

АДАПТИВНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ФУНКЦИИ ВНЕШНЕГО ДЫХАНИЯ ПРИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ВЫСОКОГОРЬЕ

Шаназаров А.С., Чынгышпаев Д.Ш., Айсаева Ш.Ю.

Институт горной физиологии НАН КР
Бишкек, Кыргызская Республика

Резюме. У вахтовых рабочих и военнослужащих при краткосрочной и длительной деятельности в высокогорье (3600 м над ур.м.) исследованы адаптивные перестройки показателей внешнего дыхания, включая соотношение длительности и скорости инспираторных и экспираторных потоков. Показано, что на этапе длительного (1,5 - 2 года) труда на больших высотах адаптационные изменения в системе внешнего дыхания военнослужащих происходит за счет частотных компонентов дыхательного акта, у вахтовиков – при увеличении объемных характеристик паттерна дыхания. В результате у военнослужащих в эти сроки величина дыхательного резерва существенно ниже, чем у вахтовых рабочих.

Ключевые слова: высокогорье, вахтовые рабочие, военнослужащие, внешнее дыхание

БИЙИК ТООДО КЕСИПТИК КЫЗМАТЫНДАГЫ СЫРТКЫ ДЕМ АЛУУНУН ИШ АРАКЕТИНЕ КӨНҮГҮСҮНҮН ӨЗГӨРҮШТӨРҮ Шаназаров А.С., Чынгышпаев Д.Ш., Айсаева Ш.Ю.

Кыргыз Республикасынын Улуттук Илимдер Академиясы бийик тоо физиологиясы институту
Бишкек, Кыргыз Республикасы

Корутунду. Вахталык жумушчулардын жана аскер кызматчылардын бийик тоодо (3600 м) кыска жана узак мөөнөттүү иш аракеттенген кезде сырткы дем алуунун көнүгүү өзгөрүүлөрүнүн көрсөткүчтөрү менен дем алуу жана дем чыгаруу Чон бийиктикте узак мөөнөт (1,5-2 жыл) эмгектенген аскер кызматкелеринин сырткы дем алуу системасындагы көнүгүү өзгөрүүлөрү дем алуунун ылдамдык бөлүгүнүн эсебинен, вахтовиктердики болсо паттерн-дем алуунун көлөмүнүн жогорулоосу аркылуу ишке ашат. Натыйжада, вахтовик жумушчуларга караганда, ушул мөөнөттө аскер кызматкелеринин дем алуу резервинин көлөмү өзгөчө төмөн.

Негизги сөздөр: бийик тоолуу, вахталык жумушчулар, аскер кызматчылар, сырткы дем алуу

THE ADAPTIVE CHANGES OF EXTERNAL BREATHING'S FUNCTION IN PROFESSIONAL ACTIVITY IN HIGH MOUNTAIN

Shanazarov A.S., Chyngyshpaev D.Sh., Aisaeva Sh.Yu.

Institute of Mountain Physiology, National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic
Bishkek, Kyrgyz Republic

Resume. At watch workers and military personnel at short-term and prolonged activity in high mountain (3600 m above sea level) have been researched adaptive alterations of the external breathing parameters including correlation of duration and speed of inspiratory and expiratory capacities. It is shown that on the stage of the prolonged (1,5 – 2 years) work on high altitude adaptation changes in the system of the external breathing of military personnel takes place due to the frequency components of respiratory act, and at watch workers in the increase of volume characteristics of respiratory pattern. As a result of it the military personnel have been significantly less respiratory reserve than the watch workers at the same stage.

Keywords: high mountain, watch workers, military personnel, external breathing

В предыдущей работе нами рассмотрены особенности функциональных психофизиологических состояний у профессионалов (вахтовые рабочие, воинские коллективы) в процессе деятельности в высокогорье. Оценены типы психовегетативного ответа работающих, динамика психофизиологических и психологических характеристик состояния как условия успешности деятельности [1].

Целью настоящего исследования стало изучение системы дыхания с ее механизмами, обеспечивающими газовый обмен в легких, транспорт газов кровью и уровень энергоснабжения организма, которые играют исключительно важную роль в адаптации человека к экстремальным

условиям высокогорья.

Объект и методы. Сравнительные исследования выполнены на высоте 3600 м над ур.м., в которых приняло участие 220 мужчин в возрасте от 25 до 35 лет (в среднем $31 \pm 3,2$). Обследуемый контингент представлял вахтовые (I группа) и воинские (II группа) коллективы, которые длительное время осуществляли профессиональную деятельность в горах и которые находились, во-первых, в одинаковых природно-климатических условиях; во-вторых, в нестандартных социально-бытовых и социально-психологических условиях. Эти коллективы можно рассматривать как некую микропопуляционную форму жизнедеятельности плотных и относительно

замкнутых человеческих групп.

Для исследования функции внешнего дыхания (ФВД) был применен полианализатор ПА5-01, который позволяет оценивать как статистические, так и динамические легочные объемы. В состоянии оперативного покоя проводилось измерение следующих показателей: частоты дыхания (f), минутного объема дыхания (V), дыхательного объема (V_T), времени вдоха (T_i), времени выдоха (T_e), максимальной вентиляции легких (МВЛ), дыхательного коэффициента времени (ДКВ), резерва дыхания (РД). По этим показателям просчитаны объемно-временные параметры [2], характеризующие паттерн дыхания:

T_T - длительность отдельного цикла;

T_i/T_T - доля вдоха в общей длительности цикла, так называемый "полезный цикл";

V_i, V_e - средние скорости инспираторного и экспираторного потоков.

Вычислялись должные величины по общепринятым формулам в системе ВTPS и отношение измеренных величин к должным, в процентах.

Обработка полученного материала проводилась с помощью ППП SPSS 16 версии. Проверку на нормальность распределения проводили с использованием теста Колмогорова-Смирнова. Для сравнения переменных с нормальным распределением использовался тест Стьюдента. Данные представлены как среднее \pm стандартная ошибка.

Результаты исследований и их обсуждение. К настоящему времени доказано, что перемещение человека в условия высокогорья сопровождается изменением большинства основных показателей дыхания: возрастает частота, глубина и минутный объем дыхания, увеличиваются легочные объемы [3, 4].

Считается, что усиление на ранних этапах адаптации к экстремальным условиям высокогорья частотных характеристик дыхания, с последующим преобладанием объемных параметров дыхания, является той адаптационной реакцией организма, которая направлена на поддержание необходимого для гомеостаза уровня PO_2 в альвеолах [5, 6].

В наших исследованиях, при оценке состояния аппарата внешнего дыхания, установлено, что при краткосрочной адаптации к условиям высокогорья, независимо от характера выполняемой деятельности, увеличивается легочная вентиляция. Так, если в контрольных исследованиях ЧД составила $13,4 \pm 0,4$ цикл/мин, то в ранние сроки адаптации у вахтовых рабочих она была $20,0 \pm 0,5$ и у военнослужащих $21,4 \pm 0,6$ цикл/мин. Минутный объем дыхания увеличивается до $15,0 \pm 0,2$ и $15,4 \pm 0,7$ л/мин соответственно. При этом дыхательный объем имел тенденцию к снижению - $0,75 \pm 0,01$ и $0,72 \pm 0,01$ соответственно против $0,78 \pm 0,03$ в контроле (табл.1).

Таблица 1 - Легочные объемы при краткосрочной и длительной адаптации к деятельности в условиях высокогорья

Группы	n	МОД, л/мин	ЧД, цикл/мин	ДО(V_T), л
Контроль	60	$10,4 \pm 0,5$	$13,4 \pm 0,4$	$0,78 \pm 0,03$
Вахтовые рабочие	15 - 30 дней	$15,0 \pm 0,2^*$	$20,0 \pm 0,5^*$	$0,75 \pm 0,01$
	1,5 - 2 года	$14,7 \pm 0,4^*$	$14,7 \pm 0,4^{***}$	$1,00 \pm 0,20$
Военно-служащие	15 - 30 дней	$15,4 \pm 0,7^{***}$	$21,4 \pm 0,6^*$	$0,72 \pm 0,10$
	1,5 - 2 года	$18,3 \pm 0,3^{*****}$	$20,2 \pm 0,3^{***}$	$0,91 \pm 0,20$

* - достоверно по отношению к контролю ($P < 0,05$);

** - достоверно между группами с краткосрочной и длительной адаптацией ($P < 0,05$);

*** - достоверно между группами вахтовых рабочих и военнослужащих при одинаковых сроках адаптации ($P < 0,05$).

Компенсаторное увеличение легочной вентиляции направлено на удержание PO_2 в альвеолах и способствует снижению воздушно-альвеолярного и увеличению

альвеолярно-капиллярного градиента PO_2 [7], улучшению транспорта O_2 через аэрогематический барьер [8].

Здесь следует отметить, что некоторые

авторы критически относятся к тому, что в качестве основного показателя традиционно используется объемная скорость легочной и альвеолярной вентиляции. В частности, по этому поводу Л.Л.Шик [9] пишет: "... из поля зрения исследователей выпадает то основное положение, что дыхательный центр обеспечивает непосредственно не эту интегральную величину, а ее компоненты: глубину и скорость вдоха и выдоха, продолжительность этих фаз дыхательного цикла". Как считает И.С.Бреслав [2], в совокупности объемных и временных параметров, характеризующих структуру дыхательного цикла, т.е. паттерн дыхания, изменяются не только частота дыхания (ЧД) и дыхательный объем (ДО), но и соотношение длительности и скорости инспираторных и экспираторных потоков. Именно эти изменения обеспечивают адекватный уровень легочной вентиляции и характеризуют стратегию дыхания в тех или иных измененных условиях жизнедеятельности.

В связи с этим нами изучены паттерны дыхания вахтовых работников и военнослужащих на этапе краткосрочной (15-30 дней) и длительной (1,5-2 года)

адаптации к деятельности в условиях экстремальной среды гор, результаты которых представлены в таблице 2. Из нее следует, что в контрольных исследованиях дыхательный цикл (T_T) длился 4,47 с, при этом экспираторная фаза (T_e) была длиннее, чем инспираторная (2,59 с против 1,88 с), т.е. отношение времени выдоха ко времени вдоха (ДКВ) составляло 1,38 ед. Доля вдоха в дыхательном цикле (T_i / T_T), так называемый "полезный цикл", составлял 0,42 с (табл. 2).

Средние скорости инспираторного и экспираторного потоков (V_i, V_e), объем легочной вентиляции (МОД) находились в пределах: 0,41 л/с; 0,30 л/с; 10,4 л/мин, соответственно. На фоне таких объемно-временных характеристик паттерна дыхания, резерв дыхания (РД) составил 15,3 усл.ед. (табл.3)

В условиях деятельности на высоте 3600 м паттерны дыхания имели иные объемно-временные соотношения. При этом, при краткосрочной адаптации, независимо от характера выполняемой деятельности, как у вахтовых работников, так и у военнослужащих, отмечалась схожесть в перестройке паттернов дыхания (табл.2).

Таблица 2 - Паттерны дыхания и дыхательный коэффициент при краткосрочной и длительной адаптации к деятельности в условиях высокогорья

Группы	n	T_T , с	T_i , с	T_e , с	T_i/T_T , с	ДКВ, ед
Контроль	60	4,47±0,4	1,88±0,08	2,59±0,10	0,42±0,02	1,38 ± 0,03
Вахтовые рабочие	15 - 30 дней	42 3,00±0,2*	1,58 ± 0,03 *	1,42 ± 0,07 *	0,52±0,01*	0,89 ± 0,02 *
	1,5 - 2 года	30 4,08±0,3**	2,00 ± 0,02 **	2,08 ± 0,03 ***	0,49±0,01***	1,04 ± 0,01 ***
Военно-служащие	15 - 30 дней	50 2,80±0,1*	1,35 ± 0,01 * ***	1,45 ± 0,02 *	0,48±0,02*	1,07 ± 0,03 *
	1,5 - 2 года	48 2,97±0,1****	1,40 ± 0,01 ***	1,57 ± 0,02 ***	0,47±0,01*	0,89 ± 0,01 ***

* - достоверно по отношению к контролю;

** - достоверно между группами с краткосрочной и длительной адаптацией

*** - достоверно между группами вахтовых рабочих и военнослужащих при одинаковых сроках адаптации

В частности, у военнослужащих с целью удовлетворения адекватного кислородного запроса в период краткосрочной адаптации происходило увеличение полезного цикла дыхания (0,48 с против 0,42 с), но достигалось это увеличением частоты дыхания и укорочением фазы выдоха (дыхательный коэффициент времени

составил 1,07 против 1,38 в контроле). Одновременно происходило значительное увеличение скоростей инспираторного и экспираторного потоков (0,53 и 0,49 л/с, против 0,41 и 0,30 л/с).

У вахтовых рабочих в большей степени повышался полезный цикл дыхания (0,52 с против 0,42 с в контроле) при значительно

меньших значениях дыхательного коэффициента времени, чем в контроле и в группе военнослужащих (табл.2).

Таким образом, несмотря на то, что объем легочной вентиляции при кратковременной адаптации повышается, достигается это перестройкой паттернов дыхания, требующей высокой физиологической мобилизации даже в условиях оперативного покоя. Все это сопровождается увеличением энергетических затрат и снижением резервных возможностей дыхательной функции до 8,1 усл.ед у вахтовых рабочих и 7,0 усл.ед. у военнослужащих. К этому следует добавить, что почти у всех обследуемых в начальные сроки адаптации отмечались частые ночные апноэ центрального генеза, связанные с

увеличением роли гипоксического стимула в регуляции дыхания.

При длительной профессиональной деятельности в высокогорье (1,5-2 года) различия между группами вахтовых рабочих и военнослужащих еще более значительны. Высокий объем легочной вентиляции в группе военнослужащих обеспечивается, в первую очередь, усилением частотного компонента дыхательного акта, тогда как в группе вахтовых рабочих эффективность дыхательной функции возрастает, в основном, за счет увеличения объемных характеристик. Величина дыхательного резерва в обеих группах повышается, но более значимо у вахтовых рабочих - 9,8 усл.ед, против 8,3 усл.ед. у военнослужащих (табл.3).

Таблица 3 - Скорости инспираторного и экспираторного потоков и резерв дыхания при краткосрочной и длительной адаптации к деятельности в условиях высокогорья

Группы		n	Vi, л/с	Ve, л/с	РД, усл.ед
Контроль		60	0,41 ± 0,02	0,30 ± 0,01	15,3 ± 0,8
Вахтовые	15 - 30 дней	42	0,47 ± 0,01 *	0,52 ± 0,02 *	8,1 ± 0,4 *
рабочие	1,5 - 2 года	30	0,50 ± 0,02 *	0,48 ± 0,02 *	9,8 ± 0,3 ***
Военно-	15 - 30 дней	50	0,53 ± 0,01 ****	0,49 ± 0,01 *	7,0 ± 0,3 *
служащие	1,5 - 2 года	48	0,64 ± 0,02 *****	0,57 ± 0,01 *****	8,3 ± 0,4 ****

* - достоверно по отношению к контролю;

** - достоверно между группами с краткосрочной и длительной адаптацией

*** - достоверно между группами вахтовых рабочих и военнослужащих при одинаковых сроках адаптации

Известно, что совокупность объемных и временных параметров, характеризующих структуру дыхательного цикла и легочную вентиляцию в целом, т.е. паттерн дыхания, характеризует затраты энергии на обеспечение адекватного уровня легочной вентиляции. По характеру базального паттерна дыхания условно различают тахипноический (относительно частое и неглубокое дыхание), брадипноический (медленное и глубокое дыхание) и нормопноический (промежуточное дыхание) типы. У каждого человека базальный паттерн дыхания и его перестройки под действием таких стимулов, как гиперкапния, гипоксия и мышечные нагрузки носят

довольно постоянный характер. Перестройки при указанных функциональных нагрузках имеют метаболическую природу и вызывают стеновентиляторные изменения паттернов дыхания, заключающиеся в росте легочной вентиляции, в отличие от изовентиляторных, при которых нет изменений со стороны общего уровня вентиляции легких и которые вызываются термическими или механическими нагрузками.

Изменения легочной вентиляции в условиях оперативного покоя у лиц с различными паттернами дыхания, впервые прибывших на различные высоты и осуществляющих профессиональную деятельность в течение краткосрочного

периода (15-30 дней) отображены на рис. 1.

Для лиц брадипноического типа, в основном, характерно учащенное дыхание, в то время, как тахипноики, наряду с учащением, повышают глубину дыхания. Других достоверно значимых изменений в паттернах дыхания в ранние сроки адаптации не выявлено, поскольку

индивидуальные различия во вкладах эластического и неэластического компонентов сопротивления дыханию нивелируются перед лицом экстремального гиперпноэ, которое требует максимальной энергетической оптимизации структуры дыхательного цикла [10].

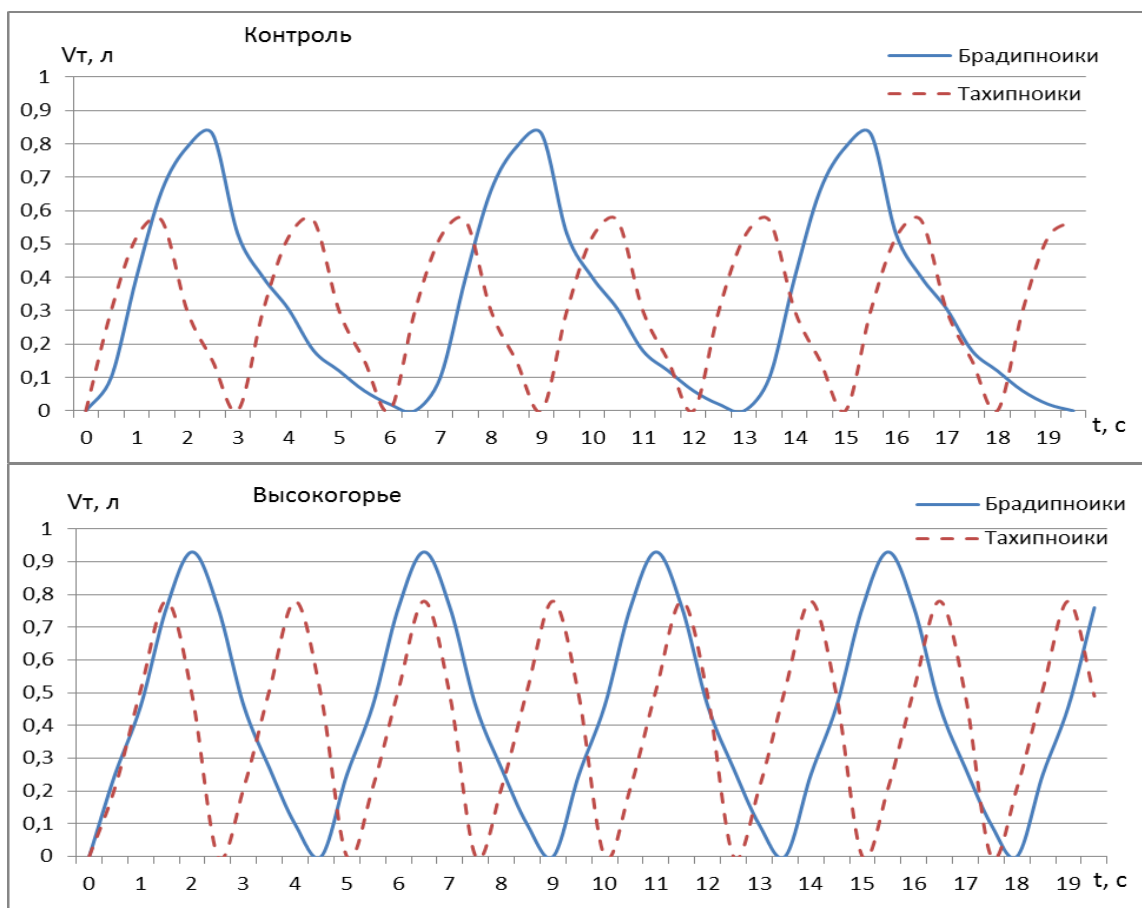


Рис.1. Изменение базальных паттернов дыхания у тахи- и брадипноиков в условиях высокогорной гипоксии (3600 м).

В процессе длительной адаптации в высокогорье в соотношении лиц с различными паттернами дыхания появляются количественные различия (табл.4).

Таблица 4 - Процентное распределение обследуемых по типам паттернов дыхания

Группы	Типы паттернов дыхания, в %				
	n	Нормотонический	Тахипноический	Брадипноический	
15 - 30 дни адаптации		Различия не выявлены			
1,5-2 года	Вахтовые рабочие	30	45	16	39
	Военнослужащие	48	31	36	33

Так, в группе вахтовых рабочих становится больше лиц с нормотоническим и брадипноическим типами (45% и 39%, соответственно), что, вероятно, объясняется естественным отбором и закреплением на

работе лиц с более адекватными реакциями на экстремальные условия. Среди военнослужащих число лиц с нормотоническим (31%) и брадипноическим (33%) паттернами дыхания примерно равное,

тогда как тахипноический тип встречается несколько чаще (36%), по сравнению с вахтовыми рабочими (16%). Полученные данные не противоречат данным литературы по особенностям паттернов дыхания, что обусловлено влиянием того или иного вида спортивной или трудовой деятельности. Так, например, как отмечают спортивные физиологи, спринтеры при мышечной нагрузке преимущественно учащают дыхание, а стайеры увеличивают дыхательный объем [11]. Имеются данные и о том, что для водолазов характерен брадипноический тип дыхания, который, вероятно, способствует облегчению вентиляции легких в условиях высокой плотности газовой среды [2].

Заключение. Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что в обеих группах обследуемых лиц отмечается возрастание объема легочной вентиляции, в сравнении с контрольной группой, независимо от сроков адаптации к деятельности в экстремальных условиях среды. Высокий уровень легочной вентиляции у обследуемых обеспечивается за счет перестроек в паттернах дыхания, при этом в ранние сроки адаптации как у горновахтовых рабочих, так и у военнослужащих, в большей степени это происходит за счет фазных перестроек (укорочение длительностей инспираторного и экспираторного потоков) и увеличения "полезного цикла" дыхания (доля вдоха в общей длительности дыхательного цикла), при возрастании скоростей воздушных потоков на вдохе и выдохе. При длительной адаптации у горновахтовых рабочих перестройки осуществляются за счет увеличения объемных характеристик паттерна дыхания, а у военнослужащих в большей степени за счет частотных компонентов дыхательного акта.

Литература

1. Шаназаров А.С., Мельникова Н.Г. Особенности психофизиологических состояний человека при профессиональной деятельности в высокогорье /Ульяновский медико-биологический журнал. – 2012. № 2. – С. 87-91.
2. Бреслав И.С. Паттерны дыхания. - Л.: Наука. - 1984. - 206 с.
3. Бреслав И.С., Иванов А.С. Дыхание и работоспособность человека в горных условиях (физиологические аспекты высотной гипоксии и гипокапнии). Алма-Ата: Гылым. - 1990. - 184с.
4. Колчинская А.З. Кислород. Физическое состояние. Работоспособность. - Киев: Наукова Думка. - 1991. - 208 с.
5. Hammoud M.D., Gale G.E., Kapitan K.S. et al. Pulmonary gas exchange in humans during normobaric hypoxic exercise // Appl. Physiol. - 1985. - V. 61, N 5. - P. 1749-1757.
6. Агаджанян Н. А., Маркова. И. И. Среда обитания и реактивность организма. - Тверь, 2001. -. 176 с. .
7. Березовский В.А., Серебровская Т.В., Ивашкевич А.А. Некоторые индивидуальные особенности адаптации человека к высоте // Космич. биол. и авиакосмич. мед. - 1987. - Т.21, N 1. - С. 34-37.
8. Серебровская Т.В. Чувствительность к гипоксическому и гиперкапническому стимулу как отражение индивидуальной реактивности человека // Патол. физиология и эксперим. терапия. - 1985. - N 5. - С. 65-69.
9. Шик Л.Л. Руководство по клинической физиологии дыхания. - Л.: Медицина. - 1980. - 209 с.
10. Бреслав И.С., Глебовский В.Д. Регуляция дыхания. - Л.: Наука. - 1981. - 280 с.
11. Шапкайтц Ю.М. Влияние специфики физической деятельности на функцию систем внешнего дыхания и кровообращения: Автореф. дисс. ... докт. мед. наук. - Л., 1980. - 36 с.