

В. Г. АМАТУНЯН

АДАПТАЦИЯ ЧЕЛОВЕКА К ВЫСОКОГОРЬЮ МАЛОГО КАВКАЗА (2100 м)

Большой опыт изучения высокогорной физиологии привел к общему заключению, что нет однотипной реакции организма человека, соответствующей определенной высоте над уровнем моря. Тот или иной характер сдвигов определяется целым рядом обстоятельств, связанных с самим организмом и особенностями окружающей среды. Изучение влияния на человека своеобразного и относительно менее сурового климата Малого Кавказа может дать интересный материал для сравнения.

В связи с этим мы предприняли изучение группы здоровых нетренированных лиц, постоянных жителей г. Еревана (900 м) при переезде их на курорт Джермук (2100 м). Исследования проводились на 67 практически здоровых лицах до выезда на курорт в Ереване (900 м) и 4—6 раз в течение 26 дней пребывания на курорте. Помимо клинического изучения и ежедневного наблюдения за ними на курорте изучались вентиляция легких, легочный газообмен, основной обмен (методом Дугласа-Холдэна), парциальное давление газов альвеолярного воздуха, время задержки дыхания; пульс, артериальное и венозное давление, скорость кровотока в условиях основного обмена; оксигеометрия; периферическая кровь. По формуле Стара рассчитывался систолический и минутный обмен крови. Минутный объем дыхания (МОД) приводился к условиям в легких (ВTPS), поглощение O_2 и выделение CO_2 —к стандартным условиям (STPD), коэффициент использования O_2 (КИ O_2) и дыхательный эквивалент по CO_2 (Д. Э. по CO_2) определялись по МОД в ВTPS и показателям газообмена в STPD. Статистический анализ материала производился методом определения достоверности выборочной разности между цифрами, полученными в Джермуке, и исходными данными в Ереване.

Субъективное состояние всех 67 лиц было в Джермуке хорошим, лишь первые 2—5 дней у 6 человек отмечалась небольшая одышка при подъеме по лестнице или в гору. Позднее эти явления проходили полностью. Более того, одышка и мышечная утомляемость при таких же нагрузках после 1 недели пребывания ощущались определенно слабее, чем в Ереване. У немногих (5 чел.) наблюдалась бессонница, слегка возбужденное состояние и колющие боли в области сердца, которые также вскоре проходили.

Как видно из табл. 1, минутный объем дыхания после переезда в высокогорную местность не претерпевает существенных изменений, отмечается лишь тенденция к небольшому увеличению его на 5—6-й день и 7*

снижение к концу пребывания. Отсутствие существенных изменений вентиляции обнаружено и при расчете альвеолярной вентиляции по формуле Бора. Отмечается небольшое, но достоверное учащение дыхания и снижение глубины дыхания. Небольшие изменения вентиляции следуют довольно точно за мало изменяющимися величинами продукции CO_2 . Заметно лишь незначительное преобладание в Джермуке вентиляции легких над выделением CO_2 , более достоверное в конце пребывания, что видно по небольшому увеличению Д. Э. по CO_2 . Последнее согласуется с результатами изучения состава альвеолярного воздуха (45 чел.), показавшими такое же незначительное (на 2 мм Hg) снижение pCO_2 при определении на 25—26-й день, тогда как на 2—3-й день pCO_2 почти повторяет цифру, полученную в Ереване (33,1 против 33,6 мм). PO_2 при этом снижается на 14 мм Hg (74,1 мм вместо 88,2 мм). Отсутствие заметного снижения pCO_2 в альвеолах объясняется тем, что нет существенной гипервентиляции по отношению к продукции CO_2 . Небольшая гипервентиляция к концу пребывания со снижением pCO_2 на 2 мм Hg привела к незначительному увеличению PO_2 на 1 мм Hg (75,1 мм). Такое неодинаковое влияние понижения атмосферного давления на pCO_2 и O_2 является естественным следствием того, что при неизменной вентиляции в ВТРС и газообмена в СТД то же количество молей CO_2 выделяется в альвеолярный воздух, где количество молей O_2 и N_2 , вследствие разряжения, уменьшено. В результате CO_2 в альвеолярном воздухе займет больший объем, а процент его увеличится настолько, насколько уменьшится атмосферное давление. Это не дает измениться pCO_2 . Увеличение процента CO_2 в альвеолах происходит одновременно с соответствующим уменьшением процента O_2 , так как то же количество O_2 поглощается из разряженного воздуха, где его количество в молях уменьшено. Иначе говоря, процент экстракции O_2 из атмосферного воздуха увеличивается. С другой стороны, уменьшение атмосферного давления, помимо pCO_2 , не отражается и на напряжении водяных паров в альвеолярном воздухе (48 мм), поскольку оно зависит только от температуры воздуха, которая в альвеолах постоянная (37°). Поэтому разряжение воздуха при прочих равных условиях сказывается только на PO_2 и газообмене O_2 . По той же причине PO_2 в альвеолярном воздухе с высотой будет падать в большей степени, чем в атмосфере. Гипокапния же развивается только в связи с усилением вентиляции по отношению к продукции CO_2 .

В отличие от вентиляции легких и выделения CO_2 , уровень потребности организма в кислороде закономерно снижается до конца пребывания в Джермуке на 16,3% при невыраженной тенденции к повышению на 5—7-й день. В связи с этим, естественно, KUO_2 постепенно и все более достоверно уменьшается, что свидетельствует об относительной (по отношению к поглощению O_2) гипервентиляции в Джермуке.

Дыхательный коэффициент увеличивается, что было установлено и многими другими исследователями в разных горных условиях и на разных высотах [2, 3, 5]. Отмечается отчетливая связь между изменениями поглощения O_2 и повышением Д. К., так что кривая одного показателя

Газообмен

Таблица 1

Место и время исследования		Число больных	Частота дыхания		МОД		Глубина дыхания		Поглощение O ₂		Выделение CO ₂		ДК		КИО ₂		ДЭ (CO ₂)		Основной обмен		% от долж.
			М	Р<	М	Р<	М	Р<	М	Р<	М	Р<	М	Р<	М	Р<	М	Р<	М	Р<	
Ереван			14,6		4,96		364,6		180,5		139,0		0,775		36,4		3,56		1241		- 8
Джермук	2д.	22	+ 2,4	0,002	- 0,09	0,6	- 72,8	0,01	- 9,7	0,1	- 1,3	0,7	- 0,017	0,5	- 1,4	0,3	+ 0,05	0,7	- 55	0,1	- 10
	5-7д.		+ 2,3	0,01	+ 0,26	0,3	- 48,0	0,1	+ 1,4	0,7	+ 4,6	0,5	- 0,001	0,7	2,1	0,2	+ 0,19	0,2	+ 12	0,7	- 5
	10-15д.		+ 2,2	0,05	+ 0,09	0,8	- 55,8	0,1	- 23,4	0,01	+ 5,6	0,4	0,104	0,01	- 5,0	0,01	+ 0,10	0,3	- 129	0,05	- 12
	25-26д.		- 1,6	0,02	- 0,21	0,3	- 67,2	0,01	- 29,5	0,001	- 10,5	0,05	0,065	0,01	- 5,0	0,001	+ 0,22	0,05	- 184	0,001	- 22

Таблица 2

Гемодинамика и периферическая красная кровь

Место и время исследования		Число больных	Пuls		Максим. давление		Миним. давление		Пulsов. давление		Мин. объем крови		Число больных	% Нв		Эритроциты	
			М	Р<	М	Р<	М	Р<	М	Р<	М	Р<		М	Р<	М	Р<
Ереван			67,6		109,8		69,5		40,3		3,75			78,2		4,119	
Джермук	2д.	30	- 4,2	0,01	+ 3,8	0,05	+ 2,1	0,1	+ 1,7	0,2	- 0,22	0,02	42	+ 8,7	0,001	+ 0,488	0,001
	4-6д.		- 1,53	0,2	- 4,9	0,02	+ 2,3	0,2	+ 2,6	0,05	- 0,03	1,0		+ 8,4	0,001	+ 0,464	0,001
	8-10д.		- 0,43	0,7	- 6,4	0,001	+ 2,8	0,02	+ 3,6	0,02	- 0,02	1,0					
	12-15д.		+ 0,47	0,6	4,8	0,02	+ 2,3	0,1	+ 2,9	0,1	+ 0,06	0,6		+ 5,9	0,001	+ 0,345	0,001
	18-20д.		+ 0,64	0,6	+ 4,4	0,01	+ 2,6	0,2	+ 1,0	0,4	+ 0,04	0,7					
	25-26д.		- 0,26	1,0	+ 5,2	0,01	+ 3,7	0,05	+ 1,5	0,4	- 0,04	0,7		+ 7,8	0,001	+ 0,454	0,001

представляет зеркальное изображение другого. Статистический анализ группы в 22 человека, у которых поглощение O_2 в Джермуке не изменилось, показал отсутствие существенного повышения Д. К. (на $0,003 \pm \pm 0,002$, $p < 0,2$). Очевидно, между количественными изменениями тканевого обмена, заключающимися в уменьшении потребности тканей в O_2 , и качественными изменениями обмена, отраженными в повышении Д. К., существует тесная связь. Ввиду того, что превращение углеводов в жиры и увеличение углеводов в пищевом рационе в Джермуке мало вероятны, мы склонны трактовать увеличение Д. К., как результат относительно повышенного окисления углеводов в тканях по сравнению с жирами.

Таким образом, снижение поглощения O_2 достигается при относительно более высоких значениях выделения CO_2 , поддерживающего более высокую вентиляцию легких при довольно постоянном уровне PCO_2 в организме. Следовательно, принципиальным отличием этой формы тканевой адаптации является направленность ее на поддержание высокого PCO_2 в организме и вентиляции легких, что косвенно улучшает условия газообмена кислорода.

Описанный механизм полезен также тем, что углекислота, как известно, играет большую и весьма многостороннюю роль в регуляции многих функций организма в условиях гипоксии [1, 4, 7, 9, 13, 14, 15, 16, 19]. Особенно интересны работы Л. Л. Шика [19], указывающие на то, что гипоксия вызывает увеличение потребности в O_2 , а прибавление CO_2 к газовой смеси понижает возрастающую потребность в кислороде и тем самым облегчает возможность удовлетворения им организма. Следовательно, есть основание предполагать, что описанная тканевая компенсация pCO_2 является важным условием, делающим возможным снижение потребности организма в O_2 в наших и некоторых других исследованиях газообмена на средних высотах (Тянь-Шань). Эффект увеличения Д. К., таким образом, равносителен прибавлению углекислоты к газовой смеси, бедной кислородом в эксперименте или добавлению углекислоты к кислороду при даче его человеку на высотах.

Основной обмен в Джермуке после I недели пребывания постепенно и достоверно уменьшается. Следует учесть, что уровень основного обмена в Ереване, определявшийся в нашей лаборатории в разные сезоны года, определенно ниже нормы по Гаррису и Бенедикту (в среднем на 5—8%), что видно и из данных таблицы. Несмотря на это, в течение 26 дней в Джермуке основной обмен снижается еще больше, достигая в среднем—22%. Дальнейшая динамика, за которой мы проследили у 5 человек в течение 3 мес., показывает тенденцию к неполному восстановлению. Анализ отдельных случаев показывает, что степень снижения основного обмена заметно больше у лиц с более высоким его исходным уровнем, но оно имеет место и при обмене ниже должных величин на 10—17%. Таким образом, при переезде жителей малых высот (900 м) в высокогорье Малого Кавказа Армении наблюдается отчетливая тканевая фаза адаптации, отмеченная у человека в горах Южн. Америки [22] и на Тянь-Шане [8, 11, 17, 18].

Изучение гемодинамики в условиях основного обмена (табл. 2) показало небольшое урежение пульса, больше в первые дни пребывания, достоверное увеличение максимального давления при сравнительно меньшем увеличении минимального, небольшое увеличение пульсового давления, особенно в первую половину пребывания, с соответствующим небольшим увеличением систолического объема. Минутный объем сердца в связи с урежением пульса практически не меняется, а в первые дни даже снижается (наибольшее урежение пульса). Венное давление при определении в середине пребывания оказалось немного повышенным, а скорость кровотока имеет склонность к небольшому ускорению на отрезке от локтевой вены до языка и в большом круге (магнезиальное время) и замедлению на отрезке легочные капилляры—ухо (оксигеметрически). Следовательно, в наших исследованиях нельзя отметить и усиления циркуляции крови. Напротив, отмечается даже ее некоторое уменьшение при урежении сердечных сокращений и небольшом увеличении пульсового давления и систолического объема крови, что говорит о более экономном режиме сердечной деятельности и некотором повышении сосудистого (артериального и венозного) тонуса. Однако, учитывая то, что между величиной основного обмена и минутным объемом крови существует тесная взаимосвязь и корреляция, надо признать, что при столь явном уменьшении основного обмена циркуляция крови меняется несравненно меньше. В этом можно усмотреть относительное увеличение циркуляции крови, связанное с приспособлением к пониженному pO_2 в крови. На больших высотах обнаруживается и абсолютное, но временное, увеличение минутного объема крови [6, 20, 21, 23].

Изучение периферической крови (ежедневно первые 5 дней, на 12 и 26-й дни пребывания) показало достоверное увеличение гемоглобина и эритроцитов в крови ($P < 0,001$), начиная с 1-го дня по приезде. После 3-го дня отмечается небольшое относительное уменьшение их до середины курса, к концу же пребывания гемоглобин и эритроциты вновь достигают уровня первых дней. Хотя признается, что увеличение гемоглобина и эритроцитов (увеличение кислородной емкости крови) является одним из важных проявлений приспособления к высотам, вместе с тем считается установленным, что оно не обязательно и в части случаев не обнаруживается в горах. В нашем материале отсутствие изменений красной крови наблюдалось только у 4 лиц из 42, что принципиально подтверждает эту точку зрения, но в то же время говорит о большой важности для организма увеличения кислородной емкости крови в горах.

Таким образом, адаптация в условиях высокогорья Армении у жителей малых высот протекает при заметном снижении потребности организма в O_2 , что делает излишним такие механизмы приспособления, как усиление вентиляции и кровообращения, и избавляет от неизбежного уменьшения pCO_2 (гипокапнии) и повышения нагрузки на сердце. Увеличение вентиляции и кровообращения носят лишь относительный характер (по отношению к потребности в O_2), причем в сравнительно более высоком уровне вентиляции (уменьшение KIO_2) существенную роль

играет увеличение Д. К. При таких условиях и при заметном увеличении гемоглобина и эритроцитов в крови высокогорный климат будет оказывать более выраженное лечебное действие вообще и в частности в отношении сердечно-сосудистой системы. Не случайно поэтому определенное улучшение в Джермуке функционального состояния сердца у практически здоровых лиц и больных без выраженного поражения сердца, установленное по данным ЭКГ, БКГ и фазового анализа деятельности сердца.

Несмотря на снижение pO_2 в альвеолярном воздухе на 14 мм Нг и уменьшение времени задержки дыхания (в течение 10 дней с последующим восстановлением) оксигеометрия не показала снижения насыщения артериальной крови O_2 в покое (2—3, 12 и 25-й дни пребывания). При умеренной мышечной нагрузке степень уменьшения насыщения та же, что в Ереване. Это отличает наши данные от приведенных в работе М. Е. Маршака и Т. А. Маевой [10], которые нашли падение насыщения крови O_2 при физической нагрузке средней интенсивности и уменьшении pO_2 во вдыхаемом воздухе, соответствующем высоте 1000—2000 м. По-видимому, объяснение этому, как и своеобразию описанных изменений вообще, лежит в том, что наши исследования проводились на лицах, акклиматизированных к высоте 900—1000 м при перепаде высоты в 1200 м. Имеют значение также и климатические особенности курорта Джермук, отличающиеся большей мягкостью, чем те же высоты Большого Кавказа.

В ы в о д ы

1. Потребность организма в O_2 и основной обмен на высоте 2100 м у жителей средних высот Армении снижаются после небольшого повышения в течение первой недели. Образование в организме CO_2 заметно преобладает над потреблением O_2 .

2. Вентиляция легких (BTPS) в абсолютных величинах не претерпевает существенных изменений при небольшом учащении дыхания, следуя за изменениями продукции CO_2 , что способствует поддержанию постоянного уровня pCO_2 . По отношению же к снижающемуся потреблению O_2 вентиляция легких оказывается избыточной (снижение коэффициента использования O_2), что в известной степени нейтрализует отрицательное влияние разреженного воздуха.

3. Д. К. постепенно повышается в связи со снижением поглощения O_2 , что интерпретируется, как форма тканевой адаптации, направленной на поддержание возможно высокого уровня pCO_2 и вентиляции легких.

4. Артериальное, венное и пульсовое давление в Джермук немного увеличиваются, больше в течение 1 недели, при небольшом урежении пульса и увеличении систолического объема крови. Минутный объем крови (по формуле Стара) при этом не меняется, но отношение его к снижающемуся основному обмену увеличивается.

5. Количество гемоглобина и эритроцитов в крови в Джермуке заметно и закономерно увеличивается в течение всего времени пребывания на курорте.

6. Отсутствие заметной реакции дыхания и кровообращения связывается с весьма выраженным снижением запроса организма в O_2 , что приближает наши данные к полученным в горах Тянь-Шаня.

Ереванский медицинский институт,
кафедра факультетской терапии

Поступило 2.VI 1966 г.

Վ. Գ. ԱՐՍՏԱՌԵՅԱՆ

ՄԱՐԴՈՒ ՀԱՐՄԱՐՈՒՄԸ ՓՈՔՐ ԿՈՎԿԱՍԻ ԲԱՐՁՐԱՎՈՆԱՅԻՆ ՎԱՅՐԻՆ

Ա մ փ ո փ ու լ մ

Աշխատությունը նվիրված է օրգանիզմի հարմարվողական (ադապտացիոն) փոփոխություններին, կապված Նրևան քաղաքից (ծ. մ. 900 մ) դեպի բարձրալեռնային վայրերը (Ջերմուկ, ծ. մ. 2100 մ) տեղափոխման հետ:

Ուսումնասիրությունները ցույց տվեցին, որ թթվածնի կլանումը օրգանիզմի կողմից և հիմնական փոխանակությունը Ջերմուկում իջնում է 16,3%: Փոքերի օդափոխությունը և ածխաթթու գազի արտադրությունը նկատելիորեն չի փոխվում:

Շնչական գործակիցը աստիճանաբար բարձրանում է, որը մեկնաբանվում է իբրև հյուսվածքային հարմարում՝ կապված PCO_2 և թոքերի օդափոխությունը հնարավորին չափ բարձր մակարդակի վրա պահպանելու հետ: Արյան շրջանառությունը Ջերմուկում քիչ է փոխվում և չի համապատասխանում թթվածնի կլանման իջեցման աստիճանին:

Հեմոգլոբինի ու էրիթրոցիտների քանակը բարձրանում է զգալիորեն և օրինաչափ կերպով:

Արտահայտված հյուսվածքային հարմարումը Ջերմուկում և շնչական ու արյան շրջանառության նկատելի փոփոխությունների բացակայությունը Ջերմուկում ու Տյան-Շան լեռներում՝ հարմարվողական պրոցեսների վերաբերյալ ստացված տվյալները մոտեցնում են միմյանց:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Ардашникова Л. А., Аронова Т. Н. Бюлл. эксп. биол. и мед., 7—8, 18, стр. 34, 1944.
2. Аронова Г. Н. О влиянии высокогорного климата на некоторые функции зрения и газообмена. Автореф. дисс., 1946.
3. Байченко И. П. Тр. Эльбрусской экспедиции 1934—1935 гг. АН СССР и ВИЭМ., М.—Л., стр. 351, 1936.
4. Блинова А. М., Аронова Г. Н. Бюлл. эксп. биол. и мед. 17, 4—5, стр. 42, 1944.
5. Быков К. М., Мартинсон Э. Э. Арх. биол. наук, 33, 1—2, стр. 147, 1933.
6. Владимиров Г. Е., Дедюлин И. М., Смирнов К. М. Сб. тр., посвящ. памяти Е. С. Лондона, Медгиз, стр. 66, 1947.

7. Джайлобаев А. Д., Миррахимов М. М. Кн.: Проблемы влияния высокогорья на организм, Фрунзе, стр. 9, 1963.
8. Конради Г. П. Тез. докл. научн. сессии Таджикского Гос. мед. ин-та, Душанбе, 1947.
9. Маршак М. Е., Ардашникова Л. И., Аронова Г. Н., Блинова А. М., Волл М. М. Кн.: К регуляции дыхания кровообращения и газообмена, АМН СССР, стр. 65, 1948.
10. Маршак М. Е., Маева Т. А. Вopr. курортол. и физиотер., 4, стр. 70, 1956.
11. Миррахимов М. М. Об акклиматизации человека к высокогорью Средней Азии. Автореф. докт. диссертации, Л., 1964.
12. Миррахимов М. М., Джайлобаев А. А. Кн.: Проблемы влияния высокогорья на организм. Фрунзе, стр. 15, 1963.
13. Петров И. Р. Бюлл. эксп. биол. и мед., 15, 1—2, стр. 37, 1943.
14. Петров И. Р. Кислородное голодание и борьба с ним. Тр. В. М. А., II, стр. 150, 1947.
15. Серебрянник К. Е. АМН СССР, Рефераты научно-исслед. работ, медикобиол. науки, 7, стр. 56, 1949.
16. Сиротинин Н. Н. Клин. мед., 19, 3, стр. 5, 1941.
17. Слоним А. Д., Понугаева А. Г., Марголина О. И., Руттенбург С. О., Лупинская З. А., Избинская А. Л. Кн.: Опыт изучения регуляторных физиологических функций, АН СССР, стр. 180, 1949.
18. Филатова Л. Г. Исследования по физиологии высотной акклиматизации животных и человека. Фрунзе, 1961.
19. Шик Л. Л. Кн.: Гипоксия. Киев, стр. 46, 1949.
20. Grohman A. Amer. J. Physiol., 93, 1, p. 19, 1930.
21. Loewy A., Wittkower E. The pathology of high altitude climate. London 1937.
22. Monge C. Chronic mountain sickness. Physiol. Rev., 23, p. 166, 1943.
23. Retchel H. Klin. Wschr., 23, 21/26, s. 235, 1944.