

УДК [612.2:613.13]-057.36(1-922)

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ ВНЕШНЕГО ДЫХАНИЯ ВОЕННОСЛУЖАЩИХ В АРКТИКЕ В КОНТРАСТНЫЕ СЕЗОНЫ ГОДА

© 2014 г. ^{1,3}А. Б. Гудков, ²С. П. Ермолин,
^{1,3}О. Н. Попова, ¹А. С. Сарычев

¹Северный государственный медицинский университет,

²ПУ ФСБ России по Архангельской области,

³Институт медико-биологических исследований САФУ

имени М. В. Ломоносова, г. Архангельск

На современном этапе арктический регион Земли становится одним из центров пересечения геостратегических интересов и выстраивания новой системы обеспечения глобальной и региональной безопасности. Одной из ключевых задач государственной политики Российской Федерации в Арктике является изучение влияния экстремальных факторов окружающей среды на человека, разработка требований по охране здоровья населения, обоснование комплекса мероприятий, направленных на оздоровление среды обитания населения и профилактику заболеваний [9, 13].

Известно, что организм человека в условиях высоких широт подвергается воздействию целого ряда неблагоприятных климатических факторов, как неспецифических (холод, высокая относительная и низкая абсолютная влажность воздуха, тяжёлый аэродинамический режим), так и специфических (изменение фотопериодизма, колебания атмосферного давления, факторы электромагнитной природы) [5, 12]. Холод среди них рассматривается как наиболее важный [3, 11, 13]. Считается, что влияние специфических климатических факторов Севера практически не блокируются социальными и другими мерами защиты [11].

В этой связи, несмотря на очевидный и значительный прогресс систем жизнеобеспечения, защищающих от неблагоприятных климатических условий северных территорий, до сих пор одной из самых уязвимых систем организма человека остается дыхательная система, особенно на этапе внешнего дыхания [4, 8, 10, 15].

На сегодняшний день известны результаты исследования по выявлению воздействия природно-климатических факторов арктической среды на состояние внешнего дыхания в контрастные сезоны года на широте 68°58' с. ш., 33°05' в. д. (г. Мурманск) [7, 16]. Настоящее исследование проведено в самой северной точке территории Российской Федерации, в условиях которой проживают и выполняют служебные задачи военнослужащие, — на острове Земля Александры, архипелаг Земля Франца-Иосифа (80°04' с. ш., 47°05' в. д.).

Цель работы — выявить особенности функции внешнего дыхания в периоды полярной ночи и полярного дня у молодых мужчин, проходящих военную службу в арктической зоне Российской Федерации.

Методы

Основу настоящего исследования составили выполненные в полевых условиях динамические наблюдения за военнослужащими на острове Земля Александры. Обследовались одни и те же 20 мужчин в возрасте от 21 до 36 лет в ноябре — декабре (период полярной ночи) и в июле — августе (период полярного дня).

Спирометрические измерения проводились в первой половине дня при дыхании атмосферным воздухом в условиях температурного

В статье представлены результаты спирометрического обследования, проведённого в контрастные сезоны года у одних и тех же 20 военнослужащих на архипелаге Земля Франца-Иосифа (80°04' с. ш., 47°05' в. д.). Установлено, что жизненная емкость легких (ЖЕЛ) у обследованных в период полярной ночи увеличивается на 26,6 % по сравнению с этой величиной в период полярного дня ($p = 0,001$). Фракционный анализ ЖЕЛ выявил, что в полярную ночь повышается резервный объем выдоха на 21,4 % по сравнению с таковым в полярный день ($p = 0,006$), а резервный объем вдоха и дыхательный объем не имеют статистически значимых сезонных различий. Потребление кислорода в полярную ночь на 16,6 % выше, чем в полярный день ($p = 0,015$). Расчет величин одного дыхательного и одного сердечного циклов у военнослужащих показал статистически значимое повышение их в полярную ночь по сравнению с величинами полярного дня ($p = 0,002$ и $p = 0,005$ соответственно).

Ключевые слова: Арктика, военнослужащие, внешнее дыхание, полярная ночь, полярный день

комфорта и относительного покоя в положении сидя, через 1,5–2 часа после принятия пищи, после 20-минутного отдыха. Обследование контингента осуществлялось с соблюдением этических норм, изложенных в Хельсинкской декларации и директивах Европейского сообщества (8/609 ЕС).

Для определения функционального состояния системы внешнего дыхания у военнослужащих использовался метод спирометрии. С этой целью применялся спирограф микропроцессорный портативный СМП-21/01-«РД», обеспечивающий приведение измеренных и вычисленных объемных и скоростных показателей к стандартным газовым условиям (ВТРС). При подготовке к обследованию военнослужащие были ознакомлены с применяемой аппаратурой. Кроме того, отбирался выдыхаемый воздух, анализировался его состав газоанализатором ПГА-200 для последующего расчета показателей газообмена, которые приводились к системе STPD, определялось насыщение артериальной крови кислородом (S_pO_2) при помощи электронного пульсового оксиметра ОХ-700.

В выдыхаемом воздухе определялось содержание кислорода (FeO_2), углекислого газа ($FeCO_2$), рассчитывались потребление кислорода (PO_2), коэффициент использования кислорода (KIO_2), кислородный эффект одного дыхательного (O_{2RC}) и одного сердечного (O_{2CC}) циклов.

Анализ полученных результатов исследования проводился с помощью статистического пакета SPSS 13.0. В связи с малым размером выборки было принято считать распределение данных отличающимся от нормального [17], использовался дисперсионный анализ по Фридману, для попарных сравнений – критерий Вилкоксона с поправкой Бенферрони. Результаты обработки данных представлялись в виде медианы (Md), первого (Q_1) и третьего (Q_3) квартилей. Для статистического изучения связи между явлениями применялся коэффициент ранговой корреляции Спирмена (r_s). При использовании коэффициента ранговой корреляции оценивали тесноту связей между признаками, считая значения коэффициента от 0,01 до 0,29 показателями слабой тесноты связи; значения от 0,30 до 0,69 – показателями средней тесноты связи, а значения от 0,70 до 0,99 – показателями сильной тесноты связи [6]. Критический уровень значимости (p) для всех проверяемых статистических гипотез принимался равным 0,05.

Результаты

Полученные данные показали наличие функциональных изменений в системе внешнего дыхания у военнослужащих в периоды полярного дня и полярной ночи. Так, при анализе динамики легочных объемов и ёмкостей установлено статистически значимое увеличение на 26,6 % жизненной ёмкости легких (ЖЕЛ) в период полярной ночи в сравнении с аналогичным показателем в полярный день ($p < 0,001$) (табл. 1).

Таблица 1

Легочные объемы и емкости у военнослужащих в контрастные сезоны года Md (Q_1 ; Q_3)

Показатель	Полярная ночь	Полярный день	p
ЖЕЛ, л	8,1 (7,4; 8,3)	6,4 (5,6; 7,2)	0,001
ДО, л	1,08 (0,89; 1,38)	0,97 (0,82; 1,45)	0,160
РОВд, л	2,15 (1,18; 2,60)	1,08 (0,55; 2,43)	0,140
РОВвд, л	4,83 (4,40; 5,60)	3,98 (1,58; 4,96)	0,006

При фракционном анализе ЖЕЛ выявлено, что в период полярной ночи наблюдается повышение на 21,4 % величины резервного объема выдоха (РОВвд) по сравнению с таковой в период полярного дня ($p = 0,006$), в отличие от резервного объема вдоха (РОВд) и дыхательного объема (ДО), которые не имеют статистически значимых сезонных различий. При этом обратные взаимосвязи средней тесноты между РОВд и РОВвд стабильно регистрируются и практически не изменяются в контрастные сезоны года (табл. 2).

Таблица 2

Взаимосвязи между легочными объемами и емкостями у военнослужащих в контрастные сезоны года

Взаимосвязь		Полярная ночь	Полярный день
ЖЕЛ – РОВд	r_s	0,147	0,364
	p	0,538	0,115
ЖЕЛ – РОВвд	r_s	0,326	-0,101
	p	0,161	0,673
РОВд – РОВвд	r_s	-0,513	-0,809
	p	0,021	<0,001

Проведенный расчет отношения ДО к ЖЕЛ в контрастные сезоны года показал, что военнослужащие при дыхании в состоянии покоя в период полярной ночи используют 13,3 % абсолютной величины ЖЕЛ, а в период полярного дня – 15,2 %.

Полученные величины несколько ниже, чем данные исследования, проведенного Н. Г. Варламовой с соавт. [2], в ходе которого установлено, что у молодых мужчин 18–22 лет, проживающих в Республике Коми, величина ДО в годовом цикле колеблется от 15,1 до 16,5 % ЖЕЛ. В то же время молодые мужчины – уроженцы Архангельской области используют в состоянии покоя 14,1 % от абсолютной величины ЖЕЛ [10].

Величина РОВд у обследованных военнослужащих составила 26,5 % ЖЕЛ в период полярной ночи, причем она несколько уменьшается в период полярного дня (16,9 % ЖЕЛ). Эти величины меньше значений, установленных для молодых мужчин Республики Коми (30,5 %) и уроженцев Архангельской области (44,0 %) [2, 10].

Резервный объем выдоха у обследованных военнослужащих находился в диапазоне 59,6–62,2 % ЖЕЛ соответственно в периоды полярной ночи и полярного дня. Полученные величины больше данных, приведенных для жителей Республики Коми, – у

мужчин в годовом цикле от 40,9 до 51,6 % ЖЕЛ [2], у жителей Архангельской области величина РОвыд составляет 40,4 % от ЖЕЛ [10].

Выявлено также наличие статистически значимых функциональных изменений у военнослужащих в показателях легочного газообмена в периоды полярного дня и полярной ночи (табл. 3).

Таблица 3
Показатели легочного газообмена у военнослужащих в контрастные сезоны года Md (Q₁; Q₃)

Показатель	Полярная ночь	Полярный день	p
FeO ₂ , %	16,9 (16,4; 17,3)	17,9 (17,6; 18,3)	0,006
FeCO ₂ , %	2,1 (1,7; 2,5)	2,8 (2,6; 3,2)	<0,001
ПО ₂ , мл/мин	548,8 (432,9; 677,1)	470,9 (270,2; 571,8)	0,015
КИО ₂ , мл/л	46,8 (41,1; 52,2)	30,4 (25,9; 33,6)	0,003
O _{2RC} , мл	40,2 (35,2; 46,7)	27,5 (18,5; 41,0)	0,002
O _{2CC} , мл	7,4 (5,7; 9,2)	5,6 (3,7; 7,1)	0,005
S _p O ₂ , %	97 (96; 97)	97 (97; 98)	0,170

Важным показателем, характеризующим обмен газов между альвеолярным воздухом и кровью легочных капилляров, является величина ПО₂, которая определяется внутренней потребностью в нем клеток и тканей и осуществляется на уровне целостного организма [1]. Анализ полученных результатов показал зависимость данного показателя от сезона года. Величина ПО₂ в период полярной ночи была на 16,6 % выше, чем в период полярного дня (p = 0,015), что связано, вероятно, с интенсификацией окислительного метаболизма в период полярной ночи.

Анализ полученных данных показал, что величина КИО₂ в период полярной ночи была статистически значимо выше, чем в период полярного дня (p = 0,003); она, как известно, зависит от условий диффузии кислорода, объема альвеолярной вентиляции и совершенства координации легочной вентиляции с кровообращением в малом круге.

Расчет величин O_{2RC} и O_{2CC} у военнослужащих показал статистически значимое увеличение их в период полярной ночи по сравнению со значениями в период полярного дня (p = 0,002 и p = 0,005 соответственно), что указывает на сниженную экономичность одного дыхательного и одного сердечного циклов в полярную ночь.

Результаты измерения величины S_pO₂ у обследованных в контрастные сезоны года не выявили значимых различий, отмечен достаточно стабильный уровень данного показателя в пределах 97 % в период как полярной ночи, так и полярного дня. Необходимо отметить, что в норме величина S_pO₂ составляет (93,0 ± 2,3) %. При стрессовых ситуациях и физических нагрузках насыщение артериальной крови кислородом может достигать 95–98 % [1].

Обсуждение результатов

Известно, что величина ЖЕЛ косвенно указывает на максимальную площадь дыхательной поверхности

легких, обеспечивающей газообмен, и в целом косвенно характеризует аэробные возможности системы внешнего дыхания. Повышенное значение ЖЕЛ в течение полярной ночи по сравнению с таковым в течение полярного дня также можно интерпретировать как компенсаторно-приспособительную реакцию организма, направленную на увеличение площади дыхательной поверхности легких, обеспечивающей газообмен, и тем самым удовлетворяющую повышенные метаболические потребности организма в холодный период года.

Помимо газообменной функции легкие осуществляют согревание и насыщение влагой воздуха, поступающего в дыхательные пути. Поэтому увеличение ЖЕЛ у военнослужащих в период полярной ночи является целесообразной компенсаторно-приспособительной реакцией организма, направленной не только на обеспечение усиленного метаболизма, но и на кондиционирование вдыхаемого воздуха.

В настоящее время становится общепризнанным фактом, что величина РОвыд, которая является второй составляющей ЖЕЛ и первой составляющей функциональной остаточной емкости легких, более важна для стабилизации дыхания, чем значение РОвд [14, 18]. Связано это с тем, что РОвыд играет важную роль в механизмах регуляции и накопления метаболического СО₂, поскольку в функциональном отношении РОвыд представляет собой буферную емкость проводящих воздухоносных путей, снижающую возможность беспрепятственного выделения метаболического СО₂ через легкие наружу [1]. Поэтому можно предположить, что в период полярной ночи в респираторной системе появляются реакции в виде увеличения РОвыд, направленные на стабилизацию дыхания. Кроме того, физиологический смысл повышения РОвд и РОвыд в период полярной ночи заключается в том, что оно дает возможность значительно увеличить легочную вентиляцию за счет использования этих объемов как в покое, так и при физической нагрузке, а значит, повысить поступление кислорода в легкие и выделение углекислого газа из организма в холодный период года.

Таким образом, у молодых мужчин, проходящих военную службу в условиях Арктики, в системе внешнего дыхания со стороны статических легочных объемов и емкостей происходят сезонные перестройки. В период полярной ночи по сравнению с полярным днем увеличиваются величины ЖЕЛ и РОвыд, изменяются структура ЖЕЛ и характер взаимосвязей между ее составляющими. Наряду с целесообразными компенсаторно-приспособительными реакциями системы внешнего дыхания, направленными на уравновешивание с внешней средой, имеются элементы скрытых функциональных нарушений. Так, на фоне напряженной деятельности системы внешнего дыхания газообменная эффективность вентиляции, экономичность одного дыхательного и одного сердечного циклов в период полярной ночи снижаются. Такие скрытые функциональные нарушения могут становиться факторами пульмонологического риска.

Список литературы

1. Агаджанян Н. А., Гневушев В. В., Катков А. Ю. Адаптация к гипоксии и биоэкономика внешнего дыхания. М. : Изд-во УДН, 1987. 186 с.
2. Варламова Н. Г., Евдокимов В. Г., Бойко Е. Р. Функция внешнего дыхания у молодых мужчин Европейского Севера в годовом цикле // Физиология человека. 2008. Т. 34, № 6. С. 85–91.
3. Грибанов А. В., Волокитина Т. В. Здоровье и функциональное развитие школьников на Европейском Севере России // Вестник национального комитета «Интеллектуальные ресурсы России». 2006. № 4. С. 271–275.
4. Гудков А. Б., Попова О. Н. Пульмонотропные факторы Европейского Севера // Вестник Поморского университета. Серия: Физиологические и психолого-педагогические науки. 2008. № 2. С. 15–17.
5. Гудков А. Б., Попова О. Н., Небученных А. А. Новосёлы на Европейском Севере. Физиолого-гигиенические аспекты : монография. Архангельск : Изд-во СГМУ, 2012. 285 с.
6. Зайцев В. М., Лифляндский В. Г., Маринкин В. И. Прикладная медицинская статистика. СПб. : Фолиант, 2003. 428 с.
7. Кононов А. С. Внешнее дыхание и энергетический обмен в процессе акклиматизации человека на Крайнем Севере : автореф. дис. ... канд. мед. наук. Петрозаводск, 1972. 22 с.
8. 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. С. 16–18.
9. Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу : утв. Президентом РФ 18 сентября 2008 г. № Пр-1969.
10. Попова О. Н. Характеристика адаптивных реакций внешнего дыхания у молодых лиц трудоспособного возраста, жителей Европейского Севера : автореф. дис. ... д-ра мед. наук. Архангельск, 2009. 34 с.
11. Турчинский В. И. Ишемическая болезнь сердца на Крайнем Севере. Новосибирск : Наука, 1980. 280 с.
12. Хаснулин В. И. Введение в полярную медицины. Новосибирск : СО РАМН, 1998. 337 с.
13. Чащин В. П., Гудков А. Б., Попова О. Н., Одланд Ю. О., Ковшов А. А. Характеристика основных факторов риска нарушений здоровья населения, проживающего на территориях активного природопользования в Арктике // Экология человека. 2014. № 1. С. 3–12.
14. Шишкин Г. С., Устюжанинова Н. В. Функциональные механизмы изменений внешнего дыхания при осенне-зимнем понижении температуры воздуха // Экология человека. 2012. № 7. С. 3–6.
15. Шишкин Г. С., Устюжанинова Н. В. Функциональные состояния внешнего дыхания здорового человека. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2012. 329 с.
16. Щербина Ю. Ф. Изменения легочных объемов у жителей Крайнего Севера в периоды полярного дня и полярной ночи : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Архангельск, 2013. 18 с.
17. Chang Y. H. Biostatistics 101: Data presentation // Singapore Medical Journal. 2003. N 6. P. 280–285.
18. West J. B. Respiratory Physiology - the Essentials. Baltimore : Lippincott, Wilcins, 2008. 180 p.

References

1. Agadzhanjan N. A., Gnevushev V. V., Katkov A. Ju. *Adaptatsiya k gipoksii i bioekonomika vneshnego dyhaniya* [Adaptation to hypoxia and bioeconomy of external respiration]. Moscow, 1987. 186 p.
2. Varlamova N. G., Evdokimov V. G., Bojko E. R. Respiratory function in young men of European North in the annual cycle. *Fiziologiya cheloveka* [Human Physiology]. 2008, 6. pp. 85-91. [in Russian]
3. Griбанov A. V., Volokitina T. V. Health and functional development of schoolchildren in the European North of Russia. *Vestnik nacional'nogo komiteta «Intellektual'nye resursy Rossii»* [Bulletin of National Committee «Intellectual Resources of Russia»]. 2006, 4, pp. 271-275. [in Russian].
4. Gudkov A. B., Popova O. N. Pulmonotropic factors of the European North (Review). *Vestnik Pomorskogo universiteta. Seriya: Fiziologicheskie i psihologo-pedagogicheskie nauki* [Bulletin of Pomor University]. 2008, 2, pp. 15-17. [in Russian]
5. Gudkov A. B., Popova O. N., Nebuchennyh A. A. *Novosyoly na Evropejskom Severe. Fiziologo-gigienicheskie aspekty* [Settlers in the European North. Physiological and hygienic aspects]. Arkhangelsk, 2012, 285 p.
6. Zajcev V. M., Lifljandskij V. G., Marinkin V. I. *Prikladnaya meditsinskaya statistika* [Applied Medical Statistics]. Saint Petersburg, 2003, 428 p.
7. Kononov A. S. *Vneshnee dyhanie i energeticheskiy obmen v processe akklimatizatsii cheloveka na Krajnem Severe (avtoref. kand. diss.)* [External respiration and energy metabolism during human acclimatization in the Far North. Author's Abstract of Cand. Diss.]. Petrozavodsk, 1972, 22 p.
8. Kubushka O. N., Gudkov A. B., Labutin N. Yu. Some reactions of the cardiorespiratory system in young persons at able-bodied age at the stage of adaptive strain during moving to the North. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2004, 5, pp. 16-18. [in Russian]
9. *Osnovy gosudarstvennoy politiki Rossiiskoi Federatsii v Arktike na period do 2020 goda i dal'neishuyu perspektivu* [Principles of Russian Federation State Policy in the Arctic up to 2020 and In Prospect], utv. Prezidentom RF 18.09.2008. Pr-1969.
10. Popova O. N. *Kharakteristika adaptivnykh reaksii vneshnego dykhaniya u molodykh lits trudospobnogo vozrasta, zhitelei Evropeiskogo Severa (avtoref. doc. diss.)* [Characteristics of adaptive reactions of external respiration in young working people, residents of the European North. Author's Abstract of Doct. Diss.]. Moscow, 2009, 34 p.
11. Turchinskij V. I. *Ishemicheskaya bolezni' serdca na Krajnem Severe* [Coronary Heart Disease in the Far North]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1980, 280 p.
12. Khasnulin V. I. *Vvedenie v polyarnuyu meditsinu* [Introduction to Polar Medicine]. Novosibirsk, 1998, 337 p.
13. Chashhin V. P., Gudkov A. B., Popova O. N., Odland Ju. O., Kovshov A. A. Description of main health deterioration risk factors for population living on territories of active natural management in the Arctic. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2014, 1, pp. 3-12. [in Russian]
14. Shishkin G. S., Ustjuzhanova N. V. Functional mechanisms of changes in external respiration in autumn-winter air temperature drops. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2012, 7, pp. 3-6. [in Russian]
15. Shishkin G. S., Ustjuzhaninova N. V. *Funkcionalnye sostoyaniya vneshnego dyhaniya zdorovogo cheloveka* [Functional status of external breathing in healthy persons]. Novosibirsk, 2012, 329 p.
16. Shherbina Ju. F. *Izmeneniya legochnyh obemov u*

zhiteley Kraynego Severa v periody polyarnogo dnya i polyarnoi nochi (avtoref. kand. diss.) [Changes in lung volumes among residents of the Far North during polar day and polar night. Author's Abstract of Cand. Diss.]. Arkhangelsk, 2013, 18 p.

17. Chang Y. H. Biostatistics 101: Data presentation. *Singapore Medical Journal*. 2003, 6, pp. 280-285.

18. West J. B. *Respiratory Physiology - the Essentials*. Baltimore, Lippincott, Wilcins, 2008, 180 p.

FUNCTIONAL CHANGES OF MILITARY MEN'S EXTERNAL RESPIRATION SYSTEM IN CONTRAST SEASONS IN THE ARCTIC

^{1,3}A. B. Gudkov, ²S. P. Ermolin, ^{1,3}O. N. Popova,
¹A. S. Sarychev

¹Northern State Medical University, Arkhangelsk

²Federal Security Service Department in Arkhangelsk Region, Arkhangelsk

³Institute of Medical and Biological Research, Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russia

In the article, there have been presented results of a spirometric study conducted in the period of a polar day and a polar night in the same 20 military men on the Frantz Josef

Land Archipelago (80°04' N, 47°05' E). It has been established that vital capacity of the military men increased by 26.6 % in the polar night period compared to the polar day ($p = 0.001$). During a fractional analysis of vital capacity, it has been detected that in the the polar night period, there were observed 21.4 % higher expiratory reserve volumes compared to the polar day period ($p = 0.006$) as distinct from the inspiratory reserve volumes and breathing capacity which did not have statistically significant seasonal differences. Oxygen cost volumes were higher by 16.6 % in the polar night period compared to the polar day period ($p = 0.015$). Calculation of values of one respiratory and cardiac cycles in the military men has shown their statistically significant excess in the polar night period compared to the polar day ($p = 0.002$ and $p = 0.005$ respectively).

Keywords: the Arctic, military men, external respiration, polar night, polar day

Контактная информация:

Гудков Андрей Борисович — доктор медицинских наук, профессор, директор института гигиены и экологии человека ГБОУ ВПО «Северный государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, заслуженный работник высшей школы РФ

Адрес: 163000, г. Архангельск, пр. Троицкий, д. 51

Тел. (8182) 21-50-93

E-mail: gudkovab@nsmu.ru