ca ммоль/л	Cl ммоль/л
ЖН-1	133,9 ± 0,9	4,4 ± 1,2	0,6 ± 0,1	100,9 ± 2,7 (p < 0,05)
ЖН-2	135,7 ± 1,0	3,7 ± 0,6 (p < 0,01)	0,5 ± 0,1 (p < 0,05)	96,0 ± 2,8
ЖН-3	140,4 ± 0,8 (p < 0,05)	3,9 ± 0,8 (p < 0,01)	0,6 ± 0,1	97,5 ± 4,3 (p < 0,05)

ионов натрия было равно  $140,4 \pm 0,8$  ммоль/л и статистически отличалось на 4,9% от показателей, полученных у испытуемых до восхождения в горы ( $p < 0,05$ ). До восхождения в горы концентрация ионов калия составила  $4,4 \pm 1,2$  ммоль/л, в условиях высокогорья этот показатель уменьшился на 18,9% и составил  $3,7 \pm 0,6$  ммоль/л ( $p < 0,01$ ). В процессе реадаптации количество ионов калия было равно  $3,9 \pm 0,8$  ммоль/л и статистически отличалось на 11,4% от показателей, полученных у испытуемых до восхождения в горы ( $p < 0,01$ ). Концентрация ионов кальция до восхождения в горы составила  $0,6 \pm 0,1$  ммоль/л, в условиях высокогорья этот показатель уменьшился на 12% и составил  $0,5 \pm 0,1$  ммоль/л ( $p < 0,05$ ). В процессе реадаптации количество ионов кальция было равно  $0,6 \pm 0,1$  ммоль/л и статистически не отличалось от показателей, полученных у испытуемых до восхождения в горы. Концентрация ионов хлора до восхождения в горы составила  $100,9 \pm 2,7$  ммоль/л, в условиях высокогорья этот показатель уменьшился на 5,1% и составил  $96,0 \pm 2,8$  ммоль/л ( $p < 0,05$ ). В процессе реадаптации количество ионов хлора было равно  $97,5 \pm 4,3$  ммоль/л и статистически отличалось на 3,5% от показателей, полученных у испытуемых до восхождения в горы ( $p < 0,05$ ).

**Выводы:**

1. Парциальное давление ( $PO_2$ ) и сатурация ( $sO_2$ ) кислорода в условиях высокогорья снизи-

лись ( $p < 0,001$ ), а парциальное давление углекислого газа ( $PCO_2$ ) в условиях высокогорья увеличились ( $p < 0,001$ ). В процессе реадаптации  $PO_2$ ,  $PCO_2$  и  $sO_2$  статистически не отличались от показателей, полученных у испытуемых до восхождения в горы. Концентрация гемоглобина в условиях высокогорья и в процессе реадаптации увеличилась ( $p < 0,001$ ) по сравнению с данными, полученными у испытуемых до восхождения в горы.

2. pH артериальной крови в условиях высокогорья увеличился и соответствовал состоянию алкалоза (щелочная реакция крови). В процессе реадаптации pH соответствовал норме. Концентрация  $HCO_3^-$  и титруемых оснований (избыток оснований ВЕ) крови в условиях высокогорья увеличились ( $p < 0,05$ ). В процессе реадаптации концентрация  $HCO_3^-$  крови остается увеличенной, а концентрация ВЕ крови не отличалась от показателей, полученных у испытуемых до восхождения в горы.

3. Концентрация ионов натрия в условиях высокогорья увеличилась а концентрация ионов калия, кальция и хлора уменьшились ( $p < 0,05$ ). В процессе реадаптации количество ионов натрия было статистически увеличено от показателей, полученных у испытуемых до восхождения в горы, концентрация ионов калия и хлора остается меньше ( $p < 0,05$ ), а концентрация ионов кальция не отличается.

**Список литературы:**

1. Агаджанян Н.А. Функции организма в условиях гипоксии и гиперкапнии / Н. А. Агаджанян, Е. И. Елфимов. – М.: Медицина, 2006. – 272 с
2. Агаджанян, Н.А. Экология человека. Избранные лекции Н.А. Агаджанян, В.И. Торшин. – М., 2004. – 256 с.
3. Айан, А.М. Анализ газов артериальной крови понятным языком / А.М. Айан, А.Д. Хеннеси, А.Д. Джапп. – М: Практическая медицина, 2009. – 140 с.
4. Баевский Р.М. «Физиологическая норма и концепция здоровья». Российский физиологический журнал. – 2003. – Т.89, №4. – С.473-489.
5. Баевский Р.М. К проблеме оценки степени напряжения регуляторных систем организма.- В кн.: Адаптация и проблемы общей патологии. – Новосибирск. – 2008. – т.1. – С.44-48.
6. Дементьева, И.И. Исследование кислотно-основного равновесия / И.И. Дементьева //Клиническая лабораторная лабораторная аналитика под ред. В.В. Меньшикова, 2000. – Т. 3. – С. 349 – 361