

ОРИГИНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 612.215:616-001.18

ДЫХАНИЕ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

Г.С.Шишкин, Н. В.Устюжанинова

Научно-исследовательский институт физиологии и фундаментальной медицины Сибирского отделения РАН, 630117, г. Новосибирск, ул. Тимакова, 4

РЕЗЮМЕ

У здоровых мужчин – жителей Магадано-Чукотского региона и Западной Сибири, стандартными методами оксиспирографии, пневмотахографии и разведения гелия были изучены защитные физиологические реакции органов дыхания в условиях низких температур. Установлено, что на действие низкой температуры воздуха система внешнего дыхания отвечает четырьмя защитными реакциями. При очень резком охлаждении вдыхаемого воздуха (температурой ниже -25°C) может произойти моментальная рефлекторная остановка дыхания (апноэ). При меньшем перепаде температуры включается срочная реакция ограничения дыхательного объема, которая достигает максимума через 10-20 минут. У людей, адаптированных к климатическим условиям Севера, реакция через 10 минут исчезает, у неадаптированных лиц сохраняется, приводя к гипоксии и «полярной одышке». При дыхании холодным воздухом в течение 30 минут добавляется вторая срочная реакция, которая приводит к выключению из вентиляции и газообмена наиболее охлаждаемой части респираторной ткани. На длительное действие низкой температуры воздуха система внешнего дыхания отвечает замедленной защитной реакцией, выраженной в раскрытии резервных ацинусов. Ослабляя повреждающее действие экологического фактора, защитная реакция одновременно ограничивает газообмен, что приводит к компенсаторной гипервентиляции и напряжению аппарата внешнего дыхания.

Ключевые слова: система внешнего дыхания, защитные реакции, низкотемпературный воздух.

SUMMARY

RESPIRATION AT LOW TEMPERATURES CONDITIONS

G.S.Shishkin, N.V.Ustuzaninova

Research Institute of Physiology and Fundamental Medicine of Siberian Branch RAMS, 4 Timakova Str., Novosibirsk, 630117, Russian Federation

Protective physiological reactions of respiratory organs to cold air were investigated in healthy men living in the Magadano-Chukotsky region and Western Siberia by standard methods of oxyspirography, pneu-

motachography and helium dilution method. Four protective reactions of respiratory system to low air temperatures were found. Immediate apnea can occur at very sharp cooling of inhaled air (temperature below -25°C). An urgent reaction of tidal volume restriction begins at a smaller temperature drop and reaches a maximum in 10-20 minutes. The reaction disappears in 10 minutes in the people adapted to climatic conditions of the North, but it remains in not adapted people, so leading to hypoxia and «polar dyspnoea». The second urgent reaction appears after 30 minutes of cold air breathing and leads to the most cooled part of respiratory tissue being excluded from ventilation and gas exchange. A slow protective reaction of the respiratory system to a long low temperature exposure occurs, which is revealed through the opening of reserve lung acini. Weakening a damaging action of an ecological factor, this protective reaction at the same time restricts the gas exchange, which leads to the compensatory hyperventilation and the respiratory apparatus exertion.

Key words: respiratory system, protective reactions, cold air.

Проблема заболеваемости органов дыхания для регионов с жесткими климатическими условиями, которые в Российской Федерации занимают больше половины территории, имеет особое значение [5, 9, 12, 14, 16, 18, 21]. Экстремальные факторы, воздействуя на органы дыхания, вызывают включение защитных физиологических реакций, конкурентных по отношению к основной функции – газообмену. Это приводит к напряжению аппарата внешнего дыхания и механизмов регуляции кровообращения, которое часто усиливается дополнительным воздействием антропогенных экологических факторов на предприятиях. Адаптационные механизмы выражены у разных людей неодинаково. Их слабость, особенно в сочетании с физической нагрузкой, может привести к срыву температурного гомеостаза в альвеолах и термическому повреждению респираторной ткани [3]. Вследствие этого заболеваемость органов дыхания неспецифического характера у жителей Западной и Восточной Сибири на 8-24% выше, чем в среднем по России [7]. Особенно высока она в Якутии, Магаданской области, на Обском Севере [8]. Так, в Чукотском национальном округе удельный вес болезней органов дыхания в общей заболеваемости составляет 36,5%, а первичной заболеваемости

мости – 48% [13].

Центральной проблемой дыхания на Севере является защита органов дыхания от холода, обеспечение и увлажнение воздуха. Защитные физиологические реакции уменьшают повреждающее действие неадекватных экологических факторов, повышая бронхиальное сопротивление на вдохе, снижая вентиляцию и увеличивая функциональное мертвое пространство [1].

По скорости ответа на воздействие защитные реакции можно разделить на моментальные, срочного и отсроченного типа. Моментальные реакции включаются при кратковременных, но интенсивных повреждающих воздействиях. Их вызывает резкое изменение температуры вдыхаемого воздуха. Время развития срочных реакций измеряется минутами [24]. К ним можно отнести ограничение глубины вдоха при быстром понижении температуры вдыхаемого воздуха и перекрытие наиболее охлаждаемых альвеол при дыхании низкотемпературным воздухом. Замедленные или отсроченные реакции являются функциональным ответом на многократное или длительное действие экологических факторов в субэкстремальном диапазоне. Становление замедленных реакций происходит в течение нескольких дней при повторяющемся действии фактора. В литературе приводятся данные о том, что длительные субэкстремальные воздействия повреждают как бронхиальное дерево, так и респираторные отделы легких [15]. В настоящей работе была поставлена задача: детально рассмотреть защитные реакции системы внешнего дыхания на действие низкой температуры вдыхаемого воздуха.

Материалы и методы исследования

Реакция ограничения дыхательного объема при переходе от дыхания теплым воздухом к холодному была изучена у 40 здоровых рабочих в возрасте 20-30 лет, проживающих в Магаданской области. Средний рост обследованных – 173,7±5,2 см, масса тела – 72,0±9,1 кг. По сроку проживания испытуемые разделялись на неадаптированных, находящихся на Севере менее года, и адаптированных жителей, проживших на Севере более 5 лет.

Обследования проводили зимой в натуральных условиях при среднесуточной температуре воздуха от -30° до -47°С. Вначале в помещении после 15-минутного отдыха при температуре 17°С регистрировали потребление кислорода (ПО₂) и показатели вентиляции легких: минутный объем дыхания (МОД), коэффициент использования кислорода (КИО₂), дыхательный объем (ДО) и частоту дыхания (ЧД). Затем испытуемые выходили на открытую площадку, где находились в течение 30 минут и при минимальной двигательной активности вдыхали холодный воздух. Выдыхаемый воздух поступал в измерительное устройство, где фиксировался ДО в 1 минуту и ЧД. Измерение проводили в течение 3 минут, затем рассчитывали средний ДО. Определение повторяли три раза с 10-минутными интервалами.

Второй механизм срочной защитной реакции выключения из вентиляции переохлаждаемых микро-

структур респираторной ткани был изучен у 43 рабочих-строителей в возрасте 21- 29 лет, проживших на севере Западной Сибири от 1 до 5 лет. Средний рост обследуемых составлял 175±1 см, масса тела – 73,1±0,1 кг. Исследование проводили в феврале месяце при среднесуточной температуре воздуха от -16° до -37°С. Стандартными методами после 20-минутного отдыха определяли: ПО₂, вентиляцию легких и статические легочные объемы (жизненную емкость легких – ЖЕЛ, емкость вдоха – Евд, резервный объем выдоха – РОвд, остаточный объем легких – ООЛ, функциональную остаточную емкость – ФОЕ). Затем проводили исследование в натуральных условиях, после 30 минут пребывания рабочих на открытом воздухе.

Обработку данных проводили с использованием стандартных программ вариационной статистики. Результаты представлены в виде $M \pm SD$, где M – среднее арифметическое значение, SD – стандартное отклонение. Достоверность различия определяли методом сравнения выборок с попарно связанными вариантами. Функциональные показатели сравнивали методом дисперсионного анализа с использованием критерия Тьюки в группах с разным сроком проживания. Значения с $p < 0,05$ принимались как статистически значимые.

Результаты исследования и их обсуждение

Моментальные защитные реакции. При резком понижении температуры вдыхаемого воздуха включается моментальная защитная реакция, которая достигает максимума через несколько секунд. Она выражается в апноэ, т.е. временной остановке дыхания и может возникнуть у здорового человека зимой при выходе из теплого помещения на воздух с температурой ниже -25°С. Афферентные сигналы с рецепторов кожи носогубного треугольника поступают в дыхательный центр, где тормозят инспираторную активность [10]. Достаточно сильное торможение блокирует сократительные движения диафрагмы и ведет к экспираторной остановке дыхания. Вследствие этого в респираторных отделах легких повышается парциальное давление двуокиси углерода и снижается парциальное давление кислорода. Продолжительность апноэ ограничено требованиями энергетических процессов организма на поступление кислорода. Нарастающие гиперкапния и гипоксия приводят к возникновению так называемого «императивного стимула дыхания», который жестко ограничивает максимальную длительность остановки дыхания и стимулирует начало вдоха [2]. Вдыхание холодного воздуха приводит к апноэ далеко не всегда. Гораздо чаще система внешнего дыхания отвечает на резкое охлаждение воздухоносных путей изменением характера легочной вентиляции.

Срочные защитные реакции. К срочным защитным реакциям при дыхании холодным воздухом можно отнести ограничение глубины вдоха и выключение из вентиляции переохлаждаемых микроструктур респираторной ткани.

Исследование исходного уровня газообмена в помещении, перед выходом на открытый воздух, пока-

зало, что зимой в условиях температурного комфорта и ограниченной двигательной активности, PO_2 у неадаптированных мигрантов и адаптированных жителей Севера составляет в среднем 283 ± 9 мл и соответствует норме для мужчин данного возраста, проживающих в средних широтах. Однако одинаковое потребление кислорода обеспечивается разной вентиляцией. У адаптированных жителей МОД на 20% меньше, чем у неадаптированных ($p < 0,02$). Это различие обусловлено меньшим ДО при более высоком коэффициенте использования кислорода ($p < 0,02$). У неадаптированных жителей после выхода из помещения МОД в течение 20 минут снижается с $12,4 \pm 0,5$ до $9,4 \pm 0,6$ л, составляет 76% от исходного уровня ($p < 0,02$) и в дальнейшем существенно не изменяется. Уменьшение МОД обусловлено в основном уменьшением ДО. Через 20 минут после выхода из помещения он достигает 497 ± 9 мл, что составляет только 66% от его уровня в условиях температурного комфорта. При выходе на открытый воздух ЧД изменяется обратно пропорционально ДО. В первые 10 минут она достигает своего максимального значения, увеличиваясь с $16,5 \pm 0,4$ до $20,4 \pm 1,0$, и остается на этом уровне до конца исследования.

У адаптированных жителей Севера изменение вентиляции легких имеет иной характер. В первые 10 минут МОД у них также снижается, причем даже более интенсивно, чем у неадаптированных, и составляет 64% от исходного уровня ($p < 0,02$). Однако в последующие 10 минут вентиляция быстро увеличивается, переходит через исходный уровень и к 20-й минуте исследования на 29% превышает МОД в условиях температурного комфорта. На таком повышенном уровне МОД остается до конца исследования. Снижение вентиляции легких обусловлено уменьшением дыхательного объема. В конце 10-й минуты он составляет 355 ± 12 мл ($p < 0,02$), но к 20-й минуте исследования до-

стигает величины ДО в условиях температурного комфорта, а к концу исследования на 17% превышает исходные значения. Частота дыхания при выходе на открытый воздух в течение 20 минут равномерно повышается с $15,4 \pm 0,6$ до $20,4 \pm 1,1$ ($p < 0,01$).

Ограничение вентиляции легких при дыхании холодным воздухом рассматривается нами как проявление защитной реакции системы внешнего дыхания и заключается в рефлекторном ограничении глубины вдоха. Уменьшение ДО приводит к ограничению минутной альвеолярной вентиляции и понижению парциального давления кислорода в альвеолах. В результате снижается насыщение крови кислородом (PaO_2). Соответственно снижению PaO_2 и повышению $PaCO_2$, регуляторно увеличивается ЧД. Объем альвеолярной вентиляции при этом восстанавливается, но дыхание становится поверхностным и частым. Восстановление минутного объема альвеолярной вентиляции обеспечивает минимальный уровень основной функции внешнего дыхания, т.е. потребление кислорода, а ограничение ДО усиливает разведение вдыхаемого воздуха в респираторных отделах и таким образом стабилизирует температуру в альвеолах. Причиной ограничения ДО может быть как рефлекторное торможение дыхательной мускулатуры, так и увеличение бронхиального сопротивления. Первое было давно обнаружено при охлаждении термореприцептивных зон лица и слизистой верхних дыхательных путей и крупных бронхов. Второе регистрировалось как в экспериментальных условиях, так и у северян после работы на открытом воздухе [4, 6].

Выключение из вентиляции наиболее охлаждаемых альвеол. Эта защитная реакция, установлена у жителей севера Западной Сибири. У северян, всю зиму работающих на открытом воздухе, система внешнего дыхания имеет ряд особенностей (табл. 1).

Таблица 1

Статические легочные объемы у молодых рабочих-строителей на Обском Севере в теплом помещении и в натуральных зимних условиях ($M \pm m$)

Показатели	Физические значения		В % к должным	
	В помещении	В натуральных условиях	В помещении	В натуральных условиях
PO_2 , мл мин ⁻¹	$328 \pm 8^*$	$374 \pm 10^{**}$	$105 \pm 2,4^*$	$120 \pm 3,4^{**}$
МОД, л мин ⁻¹	$10,2 \pm 0,4^*$	$10,3 \pm 0,3$	$107 \pm 3,8^*$	$108 \pm 3,5$
КИО ₂ , об.‰	$39,7 \pm 1,1$	$44,1 \pm 1,5^{**}$	не нормирован	
ЧД, дых. мин ⁻¹	$13,9 \pm 0,5$	$13,6 \pm 0,4$	$100 \pm 3,6$	$98 \pm 3,7$
ДО, мл	$754 \pm 27^*$	774 ± 24	$110 \pm 3,9^*$	$113 \pm 3,5$
ЖЕЛ, мл	5280 ± 84	5160 ± 88	$101 \pm 1,6$	$98 \pm 1,7$
Евд, мл	3630 ± 81	3640 ± 74	$103 \pm 2,3$	$103 \pm 2,1$
РОВд, мл	1630 ± 49	1520 ± 42	$96 \pm 2,9$	$89 \pm 2,5$
ООЛ, мл	$2100 \pm 65^*$	$1910 \pm 82^{**}$	$112 \pm 3,5^*$	$102 \pm 4,4^{**}$
ФОВ, мл	3740 ± 95	$3440 \pm 106^{**}$	$105 \pm 2,7^*$	$97 \pm 2,7^{**}$

Примечание: * – различия с нормой для Западной Сибири достоверны ($p < 0,02$); ** – различия со значениями «в помещении» достоверны.

Во-первых, PO_2 у них выше нормы. Оно обеспечивается адекватно увеличенной вентиляцией при нормальной её эффективности. Увеличение МОД происходит только за счет ДО, т.к. ЧД не изменяется. Кроме того, у них на 10% увеличен ООЛ ($p < 0,02$).

При дыхании холодным воздухом в течение 30 минут, у обследованных рабочих ЖЕЛ, Евд, РОвыд достоверно не изменялись, что указывает на стабильность морфологических параметров легких к действию холода. В то же время, ФОЕ на холоде достоверно уменьшалась. Разница составляла в среднем 300 мл или 8%. Соответственно становился меньше и ООЛ. Выраженность уменьшения ФОЕ зависит от температуры вдыхаемого воздуха. Анализ показал, что уменьшение начинается при температуре от -15° до $-20^\circ C$, но до $-30^\circ C$ оно выражено слабо и составляет всего 80-150 мл. Существенные изменения наблюдаются только при температуре ниже $-30^\circ C$. Тогда ФОЕ уменьшается на 20-22% от значений показателя в теплом помещении [3].

У здорового человека уменьшение ФОЕ возможно только вследствие прекращения вентиляции части респираторной ткани. Поскольку в тепле и на холоде были одни и те же люди, а ригидность грудной клетки за короткое время изменяться не может, то внутригрудной объем воздуха при максимальном выдохе тоже должен быть постоянным. Известно, что он складывается из объема альвеолярного газа функционирующих ацинусов и объема альвеолярного газа в резервной ткани респираторных отделов легких. При дыхании низкотемпературным воздухом ООЛ уменьшается. Это означает, что часть респираторной ткани отключается от вентиляции и переходит в функциональный резерв. Отключение может быть результатом перекрытия терминальных бронхиол и прекращения вентиляции в ацинусах, но более вероятно, что закрываются входы в альвеолы в проксимальных микроструктурах ацинусов. Таким способом от действия холодного воздуха изолируется наиболее охлаждаемая часть респираторной поверхности. Постепенное зарастание входов в проксимальные альвеолы у адаптированных мигрантов было доказано морфологически [19].

Реакция системы внешнего дыхания на длительное действие холодного воздуха. Ранее было установлено, что у здоровых мужчин в зимнее время года значительно увеличены ФОЕ и ООЛ [3]. Было высказано предположение, что эту функциональную особенность следует рассматривать как проявление физиологической реакции, направленной на защиту респираторной ткани от переохлаждения. Позднее были установлены основные критерии этой реакции: увеличение ООЛ больше 120% и ФОЕ больше 125% должных значений при нормальных величинах ЖЕЛ, Евд и РОвыд [1, 21]. Детальное изучение механизмов изменения ФОЕ в различных условиях и при различных состояниях организма показало, что её увеличение обусловлено раскрытием резервных ацинусов, которые включаются в вентиляцию и газообмен [3, 22].

Связь защитной реакции с длительным воздействием холодного воздуха на систему внешнего дыха-

ния была изучена у здоровых мужчин в Магадано-Чукотском регионе и Западной Сибири (всего более 1000 человек). Использовали стандартные методы оксипириграфии, пневмотахографии и определение статических легочных объемов гелиевым методом. Установлено, что среди юношей-призывников в Магаданской области при $0^\circ C$ встречаемость лиц с увеличенными ООЛ и ФОЕ даже меньше средних значений для контингентов, находящихся в нормальных экологических условиях. При понижении среднесуточной температуры от 0° до $-10^\circ C$ встречаемость повышается незначительно, но с -10° до $-24^\circ C$ она интенсивно нарастает, достигая 48,9% при $-24^\circ C$, т.е. увеличивается в 4 раза ($p < 0,02$).

Понижение температуры воздуха не только вызывает защитную реакцию, но и влияет на ее интенсивность. При $0^\circ C$ величина ООЛ у юношей с защитной мобилизацией резервной ткани в среднем составляет 136,8% должных значений, а при более низких температурах отмечается её прирост на 16-17%. Соответственно изменяется и ФОЕ. Интенсивность реакции от 0° до $-20^\circ C$ нарастает линейно, и при $-20^\circ C$, по-видимому, достигает возможного максимума, т.к. дальнейшее понижение температуры воздуха на неё не влияет. Коэффициент корреляции между величиной ООЛ и среднесуточной температурой воздуха равен 0,45 ($p < 0,02$), т.е. чем больше снижается температура вдыхаемого воздуха, тем сильнее он разводится в респираторных отделах легких.

Увеличение ФОЕ и ООЛ при включении защитной реакции сопровождается функциональными изменениями (табл. 2). У юношей без защитной реакции все показатели функции и аппарата внешнего дыхания не выходят за пределы нормы. Энергетические потребности организма несколько повышены, но отличие от европейской нормы недостоверно. Потребление кислорода обеспечивается эффективной вентиляцией. Значения ООЛ, приближающиеся к нижней границе нормы, показывают, что он задействован не полностью, т.е. резервы аппарата велики. У юношей с проявлениями защитной реакции (увеличение ФОЕ и ООЛ больше 120 и 125% должных величин, соответственно) остальные статические легочные объемы достоверно не изменены. При этом у них сильно увеличена легочная вентиляция (МОД) при сниженной ее эффективности (KIO_2), т.е. имеет место типичная гипервентиляция, которая компенсирует замедление газообмена в респираторных отделах легких.

Механизм защитной реакции заключается в раскрытии терминальных бронхиол резервных ацинусов и их включении в вентиляцию, в результате чего вентилируемый объем легких увеличивается, а отношение вентиляционного объема легких к вентилируемому уменьшается. При этом действие низкой температуры вдыхаемого воздуха ослабляется и температурный гомеостаз в респираторных отделах легких сохраняется.

Усиление разведения вдыхаемого воздуха в альвеолярном газе одновременно уменьшает парциальное давление кислорода в альвеолах и уменьшает разницу PO_2 в альвеолах и венозной части легочных капилля-

ров. В результате, согласно закону Фика, скорость диффузии кислорода через альвеолярно-капиллярную мембрану уменьшается и газообмен замедляется. Последующее снижение PO_2 в артериальной крови приводит к возникновению гипоксического стимула, включающего компенсаторную гипервентиляцию, которая восстанавливает PaO_2 , однако эффективность вентиляции при этом значительно снижается. Соответственно механизму, основные проявления реакции сводятся к увеличению ФОЕ и ООЛ (>120-123% должных значений), увеличению МОД (>120% ДМОД) и снижению КИО₂ (<35 об.‰).

Таблица 2
Показатели внешнего дыхания у здоровых
юношей, жителей г. Магадана ($M \pm m$)

Показатели	Значения показателей, % к должным	
	Группа без увеличения ООЛ (n=90)	Группа с увеличенным ООЛ (n=90)
PO_2	107±2,6	92±2,7*
МОД	97±2,1	129±4,1*
КИО ₂ ▼	44,3±0,8	31,0±1,3*
ЧД	100±2,7	108±2,8
ДО	103±3,3	123±3,8*
ЖЕЛ	110±1,2	112±1,3
Евд	113±1,6	117±1,9
РОВЫД	105±1,7	105±1,6
ООЛ	86±1,9	151±3,2*
ФОЕ	96±1,3	127±1,8*

Примечание: ▼ – показатель не нормирован; * – различия показателей в группах достоверны ($p < 0,02$).

Этот механизм объясняет все функциональные изменения, которые наблюдаются после включения защитной реакции. Становится понятным и снижение кислородного запроса организма, часто отмечаемое у северян [5, 6]. Постоянная альвеолярная гипоксия вызывает изменение тканевого дыхания с переходом энергетических процессов на более экономный режим. Подобные изменения хорошо изучены при кратковременных и длительных гипоксических тренировках [11]. Таким образом, защитная реакция поддерживает гомеостаз в респираторных отделах легких и оказывает тренирующее воздействие на организм.

Защитная мобилизация респираторных отделов легких у жителей регионов Севера является устойчивым функциональным изменением [20]. Она всегда сохраняется при возвращении человека с улицы в условия температурного комфорта. Включаясь осенью при понижении среднесуточной температуры наружного воздуха до 0°C, она стабильно поддерживается всю зиму и ослабевает у части мужчин только весной в апреле месяце, а у части проявляется до начала лета

[17, 23]. Для её поддержания в начале зимы необходим ежедневный контакт с холодным воздухом, а в середине зимы – хотя бы еженедельный.

Заключение

Подводя итог, можно заключить, что на действие низкой температуры воздуха система внешнего дыхания отвечает четырьмя защитными реакциями. При очень резком охлаждении вдыхаемого воздуха может произойти моментальная рефлекторная остановка дыхания (апноэ). При меньшем перепаде температуры включается срочная реакция ограничения дыхательного объема, которая достигает максимума через 10-20 минут. У людей, адаптированных к климатическим условиям Севера, реакция через 10 минут исчезает, а у неадаптированных сохраняется, приводя к гипоксии и «полярной одышке». При длительном дыхании холодным воздухом добавляется вторая срочная реакция, которая в течение 30 минут приводит к выключению из вентиляции и газообмена наиболее охлаждаемых альвеол.

На длительное действие низкой температуры воздуха в субэкстремальном диапазоне система внешнего дыхания отвечает замедленной защитной реакцией. Ослабляя повреждающее действие экологического фактора, защитная реакция одновременно ограничивает газообмен, что приводит к компенсаторной гипервентиляции и напряжению аппарата внешнего дыхания

ЛИТЕРАТУРА

1. Патология человека на Севере / А.П.Авцын [и др.]. М.: Медицина, 1985. 415 с.
2. Бреслав И.С., Ноздрачев А.Д. Дыхание. Висцеральный и поведенческий аспекты. СПб.: Наука, 2005. 307 с.
3. Изменение легочного газообмена при дыхании холодным воздухом у некоренных жителей Севера / О.В.Гришин [и др.] // Физиология человека. 1998. Т.24, №1. С.92–96.
4. Гришин О.В., Симонова Т.Г. Легочная вентиляция и газообмен при дыхании воздухом разных температур // Физиология человека. 1998. Т.24, №5. С.44–47.
5. Гришин О.В., Устюжанинова Н.В. Дыхание на Севере. Функция. Структура. Резервы. Патология. Новосибирск: Арт-Авеню, 2006. 253 с.
6. Гудков А.Б., Попова О.Н. Внешнее дыхание человека на Европейском Севере. Архангельск: Северный гос. мед. ун-т. 2012. 252 с.
7. Заболеваемость взрослого населения в регионах Сибири / под ред. В.А.Труфакина, Б.П. Маштакова. Новосибирск: Здравоохранение Сибири, 1997. 103 с.
8. Здравоохранение в России (статистический сборник). М.: Росстат. 2009. 365 с.
9. Здоровье трудящихся промышленных предприятий Севера / В.Р.Кейль [и др.]. Новосибирск: Наука, 2005. 228 с.
10. Козырева Т.В., Симонова Т.Г. Гришин О.В. Влияние локального охлаждения кожи на спирометрические показатели человека // Бюл. СО РАМН. 2002. №1. С.71–73.

11. Колчинская А.З., Цыганова Т.Н., Остапенко Л.А. Нормобарическая интервальная гипоксическая тренировка в медицине и спорте. М.: Медицина, 2003. 408 с.

12. Колосов В.П., Перельман Ю.М., Гельцер Б.И. Реактивность дыхательных путей при хронической обструктивной болезни легких. Владивосток: Дальнаука, 2006. 184 с.

13. Эпидемиологические особенности болезней органов дыхания на территории Дальневосточного региона / Л.Г.Манаков [и др.] // Бюл. физиол. и патол. дыхания. 2009. Вып.33. С.34–38.

14. Митрофанов И.М., Шургая А.М., Гришин О.В. Оценка комплексного влияния факторов риска на возникновение и развитие хронической патологии в условиях Севера по данным эпидемиологических обследований центра ВОЗ/Синди «Новосибирск-Мирный» // Бюл. СО РАМН. 1996. №12. С.49–55.

15. Перельман Ю.М. Актуальные аспекты экологической физиологии дыхания // Бюл. физиол. и патол. дыхания. 2001. Вып.8. С.20–26.

16. Перельман Ю.М., Прилипко Н.С. Гиперреактивность дыхательных путей при хроническом бронхите // Бюл. физиол. и патол. дыхания. 1998. Вып.1. С.28–34.

17. Прилипко Н.С., Перельман Ю.М. Сезонные изменения вентиляционной функции легких и реактивности дыхательных путей у здоровых людей // Физиология человека. 1990. Т.16, №4. С.97–102.

18. Приходько А.Г., Перельман Ю.М., Колосов В.П. Гиперреактивность дыхательных путей. Владивосток: Дальнаука, 2011. 203 с.

19. Уманцева Н.Д., Куличевский Д.В., Белобородов Г.С. Морфологическая основа увеличения функционального мертвого пространства у жителей Севера // Морфологические критерии дизадаптации дыхательной системы к факторам внешней среды: материалы республ. науч.-практ. конф. Благовещенск, 1985. Ч.1. С.76–78.

20. Состояния пульмонологического риска и их связь с заболеваниями органов дыхания у студентов в Новосибирске / Г.С.Шишкин [и др.] // Бюл. физиол. и патол. дыхания. 2004. Вып.19. С.17–21.

21. Шишкин Г.С., Гришин О.В., Куличевский Д.В. Механизмы гипервентиляции у жителей Севера // Вестник РАМН. 1994. №2. С.34–36.

22. Защитная реакция системы внешнего дыхания на длительное действие экологических факторов / Г.С.Шишкин [и др.] // Вестник РАМН. 1998. №9. С.45–48.

23. Gulyaeva V., Shishkin G.S., Grishin O. Seasonal variations in respiratory system in healthy inhabitants of West Siberia // Int. J. Circumpolar Health. 2001. Vol.60, №2. P.334–338.

24. Koskela H.O. Cold air-provoked respiratory symptoms: the mechanisms and management // Int. J. Circumpolar Health. 2007. Vol.66, №2. P.91–100.

REFERENCES

1. Avtsyn A.P., Zhavoronkov A.A., Marachev A.G., Milovanov A.P. *Patologiya cheloveka na Severe* [Human

pathology in the North]. Moscow: Meditsina; 1985.

2. Breslav I.S., Nozdrachev A.D. *Dykhaniye. Vistseral'nyy i povedencheskiy aspekty* [Respiration visceral and behavioral aspects]. St. Petersburg: Nauka; 2005.

3. Grishin O.V., Mitrofanov I.M., Shurgaya A.M., Nikolskaya O.E., Molchanov A.B. *Fiziologiya cheloveka* 1998; 24(1):92–96.

4. Grishin O.V., Simonova T.G. *Fiziologiya cheloveka* 1998; 24(5):44–47.

5. Grishin O.V., Ustuzaninova N.V. *Dykhaniye na Severe. Funktsiya. Struktura. Rezervy. Patologiya*. [Breathing in the North. Function. Structure. Reserves. Pathology]. Novosibirsk: Art-Avenue, 2006. 253 p.

6. Gudkov A.B., Popova O.N. *Vneshnee dykhaniye cheloveka na Evropeyskom Severe* [Human external respiration in European North]. Arkhangelsk; 2009.

7. Trufakin V.A., Mashtakov B.P., editors. *Zabolevayemost' vzroslogo naseleniya v regionakh Sibiri* [The incidence of the adult population in the regions of Siberia]. Novosibirsk: Zdravookhraneniye Sibiri; 1997.

8. Healthcare in Russia (statistical yearbook). Moscow: Federal State Statistics Service; 2009.

9. Keyl V.R., Kuznetsova I.Yu., Mitrofanov I.M., Nikolaev Yu.A., Odintsov S.V., Selyatitskaya V.G., Shurgaya A.M. *Zdorov'e trudyashchikhsya promyshlennykh predpriyatiy Severa* [The health of people working in the industrial factories of the North]. Novosibirsk: Nauka; 2005.

10. Kozyreva T.V., Simonova T.G., Grishin O.V. *Byulleten' Sibirskogo otdeleniya Rossiiskoy Akademii Meditsinskikh Nauk* 2002; 1:71–73.

11. Kolchinskaya A.Z., Tsyganova T.N., Ostapenko L.A. *Normobaricheskaya interval'naya gipoksicheskaya trenirovka v meditsine i sporte* [Normobaric interval hypoxic training in medicine and sports]. Moscow: Meditsina; 2003.

12. Kolosov V.P., Perelman J.M., Gel'tser B.I. *Reaktivnost' dykhatel'nykh putey pri khronicheskoy obstruktivnoy bolezni legkikh* [Airway reactivity in chronic obstructive pulmonary disease]. Vladivostok: Dal'nauka; 2006.

13. Manakov L.G., Kolosov V.P., Serova A.A., Gordyechuk I.N. *Bulleten' fiziologii i patologii dyhaniya* 2009; 33:34–38.

14. Mitrofanov I.M., Shurgaya A.M., Grishin O.V. *Byulleten' Sibirskogo otdeleniya Rossiiskoy Akademii Meditsinskikh Nauk* 1996; 12:49–55.

15. Perelman J.M. *Bulleten' fiziologii i patologii dyhaniya* 2001; 8:20–26.

16. Perelman J.M., Prilipko N.N. *Bulleten' fiziologii i patologii dyhaniya* 1998; 1:28–34.

17. Prilipko N.N., Perelman J.M. *Fiziologiya cheloveka* 1990; 16(4):97–102.

18. Prikhodko A.G., Perelman J.M., Kolosov V.P. *Giperreaktivnost' dykhatel'nykh putey* [Airway hyperreactivity]. Vladivostok: Dal'nauka; 2011.

19. Umantseva N.D., Kulichevsky D.V., Beloborodov G.S. *Respublikanskaya konferentsiya «Morfologicheskie kriterii dizaaptatsii dykhatel'noy sistemy k faktoram vneshney sredy»* (Republican Conference «Morphological criteria of the respiratory system dysadaptation to environ-

mental factors»). Blagoveshchensk; 1985 (Pt.1):76–78.

20. Shishkin G.S., Grishin O.V., Ustuzaninova, N.V., Gulyaeva V.V., Umantseva N.D. *Bulleten' fiziologii i patologii dyhaniya* 2004; 19:17–21.

21. Shishkin G.S., Kulichevsky D.V., Petruniev S.A., Grishin O.V. *Byulleten' Sibirskogo otdeleniya Rossiiskoy Akademii Meditsinskikh Nauk* 1994; 2:34–36.

22. Shishkin G.S., Preobrazhenskaya V.K., Krasulina G.P., Bystrova N.P., Umantseva N.D., Gulyaeva V.V. *Vest-*

nik Rossiiskoi Akademii Meditsinskikh Nauk 1998; 9:45–48.

23. Gulyaeva V., Shishkin G.S., Grishin O. Seasonal variations in respiratory system in healthy inhabitants of West Siberia. *Int. J. Circumpolar Health* 2001; 60(2):334–338.

24. Koskela H.O. Cold air-provoked respiratory symptoms: the mechanisms and management. *Int. J. Circumpolar Health* 2007; 66(2):91–100.

Поступила 06.11.2013

Контактная информация

Нина Витальевна Устюжанинова,

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории физиологии дыхания,
НИИ физиологии и фундаментальной медицины Сибирского отделения РАМН,

630117, г. Новосибирск, ул. Тимакова, 4.

E-mail: nvu@physiol.ru

Correspondence should be addressed to

Nina V. Ustuzaninova,

PhD, Senior staff scientist of Laboratory of Physiology of Respiration,
Research Institute of Physiology and Fundamental Medicine of Siberian Branch RAMS,
4 Timakova Str., Novosibirsk, 630117, Russian Federation .

E-mail: nvu@physiol.ru