

А.Б. Гудков, О.Н. Попова, А.Н. Никанов

## АДАПТИВНЫЕ РЕАКЦИИ ВНЕШНЕГО ДЫХАНИЯ ПРИ ВЕНТИЛЯЦИИ ВОЗДУХА ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ В УСЛОВИЯХ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА

Северный государственный медицинский университет, г. Архангельск; Научно-исследовательская лаборатория ФГУН СЗНЦ гигиены и общественного здоровья Роспотребнадзора, г. Кировск, Мурманская обл.

В натуральных климатических условиях Европейского Севера исследованы изменения в системе внешнего дыхания при вентиляции воздуха отрицательной температуры у молодых мужчин и женщин трудоспособного возраста. Выявлено, что дыхание холодным воздухом вызывает существенные изменения статических легочных объемов и емкостей, что проявляется уменьшением величины жизненной емкости легких (ЖЕЛ), резервных объемов выдоха (РОВд) и вдоха (РОВв), возрастанием дыхательного объема (ДО) и снижением уровня дыхания. У женщин изменения более выражены, чем у мужчин.

Ключевые слова: внешнее дыхание, дыхание холодным воздухом, молодые лица трудоспособного возраста.

Основным фактором, влияющим на систему внешнего дыхания у человека на Севере и определяющим ее компенсаторно-приспособительные изменения, особенно в зимний период года, является фактор низкой температуры воздуха [3, 9]. Несмотря на очевидный и значительный прогресс систем жизнеобеспечения, защищающих от неблагоприятных климатических условий Севера, до сих пор самой уязвимой системой организма остается дыхательная система. Как и прежде, органы дыхания полностью открыты для холода.

Местное воздействие холодного воздуха на слизистую оболочку верхних дыхательных путей, трахеи и бронхиального дерева вызывает значительную потерю тепла и влаги, идущих на согревание и увлажнение вдыхаемого воздуха. Воздух отрицательной температуры, являясь агрессивной средой для органов дыхания, требует со стороны дыхательной

системы значительного функционального напряжения для сохранения довольно жесткого температурного и влажностного гомеостаза в респираторных отделах легких. Так, для предохранения дыхательного эпителия от термических поражений воздух в альвеолах должен иметь температуру около  $+37^{\circ}\text{C}$  и обязательно 100 % насыщенность водяными парами. Поэтому, характер и направленность возникающих при этом компенсаторно-приспособительных реакций, особенно выявленных в натуральных условиях Севера при дыхании холодным воздухом и оценка функционального значения таких реакций, представляет значительный интерес для экологической физиологии и гигиены труда.

Непосредственное действие вдыхаемого воздуха отрицательной температуры на вентиляцию и газообмен изучалось. Однако, большинство известных работ было выполнено не в натуральных, а в лабораторных условиях или при температурах близких к  $0^{\circ}\text{C}$  [2, 5, 11, 12]. И лишь относительно небольшое количество исследований проводилось на северо-востоке России в натуральных природно-климатических условиях Азиатского Севера с участием только мужчин [1, 6, 8]. В условиях Европейского Севера сведения о динамике вентиляции легких, газообмена и характере компенсаторно-приспособительных реакций легочных объемов и емкостей при дыхании воздухом отрицательной температуры носят фрагментарный характер [4, 7].

Целью данного исследования являлось установление особенностей компенсаторно-приспособительных реакций дыхательной системы у молодых мужчин и женщин трудоспособного возраста при дыхании воздухом отрицательной температуры в натуральных условиях Европейского Севера.

Материал и методики.

Обследованы 34 мужчины (средний возраст  $(20,5 \pm 1,29)$  года), длина тела  $(177,8 \pm 5,6)$ , масса тела  $(68,7 \pm 8,09)$  и 31 женщина (средний возраст  $(21,1 \pm 0,95)$  года), длина тела  $(166,1 \pm 6,2)$ , масса тела  $(58,4 \pm 6,7)$ , уроженцы Европейского Севера.

Вначале в помещении при температуре воздуха  $+18^{\circ}\text{C} \dots +20^{\circ}\text{C}$ , после

15–20 минутного отдыха, регистрировался исходный уровень вентиляции легких при помощи спирографа СГ-2. Затем испытуемые в теплой одежде выходили на открытую площадку, где находились в течение 30 минут, при температуре окружающего воздуха – 12<sup>0</sup>С ... – 6<sup>0</sup>С и минимальной двигательной активности, после чего обследуемые подключались к спирографу, который находился в помещении, но его лицевая часть была выведена наружу, отсюда же проводился и забор воздуха. Спирография также осуществлялась через 5 минут после возвращения обследуемых в теплое помещение.

Математическая обработка полученных результатов исследования проводилась при помощи статистического пакета SPSS 15.0. Проверка на нормальность распределения измеренных переменных осуществлялась с помощью теста Шапиро-Уилк. Поскольку было выявлено нормальное распределение переменных, то применялись параметрические методы (Т-Стьюдента) для зависимых выборок. Результаты обработки данных представлены в виде среднего значения (М) и стандартного отклонения (s). Критический уровень значимости (Р) принимался равным \*0,05; \*\*0,01; \*\*\*0,001.

Обследование добровольцев проводилось с соблюдением этических норм, изложенных в Хельсинкской декларации и Директивах Европейского сообщества (8/609 ЕС), и одобрено локальным Комитетом по этике Северного государственного медицинского университета.

Результаты и их обсуждение.

Статистический анализ полученных результатов показал, что у мужчин при дыхании воздухом отрицательной температуры после 30-минутного пребывания в натуральных условиях Европейского Севера произошли значительные изменения в функции аппарата внешнего дыхания в ответ на прямое действие холодного воздуха (табл. 1).

**Изменение статических легочных объемов и емкостей у мужчин в ответ на вентиляцию воздуха отрицательной температуры ( $M \pm s$ )**

n = 34

Показатели	Этапы исследования		
	I	II	III
ЖЕЛ, л	5,02 $\pm$ 0,61	4,44 $\pm$ 0,87***	4,61 $\pm$ 0,69***
Ровд, л	2,19 $\pm$ 0,48	2,09 $\pm$ 0,65	2,15 $\pm$ 0,48
Ровыд, л	2,02 $\pm$ 0,45	1,64 $\pm$ 0,48***	1,77 $\pm$ 0,56
ДО, л	0,64 $\pm$ 0,21	0,78 $\pm$ 0,37***	***0,60 $\pm$ 0,30

Примечание: I — комфортные условия, II — через 30 мин. пребывания в натуральных условиях, III — через 5 мин. после возвращения в комфортные условия. Звездочками справа обозначены достоверные отличия между I и II этапами обследования, слева — между II и III: \*\*\* -  $p \leq 0,001$ .

Приведенные данные указывают на то, что дыхание воздухом отрицательной температуры вызвало уменьшение величины ЖЕЛ и изменение ее структуры. Так, ЖЕЛ уменьшилась почти на 600 мл ( $p < 0,001$ ). Величина ЖЕЛ — один из основных показателей вентиляционной функции легких, представляющий сумму легочных объемов, которые в принципе могут быть задействованы в вентиляции. Она является показателем, отражающим функциональные возможности системы внешнего дыхания в целом, косвенно указывает на максимальную площадь дыхательной поверхности легких, обеспечивающей газообмен и характеризует аэробные возможности системы внешнего дыхания.

Достоверное уменьшение величины ЖЕЛ при дыхании холодным воздухом, очевидно, является выражением физиологической реакции защиты респираторной ткани, направленной на предупреждение переохлаждения. Можно предположить, что происходит выключение из вентиляции наиболее охлаждаемых респираторных микроструктур. В основе этой защитной реакции, вероятно, лежит гладкомышечное сокращение бронхиол в транзиторной зоне легких, функциональный смысл которого заключается в

ограничении поступления недостаточно согретого и увлажненного воздуха к дыхательной респираторной зоне. Полагают, что рецепторы, реагирующие на действие холодного воздуха, располагаются между эпителиальными клетками дыхательных путей. Импульсы от этих рецепторов идут по миелиновым волокнам блуждающих нервов, а рефлекторный ответ заключается в сужении респираторных бронхиол I, II и III порядка, что и лежит в основе реакции сокращения респираторной поверхности.

После возвращения обследуемых в теплое помещение величина ЖЕЛ несколько увеличилась, но все же через 5 минут не достигла исходного уровня.

При дыхании холодным воздухом несущественно уменьшилась величина РОвд на 100 мл ( $p > 0,05$ ) и достоверно — РОвыд почти на 400 мл ( $p < 0,001$ ), что привело к снижению величины уровня дыхания (отношение РОвыд к РОвд). Считается, что снижение величины уровня дыхания в ответ на возмущающий фактор является более выгодным для осуществления газообмена [10]. На фоне снижения величин РОвд и РОвыд закономерно увеличился ДО на 140 мл ( $p < 0,001$ ).

Возвращение в комфортные условия вызвало возрастание величин РОвд, РОвыд и достоверное снижение ДО ( $p < 0,001$ ).

Таким образом, дыхание холодным воздухом привело у мужчин к достоверному снижению ЖЕЛ ( $p < 0,001$ ), РОвыд ( $p < 0,001$ ) и увеличению ДО ( $p < 0,001$ ).

У женщин при дыхании воздухом отрицательной температуры также произошли существенные изменения в величинах статических легочных объемов и емкостей (табл. 2).

**Реакция статических легочных объемов и емкостей в ответ на  
вентиляцию воздуха отрицательной температуры у женщин ( $M \pm s$ )**

n = 31

Показатели	Этапы исследования		
	I	II	III
ЖЕЛ, л	3,44 $\pm$ 0,50	2,94 $\pm$ 0,59***	**3,19 $\pm$ 0,57***
Ровд, л	1,87 $\pm$ 0,29	1,63 $\pm$ 0,38***	1,73 $\pm$ 0,31**
Ровыд, л	1,09 $\pm$ 0,40	0,79 $\pm$ 0,28***	*0,99 $\pm$ 0,41
ДО, л	0,42 $\pm$ 0,20	0,52 $\pm$ 0,21***	***0,42 $\pm$ 0,22

Примечание: I — комфортные условия, II — через 30 мин. пребывания в натуральных условиях, III — через 5 мин. после возвращения в комфортные условия. Звездочками справа обозначены достоверные отличия между I и II этапами обследования, слева — между II и III: \* -  $p \leq 0,05$ ; \*\* -  $p \leq 0,01$ ; \*\*\* -  $p \leq 0,001$ .

Дыхание холодным воздухом привело у женщин, также как и у мужчин, к изменению величины ЖЕЛ, которая уменьшилась на 500 мл ( $p < 0,001$ ). Объемы, составляющие ЖЕЛ также изменились и имели такую же направленность как и у мужчин. После возвращения обследованных женщин в теплое помещение с комфортными микроклиматическими условиями величина ЖЕЛ увеличилась ( $p < 0,01$ ), но также как и у мужчин не достигла исходного значения. Дыхание воздухом отрицательной температуры у женщин вызвало не только снижение ЖЕЛ, но и уменьшение величины Ровд на 240 мл ( $p < 0,001$ ), а Ровыд — на 300 мл ( $p < 0,001$ ). Поскольку Ровыд уменьшился в большей степени, чем Ровд, то произошло снижение величины уровня дыхания. После возвращения в теплое помещение величины Ровд и Ровыд увеличились, однако, также как и ЖЕЛ, не достигли исходного уровня.

Пребывание женщин в натуральных климатических условиях и вдыхание холодного воздуха привело к значительному увеличению ДО, величина которого возросла на 100 мл ( $p < 0,001$ ). После возвращения женщин в теплое

помещение величина ДО быстро уменьшилась до исходного уровня.

Таким образом, вдыхание холодного воздуха вызвало у женщин уменьшение величины ЖЕЛ ( $p<0,001$ ), РОвд ( $p<0,001$ ), РОвыд ( $p<0,001$ ) и увеличение ДО ( $p<0,001$ ).

В целом, анализируя реакцию статических легочных объемов и емкостей в ответ на вентиляцию воздуха отрицательной температуры в реальных климатических условиях Европейского Севера, можно заключить, что у женщин по сравнению с мужчинами вдыхание холодного воздуха вызвало более выраженные изменения (табл. 3).

Таблица 3

**Изменения статических легочных объемов и емкостей при дыхании воздухом отрицательной температуры (в % к исходному в тепле)**

Показатели	Мужчины (n=34)		Женщины (n=31)	
	1	2	1	2
ЖЕЛ	-11,6***	-8,2***	-14,6***	-7,3***
РОвд	-4,6	-1,8	-12,9***	-7,5**
РОвыд	-18,8***	-12,4	-27,6***	-9,2
ДО	21,8***	-6,3	23,8***	

Примечание: 1 — в условиях холода, 2 — после возвращения в тепло.  
Изменения по сравнению с исходным состоянием достоверны:  
\*\* -  $p\leq 0,01$ ; \*\*\* -  $p\leq 0,001$ .

Таким образом, дыхание холодным воздухом вызывает существенные изменения в статических легочных объемах и емкостях, а также в структуре ЖЕЛ.

Выводы.

1. Дыхание воздухом отрицательной температуры в натуральных климатических условиях Европейского Севера вызывает существенные изменения статических легочных объемов и емкостей, что проявляется уменьшением величины ЖЕЛ на 11,6 % и 14,6 % ( $p<0,001$ ), РОвыд на 18,8 % и 27,6 %

( $p < 0,001$ ), РОвд на 4,6 % ( $p > 0,05$ ) и 12,9 % ( $p < 0,001$ ), возрастанием ДО на 21,8 % и 23,8 % ( $p < 0,001$ ) соответственно у мужчин и женщин, снижением уровня дыхания.

2. При дыхании холодным воздухом у женщин изменения более выражены, чем у мужчин.

#### Список литературы

1. Гришин О.В., Митрофанов И.М., Шургая А.М. и др. // Физиология человека. – 1998. – Т. 24, № 1.
2. Гришин О.В., Симонова Т.Г. // Физиология человека. – 1998. – Т. 24, № 5.
3. Гришин О.В., Устюжанинова Н.В. Дыхание на Севере. Функция. Структура. Резервы. Патология. – Новосибирск, 2006. – С. 98–104.
4. Гудков А.Б., Попова О.Н. // Университетская наука : теория, практика, инновации : сб. тр. 73-й науч. конф. КГМУ и сессии Центр.-Чернозем. науч. Центра РАМН. – Курск, 2008. – Т. 1.
5. Евдокимов В. Г. Функциональное состояние сердечно-сосудистой и дыхательной систем человека на Севере : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – Сыктывкар, 2004.
6. Петрунев С.А. Изменение внешнего дыхания у жителей Севера при сезонном понижении температуры воздуха : автореф. дис. ... канд. мед. наук. – Новосибирск, 1987.
7. Попова О.Н., Гудков А.Б., Лабутин Н.Ю. // Экология человека. – 2005. – № 12.
8. Шишкин Г.С., Петрунев С.А., Преображенская В.К. // Физиология человека. – 1995. – Т. 21, № 2.
9. Чащин В.П., Деденко И.И. Труд и здоровье человека на Севере. Мурманск, 1990.
10. Чоговадзе А.В., Бутченко Л.А. Спортивная медицина (руководство для



врачей). – М. : Медицина, 1984.

11. Burgess K.P., Whitlaw W. A. // Am. Review respir. disease. – 1984. – Vol. 129, № 5.
12. Diesel D. E., Turker A., Robertshaw D. // J. Appl. Physiol. – 1990. – Vol. 69.