

УДК 612+612.091

## ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ РЕАДАПТАЦИИ В УСЛОВИЯХ НИЗКОГОРЬЯ НА ВЫСОТНУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭРИТРОНА БЕЛЫХ КРЫС

А.Г. Зарифьян, Е.М. Бебинов, А.С. Журов

Рассмотрены количественные исследования системы красной крови и устойчивость белых крыс к гипобарической гипоксии в процессе адаптации к горной высоте ( $h = 3200$  м) и последующей кратковременной реадaptации к низкогорью ( $h = 760$  м). Повторная адаптация к высокогорью проведена после более длительной ( $> 20$  дней) реадaptации в низкогорье. Гипоксическая устойчивость при повторной адаптации к большой горной высоте увеличивалась после длительной низкогорной реадaptации, одновременно отмечалось увеличение количества эритроцитов.

*Ключевые слова:* эритроциты; гемоглобин; ретикулоциты; высотный потолок; высокогорье; низкогорье; адаптация; повторная реадaptация; белые крысы.

## ЖАПЫЗ ТООЛУУ ШАРТТАРДА РЕАДАПТАЦИЯНЫН УЗАКТЫГЫНЫН БИЙИКТИК ТУРУКТУУЛУГУНА ТИЙГИЗГЕН ТААСИРИ ЖАНА АК КЕЛЕМИШТЕРДИН ЭРИТРОНДОРУНУН МҮНӨЗДӨМӨСҮ

Тоонун бийиктигине ( $h = 3200$  м) көнүү процессинде жана андан ары кыска убакытка жапыз тоого ( $h = 760$  м) реадaptациялоо шартында ак келемиштердин кызыл кан системасы жана алардын гипобарикалык гипоксияга туруктуулугу изилденди. Узакка созулган ( $> 20$  күн) жапыз тоого реадaptациялоодон кийин бийик тоо шартына кайталап көнүү ишке ашырылды. Узакка созулган жапыз тоого реадaptациялоодон кийин бийик тоо шартына кайталап көнүүдө гипоксиялык туруктуулук жогорулады, ошол эле мезгилде эритроциттердин санынын көбөйүшү белгиленди.

*Түйүндүү сөздөр:* эритроциттер; гемоглобин; ретикулоциттер; бийиктик шыбы; бийик тоо; жапыз тоо; адаптация; кайталап реадaptация; ак келемиштер.

## INFLUENCE OF THE READAPTATION DURATION IN THE CONDITIONS OF LOWLANDS ON THE EXTREME STABILITY AND CHARACTERISTICS OF ERYTHRON ON WHITE RATS

A. G. Zarifyan, E. M. Bebinov, A. S. Zhurov

The work regards the quantitative studies of the red blood system and resistance of the white rats to hypobaric hypoxia during adaptation to mountain altitude ( $h = 3200$  m) and subsequent short-term readaptation to low mountains ( $h = 760$  m). Re-adaptation to the highlands was carried out after a longer ( $> 20$  days) readaptation in the lowlands. Hypoxic resistance in the case of repeated adaptation to a large mountain altitude increased after a long low-level readaptation, at the same time an increase in the number of red blood cells was noted.

*Keywords:* red blood cells; hemoglobin; reticulocytes; high-altitude ceiling; highlands; lowlands; adaptation; repeated readaptation; white rats.

**Актуальность.** В условиях высокогорья организм человека и животных адаптируется к условиям гипоксии, в результате увеличивается количество эритроцитов, значение кислородной емкости крови и величины высотной устойчивости [1, 2]. Различные стороны адаптивных процессов системы эритропоэза изучались исследователями горной физиологии на протяжении многих лет. Однако нельзя оставлять без внимания изменения высотной устойчивости, перестройки которой

говорят об адаптивных возможностях организма в целом [2, 3]. Наряду с глубокой проработкой ряда вопросов горной адаптации, недостаточно изучены особенности морфофункциональных перестроек организма человека и животных, вернувшихся из горной местности на равнину, т. е. в условия низкогорья. Здесь наблюдается процесс реадaptации, характеризующийся активной перестройкой физиологических систем, изучение которых имеет большое теоретическое и прикладное значение.

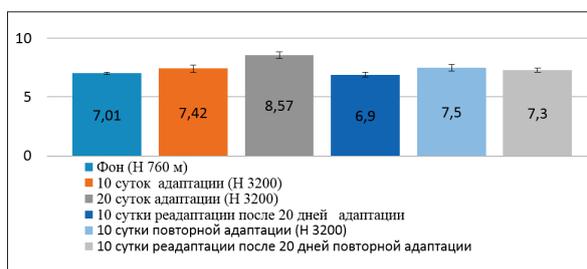


Рисунок 1 – Количество эритроцитов (10<sup>12</sup>/л) в различные сроки адаптации и реадaptации животных

Кроме того, важным, но менее изученным остается вопрос об изменениях в организме, подвергшемся неоднократным подъемам в высокогорную местность и спускам в равнинные условия (повторные адаптации и реадaptации) [3, 4].

В ходе данной работы в горных условиях (низкогорье) было проведено исследование красной крови и измерение высотной устойчивости у животных (белые крысы – самцы, весом 160–180 г, в количестве 70 особей). Содержание эритроцитов у животных, родившихся и постоянно проживающих в условиях низкогорья (h = 760 м над ур. моря), находилось в пределах  $7,01 \pm 0,78 \times 10^{12}/л$ , концентрация гемоглобина оказалась равной  $136,8 \pm 1$  г/л, число ретикулоцитов составило  $9,8 \pm 0,67$  ‰. Рассмотренные данные отражены на рисунках 1–3.

В серии экспериментов гематологического раздела исследований было проанализировано состояние эритронов у крыс, адаптирующихся к высоте 3200 м (перевал Туя-Ашуу) на 1–2-е, 5-е, 10-е, 20-е, 30-е сутки пребывания в горах, а также на 1-е и 20-е сутки после спуска животных в условия низкогорья (760 м, г. Бишкек). Особо следует отметить обнаружение новых закономерностей в динамике гемограммы (красная кровь) у животных, реадaptированных к условиям низкогорья дважды: т. е. после проведения экспериментов в горных условиях и спуска крыс в условия низкогорья был произведен повторный подъем животных на высокогорье. На рисунке 1 вертикальные столбики отражают количество эритроцитов в каждой серии крыс, начиная от средних показателей фона (г. Бишкек), данных адаптационного периода, количество клеток в периоде реадaptации, средних значений при повторной адаптации и в периоде низкогорной реадaptации после повторной адаптации.

На рисунке 2 показана концентрация гемоглобина (г/л) животных. Сроки фоновых измерений, а также адаптации и реадaptации полностью сов-

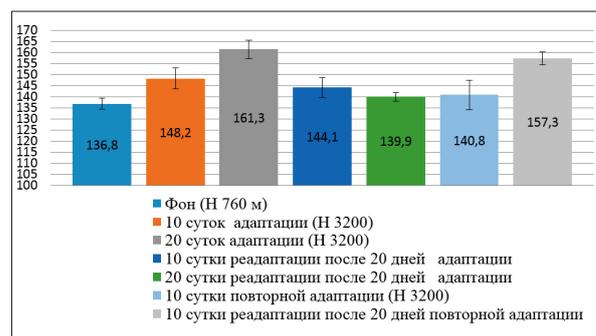


Рисунок 2 – Значения концентрации гемоглобина (г/л) в различные сроки адаптации и реадaptации животных

падают с теми, которые были взяты при подсчёте количества эритроцитов. Фоновые значения показателей красной крови близки к данным, полученным при выполнении настоящей темы на первом этапе горных исследований. Благодаря большому количеству сроков наблюдений, стала отчетливо видна динамика нарастания показателей эритронов в адаптационном периоде. В ходе реадaptации происходит первоначальное резкое снижение количества эритроцитов и концентрации гемоглобина с последующим установлением на уровне, близком к фоновым значениям. Дальнейшие эксперименты с проведением гематологических обследований обнаружили значительный подъем значений эритронов при повторной высокогорной адаптации и их плавное снижение при последующей реадaptации с установлением на уровне, близком к фоновому.

На рисунке 3 отражена динамика количества ретикулоцитов, подсчитанного в сроки, совпадающие с определением других показателей эритронов (эритроциты, гемоглобин). Характерно колебание показателя в фоне и в начальном периоде адаптации без достоверных различий и значительное нарастание к концу месячной адаптации. Наблюдения за реадaptационными изменениями крови крыс после 20 дней горной адаптации показывают, что в первые недели реадaptационного периода наблюдается резкое падение количества клеток с неполным восстановлением до фонового уровня к 10-м суткам адаптации. У животных, адаптированных в течение месяца и затем наблюдаемых в реадaptационном периоде, восстановление количества ретикулоцитов до фонового уровня не отмечается.

В рассматриваемой гематологической части исследования в горных адаптационных экспериментах были выбраны сроки, достаточные для отчетливого проведения наблюдений за реадaptационными сдвигами [1–3]. Крысы, адаптирован-

ные к низкогорью (постоянно проживавшие на высоте 760 м), перемещались на большую высоту. За 20 дней проживания на высоте 3200 метров произошли адаптивные сдвиги в системе эритропоэза, отраженные в достоверных изменениях количества эритроцитов, содержания гемоглобина и нарастании количества ретикулоцитов. Находясь на высоте, животные подвергались влиянию комплекса факторов высокогорья, основным из которых следует считать гипоксическое воздействие. Перемещение крыс в прежние (низкогорные) условия приводило к воздействию более высокого парциального давления кислорода (состояние относительной гипероксии), что постепенно уменьшало интенсивность эритропоэза (отмечалось падение количества эритроцитов, концентрации гемоглобина и снижение числа ретикулоцитов). Стабилизация риадаптационных изменений элементов ряда крови наступает у крыс к концу 4-й недели риадаптации. По-видимому, длительность срока риадаптационных перестроек и стабилизации эритропоэза в низкогорье определяется длительностью высокогорной адаптации.

Для уточнения сдвигов состояния систем жизнеобеспечения, обусловленных введением в ход адаптационного процесса периодов низкогорной риадаптации, повторной высокогорной адаптации и повторной низкогорной риадаптации в исследовании проводилось определение устойчивости животных к острому гипоксическому воздействию (“высотный потолок” – “подъём животных в барокамере до остановки дыхания”).

Показатель высотной устойчивости адекватно отражает состояние адаптивных возможностей организма животных к факторам горного климата. Он является показателем состояния дыхательного центра в условиях острой гипоксии [5–8]. В таблице 1 показано, что в течение первых 10 суток высокогорного пребывания “высотный потолок” значительно возрастает (в низкогорье  $13,8 \pm 0,1$ , а к 10-м суткам –  $14,3 \pm 0,1$ ). К 20-м суткам высокогорной адаптации увеличение потолка достигает  $15,1 \pm 0,1$ . При увеличении срока высокогорной адаптации до 20 суток и последующем наблюдении на 10-е сутки риадаптационного периода отмечается более отчетливое снижение высотной устойчивости. Следующим этапом эксперимента было проведение повторной высокогорной адаптации крыс (т. е. животные завезены в горы повторно после 10 дней риадаптационного периода и наблюдались на 10-е сутки повторного срока пребывания в горах). В этом случае потолок несколько возрастал (на 0,54 км). После 10-суточной повторной адаптации животные вновь наблюдались в риадап-

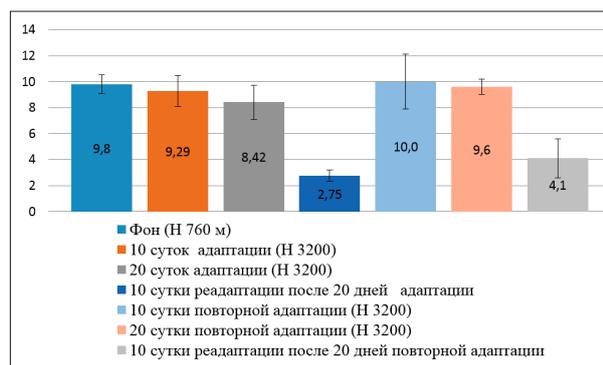


Рисунок 3 – Количество ретикулоцитов (%) в различные сроки адаптации и риадаптации

тационном режиме (10-е сутки повторной риадаптации). В этом случае “высотный потолок” практически не изменился ( $14,1 \pm 0,1$ ). При барокамерном воздействии на 10-е сутки повторной риадаптации после 20 суток высокогорной адаптации отмечается небольшое снижение высотной устойчивости ( $13,9 \pm 0,12$ ). Таким образом, сравнение высотных потолков крыс, полученных в периоде фоновых исследований, на протяжении сроков высокогорной адаптации, низкогорной риадаптации и после вариантов повторной адаптации и риадаптации, позволяет судить о благоприятном влиянии горного климата на систему крови и регуляцию дыхания крыс, пребывавших в горах в течении 20 дней и о неблагоприятном воздействии рассматриваемых режимов адаптационно-риадаптационных перестроек на системы жизнеобеспечения организма (дыхание и эритрон). Поскольку в наших исследованиях динамика красной крови во многом близка динамике высотной устойчивости, то по проявлениям эритрона можно судить и о состоянии устойчивости к острой гипоксии на уровне организма лабораторных крыс. Для стабилизации состояния систем жизнеобеспечения нужны сроки риадаптации длительностью более 20 суток.

Введение дополнительных сроков повторной адаптации и следующей за ней вторичной риадаптации в определённой степени позволило рассмотреть гематологические перестройки организма животных, в определенной степени приближающиеся к динамике изменений, обнаруженных при обследовании альпинистов, находившихся в течение тренировочного периода в режиме неоднократной смены состояния адаптации и риадаптации.

Результаты экспериментов дают основание полагать, что включённые в настоящее исследование 20-дневные периоды адаптации и последующей риадаптации позволили обнаружить

Таблица 1 – Высотная устойчивость крыс в периоде адаптационно-реадаптационных перестроек

Фон (h = 60 м)	10-е сутки адаптации (h = 3200 м)	20-е сутки адаптации (h = 3200 м)	10-е сутки реадaptации (после 20 суток адаптации к h = 3200 м)	10-е сутки повторной адаптации (h = 3200 м)	10-е сутки реадaptации (h = 760 м) после повторной адаптации (h = 3200 м)	10-е сутки реадaptации (h = 760 м) после повторной адаптации (h = 3200 м)
13,8 ± 0,1	14,3 ± 0,1	15,1 ± 0,1	13,9 ± 0,16	13,26 ± 0,15	14,1 ± 0,1	14,1 ± 0,1
P	< 0,05	< 0,05	-	< 0,05	-	-

Примечание. P вычислялось при сравнении с 20-ми сутками первичной адаптации.

зависимость степени изменения эритронов от длительности адаптационного и реадaptационного периодов. Рассматривая результаты реадaptационных (низкогорных) подсчётов элементов эритронов крови крыс, следует подчеркнуть, что имеет место существенное различие между реадaptационными сдвигами показателей животных, перемещённых в горы на 20 дней и затем возвращённых в низкорье (первичная реадaptация), и сдвигами характеристик красной крови крыс, прошедших период повторной 10-дневной горной адаптации и последующей (повторной) реадaptации к низкорью. Так, концентрация гемоглобина составила при первичной реадaptации 144,1 г/л на 10-е сутки, 139,9 г/л на 20-е сутки. При повторной реадaptации на 10-е сутки содержание гемоглобина составило 157,3 г/л (см. рисунок 2).

Подобная же динамика выявляется при подсчёте количества эритроцитов. Количество клеток на 10-е сутки первичной низкогорной реадaptации меняется соответственно указанным срокам ( $6,9 \times 10^{12}/л$  – 10-е сутки). При повторной реадaptации на 10-е сутки –  $7,3 \times 10^{12}/л$ .

Проводя параллель между динамикой гемограммы животных и гипоксической устойчивостью при режимах смены повторной адаптации и реадaptации, можно усмотреть закономерность сохранения более оптимальных показателей эритронов и высотных потолков при длительности реадaptационного периода более 10 суток.

Возможно, что и в человеческих обследованиях может быть выявлена и рекомендована определённая длительность периода нахождения в низкорье альпинистов до следующего восхождения, достаточная для восстановления эритронов, элементов крови [6] и резистентности образований ЦНС, дыхательного центра до оптимального уровня [4–8]. Выявление и соблюдение этого периода должно создать уверенность в готовности организма альпинистов к следующему горному восхождению.

### Литература

1. Зарифьян А.Г. Некоторые особенности динамики элементов красной крови человека и животных в процессе горной реадaptации / А.Г. Зарифьян, Е.М. Бебинов, В.В. Боголюбов, Л.В. Щербак // Вестник КРСУ. 2014. Т. 14. № 4. С. 76–79.
2. Агаджанян Н.А. Горы и резистентность организма / Н.А. Агаджанян, М.М. Мирахимов. М.: Наука, 1970. С. 170.
3. Смирнов В.М. Физиология физического воспитания и спорта: учебник для студ. сред. и высш. учебных заведений / В.М. Смирнов В.И. Дубровский. М.: ВЛАДОС-ПРЕСС, 2002. С. 540–542.
4. Kicken C.H. Hypobaric Hypoxia Causes Elevated Thrombin Generation Mediated by FVII that is Balanced by Decreased Platelet Activation. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29614518> 2018 Apr 3.
5. Кривошеков С.Г. Высокогорная адаптация и физическая работоспособность / С.Г. Кривошеков Т.В. Нешумова, А.А. Розуменко // Физиология человека. 1992. Т. 18. № 1. С. 64–70.
6. Агаджанян Н.А. Резервы организма и экстремальный туризм / Н.А. Агаджанян, А.Н. Кислицын. М., 2002. 302 с.
7. Данияров С.Б. Функциональные особенности реагирования сердечно-сосудистой системы юношей и девушек коренного и некоренного населения Кыргызстана / С.Б. Данияров, Ж.У. Турсукуева // Актуальные вопросы физиологии, морфологии, экспериментальной и клинической патологии организма в климатогеографических условиях Кыргызстана. Бишкек, 1999. С. 37–43.
8. Рябцев С.М. Устойчивость физиологических и психологических функций спортсменов как основа безопасности при занятии альпинизмом / С.М. Рябцев, Т.Н. Васильева // Теория и практика физической культуры. 2007. № 3. С. 54–58.