

## ХАРАКТЕРИСТИКА ЛЕГОЧНОГО ГАЗООБМЕНА У МОЛОДОГО ПОПОЛНЕНИЯ ВМФ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ

<sup>1</sup>А. Б. Гудков\*, <sup>1</sup>О. Н. Попова, <sup>1</sup>М. Ю. Богданов, <sup>2,3</sup>Ф. А. Щербина

<sup>1</sup>Северный государственный медицинский университет, г. Архангельск, Россия

<sup>2</sup>Мурманский государственный технический университет, г. Мурманск, Россия

<sup>3</sup>Мурманский арктический государственный университет, г. Мурманск, Россия

© Коллектив авторов, 2019 г.

Цель исследования: выявить особенности легочного газообмена и оценить его экономичность в период стадии адаптивного напряжения у военнослужащих при переезде в арктическую зону. Обследованы 36 мужчин 18–20 лет, прибывших в Арктическую зону из южных регионов РФ в учебный центр ВМФ для прохождения воинской службы по призыву. В течение 5 месяцев военнослужащие ежемесячно проходили спирографическое исследование, кроме этого отбирался и анализировался состав выдыхаемого воздуха. Статистическая обработка результатов проводилась с использованием программного обеспечения STATA 12. Установлено, что у новобранцев фактические величины потребления кислорода (ПО<sub>2</sub>) в первые два месяца наблюдения превышали должные значения (225,2±15,9 мл/мин) на 48,3 и 20,5% соответственно (p<0,00–0,01). Однако 3, 4 и 5-й месяцы характеризовались тем, что у них произошло снижение величины ПО<sub>2</sub> соответственно на 4,9; 26,8 (p<0,001) и 29,2% (p<0,001), что сочеталось со сниженными величинами коэффициента использования кислорода (КИО<sub>2</sub>) в этот период. Снижение эффективности вентиляции совпадает с увеличением РО<sub>вид</sub> на 29–35% (p<0,001) и увеличением содержания О<sub>2</sub> в выдыхаемом воздухе. В первые два месяца кислородный эффект одного дыхательного и одного сердечного циклов превышали должные значения соответственно на 43 и 14%, а также на 49 и 21% (p<0,05–0,001), что указывает на сниженную экономичность работы дыхательной и сердечно-сосудистой системы. Таким образом, первые два месяца после приезда новобранцев в Арктическую зону характеризуются значительной интенсификацией окислительного метаболизма, сочетанием достаточно эффективной вентиляции и газообмена и сниженной экономичностью одного дыхательного и одного сердечного циклов.

**Ключевые слова:** морская медицина, Арктика, новобранцы ВМФ, легочной газообмен

## CHARACTERISTICS OF PULMONARY GAS EXCHANGE IN THE YOUNG REPLENISHMENT OF THE NAVY IN THE ARCTIC ZONE

<sup>1</sup>Andrey B. Gudkov\*, <sup>1</sup>Olga N. Popova, <sup>1</sup>Mikhail Yu. Bogdanov, <sup>2,3</sup>Fedor A. Shcherbina

<sup>1</sup>North State Medical University, Arkhangelsk, Russia

<sup>2</sup>Murmansk State Technical University, Murmansk, Russia

<sup>3</sup>Murmansk Arctic State University, Murmansk, Russia

The purpose of the study is to identify the characteristics of pulmonary gas exchange and assess its efficiency during the period of the adaptive voltage stage in the military when moving to the Arctic zone. The survey included 36 men of 18–20 years old who arrived in the Arctic zone from the southern regions of the Russian Federation to the training center of the Navy for military service on conscription. Every month, for 5 months, the servicemen underwent a spirometric study, in addition to this, the composition of exhaled air was selected and analyzed. Statistical processing of the results was carried out using the STATA 12 software. It was established that for recruits, the actual values of oxygen consumption (PO<sub>2</sub>) in the first two months of observation exceeded the proper values (225,2±15,9 ml/min) by 48,3 and 20,5% respectively (p<0,00–0,01). However, 3, 4 and 5 months were characterized by the fact that they had a decrease in PO<sub>2</sub>, respectively, by 4,9; 26,8 (p<0,001) and 29,2% (p<0,001), which was combined with reduced oxygen utilization rates (CIO<sub>2</sub>) during this period. The decrease in ventilation efficiency coincides with an increase in PO<sub>vid</sub> by 29–35% (p<0,001) and an increase in the O<sub>2</sub> content in the exhaled air. In the first two months, the oxygen effect of one respiratory and one cardiac cycle exceeded the proper values by 43 and 14%, respectively, and by 49 and 21% (p<0,05–0,001), which indicates a reduced efficiency of the respiratory and cardiovascular system. Thus, the first two months after the arrival of recruits to the Arctic zone are characterized by a significant intensi-

fication of oxidative metabolism, a combination of sufficiently effective ventilation and gas exchange and reduced efficiency of one respiratory and one cardiac cycles.

**Key words:** marine medicine, the Arctic, recruits of the Navy, pulmonary gas exchange

**Для цитирования:** Гудков А. Б., Попова О. Н., Богданов М. Ю., Щербина Ф. А. Характеристика легочного газообмена у молодого пополнения ВМФ в Арктической зоне // *Морская медицина*. 2019. № 2. С. 71–75, DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2413-5747-2019-5-2-71-75>.

В настоящее время инструментом реализации долгосрочных задач национальной морской политики Российской Федерации является укрепление морского потенциала, к важной составляющей которого относится Военно-Морской Флот [1, с. 10]. Для решения вопросов кадрового обеспечения ВМФ на одном из главных региональных направлений — Арктическом, необходимо привлекать военнослужащих из других географических регионов.

В рамках экологической физиологии известно, что переезд человека в неблагоприятные природно-климатические северные условия, а особенно в арктические, с их элементами экстремальности, приводит на начальном периоде адаптационного процесса к изменениям во многих функциональных системах организма [2, с. 16–18; 3, с. 39; 4, с. 104–111]. При этом дыхательной системе отводится особая роль в обеспечении организма кислородом для поддержания соответствующего уровня окислительно-восстановительных процессов, кислотно-основного баланса и участия в физической терморегуляции [5, с. 8; 6, с. 32; 7, с. 10–15].

В связи с этим установление характера некоторых компенсаторно-приспособительных реакций системы дыхания, направленных на уравнивание с внешней средой на стадии адаптивного напряжения [8, с. 355–361] (первые 2–6 мес) у новоселов Арктики, имеет важное научное и практическое значение, что и послужило побудительным мотивом для проведения данного исследования.

**Цель исследования:** выявить особенности легочного газообмена и оценить его экономичность в период стадии адаптивного напряжения у военнослужащих при переезде в арктическую зону.

**Материалы и методы.** Под наблюдением находились 36 мужчин 18–20 лет, прибывших в арктическую зону из южных регионов РФ в учебный центр ВМФ для прохождения воинской службы по призыву. Ежемесячно, в течение 5 месяцев, военнослужащие проходили

спирографическое исследование (спирограф СТ-2), которое осуществлялось при дыхании атмосферным воздухом в положении обследуемого сидя, кроме этого отбирался и анализировался состав выдыхаемого воздуха (газоанализатор ПГА-200). Определяли минутный объем дыхания (МОД), резервный объем вдоха (РОВд), резервный объем выдоха (РОВвд), потребление кислорода ( $PO_2$ ), минутное выделение углекислого газа ( $BCO_2$ ), коэффициент использования кислорода (КИО<sub>2</sub>), экономичность одного дыхательного ( $O_2RC$ ) и одного сердечного ( $O_2CC$ ) цикла.

Показатели вентиляции (МОД) и легочные объемы (РОВд, РОВвд) приводились к условиям организма (ВTPS), а величины  $PO_2$  и  $BCO_2$  — к стандартным условиям исследования (STPD). Полученные фактические величины сравнивались с должными.

При помощи теста Шапиро–Уилк ( $n < 50$ ) определялся тип распределения количественных данных. В связи с тем, что распределение данных не отличалось от нормального, то для их описания использованы средняя арифметическая ( $M$ ) и стандартное отклонение ( $s$ ). Для сравнения средних значений в зависимых выборках использовался однофакторный дисперсионный анализ повторных измерений и парный критерий Стьюдента. За критический уровень статистической значимости принималось значение  $p$ , равное 0,05. Статистическая обработка результатов проводилась с использованием программного обеспечения STATA 12.

**Результаты и их обсуждение.** Приезд в арктическую зону вызвал у военнослужащих значительные изменения со стороны показателей легочного газообмена (таблица).

Известно, что одним из самых важным показателей, характеризующих обмен газов между альвеолярным воздухом и кровью легочных капилляров, является величина  $PO_2$ . Анализ полученных у военнослужащих результатов показал, что фактические величины  $PO_2$  в первые два месяца наблюдения превышали долж-

Таблица

**Показатели вентиляции, легочных объемов, легочного газообмена и его экономичность у молодого пополнения (n=36) (M±s)**

Table

**Indicators of ventilation, pulmonary volumes, pulmonary gas exchange and its efficiency in young replenishment (M±s)**

Показатель	Период обследования, мес.				
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й
МОД, л/мин	11,5±3,7***	13,5±4,3***	13,1±4,3***	11,8±3,8***	11,9±2,9***
РОВд, л	2,44±0,61***	2,44±0,44***	2,41±0,58**	2,67±0,5***	**2,88±0,5***
РОВыд, л	1,47±0,36	***1,77±0,36***	***1,9±0,48***	***1,98±0,55***	***1,99±0,52***
ПО <sub>2</sub> , мл/мин	378,8±60,4***	307,7±58,2**	**242,8±59,8	***186,8±56,1***	***180,9±59,9***
КИО <sub>2</sub> , мл/л	36,8±9,9	***25,6±7,6	***20,5±6,2	***16,2±4,9	***16,8±4,9
FeO <sub>2</sub> , %	17,1±0,95	***18,2±0,99	***18,4±0,77	***18,8±0,78	***18,7±0,56
FeCO <sub>2</sub> , %	3,44±0,74	2,79±1,15	3,52±0,41	3,30±0,52	3,47±0,26
BCO <sub>2</sub> , мл/мин	321,3±68,6	338,9±163,4	***421,9±155,4	366,6±145,3	*377,7±93,4
O <sub>2</sub> RC, мл	23,9±7,1***	19,1±5,8	***13,5±3,57	***9,6±3,2***	***10,4±3,1**
O <sub>2</sub> CC, мл	5,39±1,43***	4,39±1,37*	***3,48±1,14	***2,72±0,90***	***2,56±0,81***

Примечание. Звездочками справа обозначены достоверные отличия фактических величин по сравнению с должными, слева — по сравнению с первым месяцем наблюдения: \* p<0,05; \*\* p<0,01; \*\*\* p<0,001.

ные значения (225,2±15,9 мл/мин) на 48,3 и 20,5% соответственно (p<0,00–0,01). Поскольку показатель ПО<sub>2</sub> отражает не столько состояние внешнего дыхания, сколько особенности обменных процессов в организме, то можно заключить, что у молодого пополнения первые два месяца пребывания в арктических условиях характеризуются значительной интенсификацией окислительного метаболизма.

Привлекает внимание тот факт, что повышенная потребность в кислороде в этот период обеспечивалась сочетанием достаточно эффективной вентиляции и газообмена, на что указывает величина КИО<sub>2</sub>, которая, как известно, зависит от условий диффузии кислорода, объема альвеолярной вентиляции и совершенства координации между легочной вентиляцией и кровообращением в малом круге.

Однако 3, 4 и 5-й месяцы пребывания военнослужащих в Арктике характеризовались тем, что у них произошло уменьшение величины ПО<sub>2</sub> по отношению к должным соответственно на 4,9; 26,8 (p<0,001) и 29,2% (p<0,001). Снижение уровня потребления кислорода в покое ниже 85% от должного предложено обозначать как состояние гипометаболизма, что проявляется относительным уменьшением энергозатрат в покое. Феномен гипометаболизма у северян подробно проанализирован О. В. Гришиным [9, с. 33–41], который установил, что по мере увеличения продолжительности проживания на Севере встречаемость гипометаболизма у ра-

бочих строителей в зимнее время года возрастает на стадии устойчивой адаптации в среднем на 4% в год.

При анализе полученных результатов у военнослужащих установлено, что пониженное по сравнению с должными значение ПО<sub>2</sub> на 3, 4 и 5-м месяце сочетается у них со сниженными величинами КИО<sub>2</sub>, что указывает на уменьшение эффективности вентиляции легких. Обращает внимание, что снижение эффективности вентиляции совпадает с увеличением РОВыд на 29–35% (p<0,001) по сравнению с первым месяцем пребывания их в Арктике.

Следует заметить, что величина РОВд возросла всего на 18% (p<0,01), и если РОВыд увеличился у военнослужащих со второго месяца пребывания в Арктике (p<0,001), то РОВд — лишь в 5-м месяце (p<0,01).

Как известно, величина РОВд и РОВыд тесно связана с размерами тела и ЖЕЛ. В то же время общепризнано, что величина РОВыд, который участвует в формировании функциональной остаточной емкости легких, более важна для стабилизации дыхания, чем значение РОВд [10, с. 5–10]. Кроме этого следует отметить, что более раннее и более значительное увеличение РОВыд у молодого пополнения способствует демпфированию различных возмущений среды, например температурных и влажностных характеристик.

Увеличение сначала РОВыд, а затем РОВд, вероятно, является фактором, способствующим

уменьшению респираторных теплопотерь при дыхании, так как в этом случае у приезжих повышается уровень дыхания (отношение  $PO_{вд}/PO_{вд}$ ). Повышение уровня дыхания отражает перераспределение функциональной нагрузки между нижними, средними и верхними отделами легких. При этом больше используются функциональные резервы средних и верхних отделов легких, однако такое перераспределение, вероятно, будет сопровождаться увеличением неравномерности вентиляционно-перфузионных соотношений, так как известно, что смещение уровня дыхания в инспираторную область и увеличение  $PO_{вд}$  больше 130% должного указывают на повышенную воздушность респираторных отделов легких [7, с. 58–59].

Можно предположить, что повышение воздушности легких, к которому привело возрастание  $PO_{вд}$ , увеличило длину пробега молекул в ацинусах, что и вызвало замедление газообмена. В связи с этим сохранение массопереноса кислорода на необходимом уровне должно обеспечиваться возрастанием МОД, что и наблюдалось у обследованных, поскольку меньшая утилизация кислорода в легких предполагает относительно более высокую величину легочной вентиляции по отношению к наблюдаемому в данный момент потреблению кислорода.

На снижение эффективности легочной вентиляции у молодого пополнения на 3, 4 и 5-м месяце службы косвенно указывает и содержание  $O_2$  в выдыхаемом воздухе, которое в динамике 5-месячного наблюдения увеличилось. Содержание  $CO_2$  в выдыхаемом воздухе в течение 5 месяцев изменилось незначительно, однако величина  $BCO_2$  возросла ( $p < 0,05–0,001$ ) за счет увеличения МОД.

С целью оценки динамики экономичности кислородных режимов у новобранцев проанализированы показатели  $O_2RC$  и  $O_2CC$ . В первые два месяца пребывания молодого пополнения в Арктической зоне кислородные эффекты од-

ного дыхательного и одного сердечного циклов превышали должные значения соответственно на 43 и 14%, а также на 49 и 21% ( $p < 0,05–0,001$ ), что указывает на сниженную экономичность работы дыхательной и сердечно-сосудистой системы, поскольку организму на выполнение одного дыхательного и одного сердечного циклов в условиях покоя требовалось затрачивать большее количество энергии. Затем показатели  $O_2RC$  и  $O_2CC$  стали уменьшаться, и на 3-й месяц наблюдения их величины достигли значений должных, а на 4-м и 5-м месяце были ниже должных ( $p < 0,001$ ), что свидетельствует о возрастании экономичности кислородных режимов организма в первом звене — общей легочной вентиляции. Таким образом, при анализе показателей газообмена установлено, что в конце стадии адаптивного напряжения у молодого пополнения экономичность кислородных режимов возрастает.

#### Выводы.

1. Первые два месяца после приезда новобранцев в Арктическую зону характеризуются значительной интенсификацией окислительного метаболизма, сочетанием достаточно эффективной вентиляции и газообмена и сниженной экономичностью одного дыхательного и одного сердечного циклов.

2. После переезда в Арктическую зону у новобранцев в рамках компенсаторно-приспособительных реакций изменяются динамические и статические легочные объемы: увеличены МОД ( $p < 0,001$ ),  $PO_{вд}$  ( $p < 0,01$ ),  $PO_{вд}$  ( $p < 0,001$ ), что указывает на элементы скрытых функциональных нарушений, ограничивающих резервы дыхательной системы.

3. При разработке для новобранцев мероприятий, направленных на облегчение процессов адаптации к новым природно-климатическим условиям, необходимо учитывать, что наиболее напряженным периодом для функционирования системы внешнего дыхания являются первые два месяца после переезда.

#### Литература/References

1. Мосягин И.Г. Бойко И.М. Концептуальные подходы к развитию морской медицины на атлантическом региональном направлении национальной морской политики Российской Федерации // *Морская медицина*. 2018. № 3. С. 7–14. [Mosyagin I.G. Bojko I.M. Conceptual approaches to the development of marine medicine in the Atlantic regional direction of the national marine policy of the Russian Federation // *Marine medicine*. 2018. No. 3. pp. 7–14 (In Russ.)]. DOI: <http://dx.doi.org/10.22328/2413-5747-2018-4-3-7-25>.
2. Кубушка О.Н., Гудков А.Б., Лабутин Н.Ю. Некоторые реакции кардиореспираторной системы у молодых лиц трудоспособного возраста на стадии адаптивного напряжения при переезде на Север // *Экология человека*. 2004. № 5.

- C. 16–18 [Kubushka O.N., Gudkov A.B., Labutin N.Yu. Some reactions of the cardiorespiratory system in young people of working age at the stage of adaptive stress when moving to the North. *Human Ecology*, 2004, No. 5, pp. 16–18 (In Russ.)].
3. Гудков А.Б., Небученных А.А., Попова О.Н. Показатели деятельности сердечно-сосудистой системы у военнослужащих учебного центра военно-морского флота России в условиях Европейского Севера // *Экология человека*. 2008. № 1. С. 39–43. [Gudkov A.B., Nebuchennyh A.A., Popova O.N. Indicators of the cardiovascular system in the military training center of the Russian Navy in the European North. *Human Ecology*, 2008, No. 1, pp. 39–43 (In Russ.)].
4. Теддер Ю.Р., Гудков А.Б., Дёгтева Г.Н., Симонова Н.Н. *Актуальные вопросы физиологии и психологии вахтового труда в Заполярье*. Архангельск, 1996. 127 с. [Tedder Yu.R., Gudkov A.B., Dyogteva G.N., Simonova N.N. *Topical issues of physiology and psychology of shift work in the Arctic*, Arkhangelsk, 1996, 127 p. (In Russ.)].
5. Сарычев А.С., Гудков А.Б., Попова О.Н. Компенсаторно-приспособительные реакции внешнего дыхания у нефтяников в динамике экспедиционного режима труда в Заполярье // *Экология человека*. 2011. № 3. С. 7–13. [Sarychev A.S., Gudkov A.B., Popova O.N. Compensatory-adaptive reaction of external respiration of oil workers in the dynamics of the expedition mode of work in the Arctic. *Human Ecology*, 2011, No. 3, pp. 7–13. (In Russ.)].
6. Попова О.Н., Глебова Н.А., Гудков А.Б. Компенсаторно-приспособительная перестройка системы внешнего дыхания у жителей Крайнего Севера // *Экология человека*. 2008. № 10. С. 31–33. [Popova O.N., Glebova N.A., Gudkov A.B. Compensatory-adaptive restructuring of the respiratory system in the Far North. *Human Ecology*, 2008, No. 10, pp. 31–33. (In Russ.)].
7. Шишкин Г.С., Устюжанинова Н.В. *Функциональные состояния внешнего дыхания здорового человека*. Новосибирск: Изд-во СО РАН. 2012. 329 с. [Shishkin G.S., Ustyuzhaninova N.V. *Functional States of external respiration of a healthy person*. Novosibirsk: Publishing house SB RAS, 2012, 329 p. (In Russ.)].
8. Авцын А.П., Жаворонков А.А., Марачев А.Г., Милованов А.П. *Патология человека на Севере*. М.: Медицина, 1985. 416 с. [Avcyn A.P., Zhavoronkov A.A., Marachev A.G., Milovanov A.P. *Human pathology in the North*. Moscow: Izdatel'stvo Medicine, 1985, 416 p. (In Russ.)].
9. Гришин О.В. Адаптивный гипометаболизм у человека // *Вестник РАМН*. 2011. № 11. С. 33–41 [Grishin O.V. Adaptive hypometabolism in man. *Bulletin RAMN*, 2011, No. 11, pp. 33–41 (In Russ.)].
10. Агаджанян Н.А. Экологическая физиология: проблема адаптации и стратегия выживания // *Экологические проблемы адаптации*: материалы X Междунар. симп. М., 2001. С. 5–10 [Agadzhanyan N.A. *Environmental physiology: the problem of adaptation and survival strategy*. Environmental problems of adaptation: materialy X International. SIMP. Moscow, 2001, pp. 5–10. (In Russ.)].

Поступила в редакцию / Received by the Editor: 13.05.2019 г.

Контакт: Гудков Андрей Борисович, gudkovab@nsmu.ru

#### Сведения об авторах:

Гудков Андрей Борисович — доктор медицинских наук, профессор, заслуженный работник высшей школы РФ, заведующий кафедрой гигиены и медицинской экологии Северного государственного медицинского университета; 163000, Архангельск, Троицкий пр., д. 51; тел.: 8 (8182) 21–50–93; e-mail: gudkovab@nsmu.ru;

Попова Ольга Николаевна — доктор медицинских наук, доцент, профессор кафедры гигиены и медицинской экологии Северного государственного медицинского университета; 163000, Архангельск, Троицкий пр., д. 51; тел.: 8 (8182) 21-50-93; e-mail: popovaon@nsmu.ru;

Богданов Михаил Юрьевич — младший научный сотрудник центральной научно-исследовательской лаборатории Северного государственного медицинского университета; 163000, Архангельск, Троицкий пр., д. 51; тел.: 8 (8182) 28-62-82; e-mail: corbie@list.ru;

Щербина Фёдор Александрович — доктор биологических наук, кандидат медицинских наук, профессор кафедры физического воспитания, спорта и безопасности жизнедеятельности Мурманского арктического государственного университета, профессор кафедры физического воспитания и спорта Мурманского государственного технического университета; 183010, Мурманск, Спортивная ул., д. 13; тел.: 8 (8152) 40-32-01; e-mail: runner-man@mail.ru.