

**Пантелеева Н.И., Фокин А.А., Рощевская И.М.**  
Отдел сравнительной кардиологии Коми научного центра  
Уральского отделения РАН, г. Сыктывкар  
E-mail: bdr13@mail.ru

## **ФУНКЦИЯ ВНЕШНЕГО ДЫХАНИЯ ЖИТЕЛЕЙ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА ПРИ ОСТРОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ГИПОКСИЧЕСКОЙ И ГИПЕРОКСИЧЕСКОЙ ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ**

Кислородтранспортная функция дыхательной и сердечно-сосудистой систем человека определяет интенсивность окислительно-восстановительных и терморегуляторных реакций организма, поэтому нормальное функционирование респираторной системы особенно значимо для проживания в условиях холодного климата. Геоклиматическая особенность Северных территорий России характеризуется резкими перепадами температур воздуха, высокой изменчивостью метеофакторов и гипоксией. Этот комплекс факторов приводит к значительному напряжению дыхательной системы, способствуя развитию легочных патологий. Изучение внешнего дыхания у жителей Севера при провокации контрастных дыхательных режимов представляется важной задачей экологической физиологии.

Исследована реакция респираторной системы на гипоксическое и гипероксическое воздействие у молодых мужчин, проживающих на территории Европейского Севера. Гипоксическое воздействие проводили при 15-минутном дыхании воздухом с содержанием кислорода 11,0–12,3%, гипероксическое воздействие проводили при 60 минутной экспозиции воздухом с содержанием кислорода 75–85%. Таким образом, особенности функционирования респираторной системы северян, сформированные долговременной адаптацией проживанием в холодном климате, проявились в отличных от нормативных показателях скоростных и объемно-скоростных характеристиках внешнего дыхания, и отразились в незначительной реактивности вентиляционной функции при кратковременном действии контрастных кислородных режимов. Компенсаторные реакции системы внешнего дыхания при воздействии измененной газовой среды происходили не за счет легочных объемов, а были направлены на изменение бронхиального сопротивления.

**Ключевые слова:** Европейский Север, функция внешнего дыхания, гипоксия, гипероксия.

Северные регионы России характеризуются неблагоприятными для функционирования организма климатогеографическими условиями, дискомфортными для проживания и трудовой деятельности. У жителей Севера происходит структурно-приспособительная перестройка респираторной системы, обеспечивающая гомеостатическое равновесие в условиях долговременного контакта с холодным воздухом – защиту от переохлаждения и теплопотерь, уменьшение энергозатрат, затраченных на кондиционирование и увлажнение поступающего воздуха [4], [6]. У северян выявлено рефлекторное сужение просвета бронхов, приводящее к более учащенному и углубленному дыханию в покое и при выполнении нагрузки, повышенное сопротивление воздухоносных путей, гипервентиляционный синдром, снижение минутного объема дыхания, коэффициента использования кислорода, вызывающие скрытую гипоксическую нагрузку на организм и увеличивающие потребность в повышенном газообмене [7], [10].

Исследование влияния искусственно созданной гипоксии на организм человека позволило выявить основные закономерности в реагировании респираторной системы на кислородную недостаточность: происходит интенсификация дыхания, усиление газообмена и повышение эффективности использования кислорода [3]. Исследования объемно-скоростных характеристик функции внешнего дыхания при изменении кислородного режима немногочисленны. Повышение концентрации кислорода до 80% при давлении в 1 атмосферу считается безвредным для организма человека, снижает частоту дыхания за счет активации синокаротидного рефлекса, приводящего к торможению дыхательного центра [11]. Исследования по сочетанному гипоксическому и гипероксическому влиянию на человека немногочисленны и затрагивают, в основном биохимические параметры крови, электрофизиологические характеристики высших нервных центров.

Исследование реакции системы внешнего дыхания на контрастные кислородные режимы у жителей Севера, имеющих повышенную на-

грузку на дыхательную систему со стороны холодного климата, является актуальной задачей экологической физиологии.

### Методы исследования

Исследования выполнены на базе Отдела сравнительной кардиологии Коми НЦ УрО РАН на практически здоровых молодых мужчинах 18–22 лет ( $n=7$ ). Участники были предварительно ознакомлены с правилами и методами проведения исследования, предупреждены о возможных негативных последствиях, после чего обследуемые дали письменное добровольное информированное согласие участвовать в исследовании.

Изучено влияние острой нормобарической гипоксии (ОГ) и острой гипероксии (ОГР) на функцию внешнего дыхания (ФВД) у практически здоровых юношей ( $20\pm 1$  лет (здесь и далее  $M\pm SD$ ), масса тела  $75\pm 8$  кг, длина тела  $178\pm 4$  см) в зимнее время года (февраль). Гипоксическое воздействие проводили через лицевую маску при 15-минутном дыхании воздухом, обедненным кислородом (содержание кислорода 11,0–12,3%, кислородный медицинский концентратор фирмы K $\ddot{o}$ ber, Германия, переоборудованный в гипоксикатор, согласно свидетельству на полезную модель №24098 от 27 июля 2002 г.). Гипероксическое воздействие проводили через лицевую маску при 60-минутной экспозиции воздухом, обогащенным кислородом (содержание кислорода 75–85%, кислородный гипероксикатор, «Армед», Россия). Регистрацию параметров ФВД проводили сразу после снятия лицевой маски. Воздействия гипоксическими и гипероксическими газовыми смесями проводили в специально оборудованном кабинете с комфортной температурой в положении испытуемых сидя.

Параметры ФВД измеряли портативным спирометром (Spirobank G, MIR, Италия). Оценивали объемные показатели ФВД – жизненную емкость легких (ЖЕЛ, л), форсированную жизненную емкость легких на вдохе и выдохе (ФЖЕЛвд и ФЖЕЛвыд, л), скоростные показатели – объемную форсированную скорость вдоха и выдоха за первую секунду экспирации (ОФВ1вд и ОФВ1выд, л), пиковую объемную скорость (ПОС, л/с), мгновенную объемную скорость (МОС<sub>25–75</sub>, л/с), максимальную венти-

ляцию легких (МВЛ, л/мин), индекс Тиффно (ОФВ1выд/ФЖЕЛ). Относительно должных величин (условно принятых за 100%, разработаны эмпирическим путем для жителей средней полосы России) [5] оценивали показатели ФВД исследуемых при помощи программного обеспечения портативного спирометра.

Статистическую обработку результатов проводили с помощью программы STATISTIKA10.0 (StatSoft, США) Нормальность распределения значений определяли по критерию Шапиро-Уилка. Полученные результаты подчинялись закону нормального распределения, поэтому анализ проводили при помощи параметрического парного теста для различий «до-после», результаты представлены в виде средней арифметической  $\pm$  стандартное отклонение ( $M\pm SD$ ). Статистически значимыми различия считали при уровне  $p<0,05$ .

### Результаты исследования

В результате проведенного исследования выявлено, что объемные показатели респираторной системы в условиях измененных кислородных режимов у обследованных лиц существенно не изменялись по сравнению с исходными и составили: ЖЕЛ  $5,76\pm 0,82$  л,  $5,53\pm 0,78$  л,  $5,39\pm 0,55$  л в исходном состоянии, после ОГ и ОГР, соответственно; ФЖЕЛвыд и ФЖЕЛвд –  $5,26\pm 0,59$  л и  $5,12\pm 0,9$  л в исходном состоянии,  $5,26\pm 0,81$  л и  $5,32\pm 1,02$  л после ОГ,  $5,02\pm 0,86$  л и  $4,96\pm 1,11$  л после ОГР.

Индекс Тиффно (ОФВ1выд/ФЖЕЛ), позволяющий исключить обструктивные изменения в бронхиальном древе, у всех обследованных был выше 75% (что является показателем нормы [5] и существенно не изменился при смене кислородного режима:  $87,27\pm 4,72$  в исходном состоянии,  $87,64\pm 5,21$  после ОГ,  $85,88\pm 5,21$  после ОГР.

Пиковая объемная скорость и объем форсированного выдоха обследованных людей за первую секунду в исходном состоянии значительно различались от должных значений для соответствующей возрастной группы (рис. 1).

После воздействия ОГ и ОГР существенных различий ПОС и ОФВ1выд с исходными и должными значениями у обследованных людей нет.

В исходном состоянии и сразу после воздействия гипоксии и гипероксии значения

МОС<sub>25</sub>, МОС<sub>75</sub> и МОС<sub>2575</sub> у участников исследования значительно различались от должных показателей (рис. 2).

Значения МОС<sub>50</sub> у обследованных практически не различались от должных и составили: в исходном состоянии  $5,85 \pm 0,36$  л, после ОГ –  $5,75 \pm 0,93$  л, после ОГР –  $5,83 \pm 0,61$  л.

Максимальная вентиляция легких у обследованных лиц в исходном состоянии ( $182,77 \pm 39,17$  л/мин), после ОГ ( $188,97 \pm 34,87$  л/

мин) и ОГР ( $170,60 \pm 22,65$  л/мин) была достоверно выше должных величин ( $154,43 \pm 4,71$  л/мин), после ОГ  $p < 0,05$ . По сравнению с исходными показателями на воздействие ОГ МВЛ обследованных лиц незначительно увеличилось, на ОГР – уменьшилось.

На воздействие ОГ и ОГР не выявлено существенного изменения параметров ФВД у обследованных относительно исходных величин, но по сравнению с должными значениями

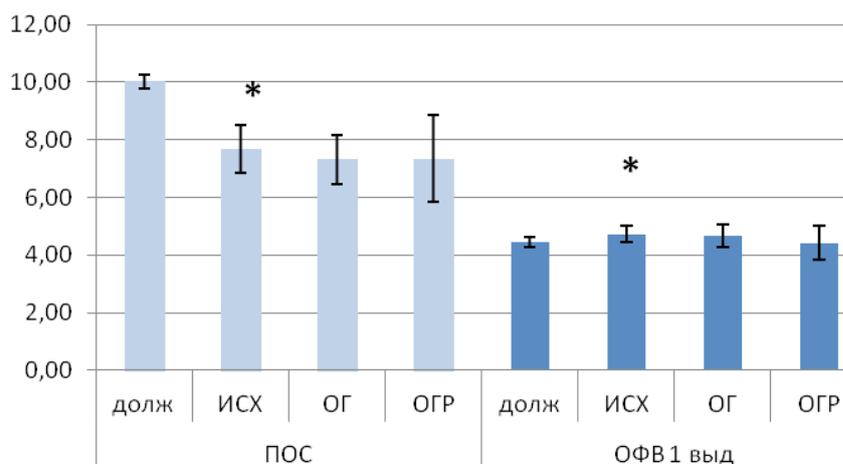


Рисунок 1 – Пиковая объемная скорость (ПОС, л) и объем форсированного выдоха за 1 секунду экспирации (ОФВД1выд, л/с) у обследованных лиц – должная (долж), в исходном состоянии (ИСХ), при острой гипоксии (ОГ) и гипероксии (ОГР), результаты представлены в виде средней арифметической  $\pm$  стандартное отклонение (M $\pm$ SD)  
Примечание: \* – статистически значимо по сравнению с должными показателями

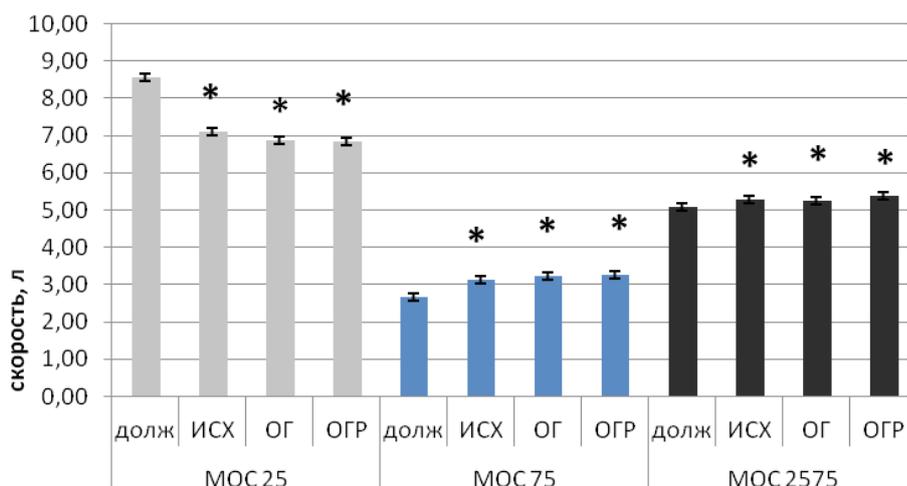


Рисунок 2 – Мгновенная объемная скорость выдоха на уровне крупных (МОС<sub>25</sub>) и мелких бронхов (МОС<sub>75</sub>), общая проходимость бронхов (МОС<sub>2575</sub>) у обследованных лиц: должные (долж), в исходном состоянии (ИСХ), после действия острой гипоксии (ОГ) и острой гипероксии (ОГР).  
Примечание: \* – статистически значимо по сравнению с должными показателями

показаны статистически значимые различия скоростных и объемно-скоростных характеристик в исходном состоянии и после влияния гипоксической и гипероксической дыхательной смесью.

### Обсуждение результатов

У обследованных нами людей величины ФЖЕЛ и ЖЕЛ в исходном состоянии не различались значимо с должными величинами. Нет единого мнения о величине ЖЕЛ, характерной для уроженцев Севера: одни авторы считают, что она превышает показатели жителей центральной России, что связывают с потенциальной способностью северян увеличивать легочную вентиляцию [1], [9], другие указывают, что она практически сходна с показателями уроженцев средней полосы [7], [8]. Кратковременное гипоксическое воздействие приводит к существенному изменению ЖЕЛ [3]. Длительное гипероксическое воздействие (более 10 часов) приводит к уменьшению ЖЕЛ, вызванной, по мнению авторов, снижением растяжимости легких из-за уменьшения пластичности альвеолярной пленки, тогда как менее продолжительное влияние высокой концентрации кислорода не приводило к значительным изменениям дыхательных объемов [2]. В нашем исследовании после ОГ и ОГР у обследованных лиц ФЖЕЛ и ЖЕЛ остались практически на исходном уровне.

Скоростные показатели ФВД – ПОСвд и ОФВ1 позволяют оценить общую проходимость бронхиального дерева, судить о максимальной скорости выдоха и, таким образом, выявлять возможные обструктивные изменения: снижение показателей ПОСвд и ОФВ1 свидетельствует о рестриктивных изменениях, снижении эластичности дыхательной системы [5], а также возможно и от состояния основных и вспомогательных респираторных мышц. В исходном состоянии у обследованных лиц ПОСвд была значимо меньше, а ОФВ1 значимо больше должных величин. Воздействие ОГ и ОГР вызвало дополнительное незначительное снижение ПОСвд. Снижение ОФВ при смене кислородных режимов привело к достижению этого показателя уровня должных величин. Изменился и другой скоростной показатель ФВД – проходимость дыхательных путей на уровне

крупных бронхов (МОС25) – его значение у обследованных лиц было значимо меньше, чем должные величины в исходном состоянии и снизилось при действии ОГ и ОГР. Повышенное содержание кислорода во вдыхаемом воздухе изменяет свободно-радикальное окисление посредством смещения баланса окисленной-восстановленной формы  $O_2$  в тканях, вследствие чего повреждаются слизистые оболочки, изменяется паттерн дыхательных движений и т. д. [11], что может лежать в основе изменения ПОСвд, ОФВ1 и МОС25 при гипероксии у обследованных нами лиц. Изменение механизма дыхания при кислородной недостаточности (гипервентиляция) вероятно, привело к изменению основных общих скоростных характеристик ФВД у обследуемых. Проходимость на уровне мелких бронхов – показатель МОС75 – у обследованных нами лиц были значимо больше должных величин в исходном состоянии, и при влиянии ОГ и ОГР существенно не изменились. У жителей Европейского Севера значения мгновенной объемной скорости больше таковых у жителей средней полосы России [6], [9].

Величина МВЛ характеризует вентиляционную функцию и функциональные резервы респираторной системы, делает возможным оценить механические свойства системы внешнего дыхания. У обследованных нами лиц в исходном состоянии значения МВЛ при ОГ и ОГР достоверно не различались от должных и исходных показателей. По одним данным у уроженцев Европейского Севера МВЛ превышает должные величины [9], по другим – меньше должных [7], [8].

Таким образом, исследована реакция респираторной системы на гипоксическое и гипероксическое воздействие у лиц, проживающих на территории Европейского Севера. Особенности функционирования системы внешнего дыхания, сформированные у жителей Севера долговременной адаптацией к условиям нахождения в холодном воздухе, привели к тому, что вентиляционная функция у северян не изменяется при кратковременном действии разных кислородных режимов. У обследованных нами жителей Севера в исходном состоянии фактические величины статических легочных объемов и емкостей не имели существенных отклонений от должных значений, тогда как скоростные и

объемно-скоростные характеристики функции внешнего дыхания статистически значимо отличались от должных значений, однако не изменялись при смене кислородного режима. При воздействии газовой смеси с измененной концентрацией кислорода у обследованных лиц происходило снижение проходимости на уровне

крупных бронхов, пиковой объемной скорости и объема форсированного выдоха, компенсаторные реакции системы внешнего дыхания при воздействии измененной газовой среды происходили не за счет легочных объемов, а были направлены на изменение бронхиального сопротивления.

05.09.2016

**Работа выполнена при поддержке  
Комплексной программы Уральского отделения РАН №0412-2015-0006**

**Список литературы:**

1. Бартош, О.П. Региональные особенности внешнего дыхания в экологических условиях северо-востока России / О.П. Бартош, А.Я. Соколов // Физиология человека. – 2006. – Т. 32. – №3. – С. 70–78.
2. Генин, А.М. Физиологические критерии ранних токсических проявлений нормобарической гипероксии / А.М. Генин, М.А. Тихонов, В. Малкин. – М.: Изв.АН СССР, 1973. – №3. – С. 378–390.
3. Горанчук, В.В. Гипокситерапия / В.В. Горанчук, Н.И. Сапова, А.О. Иванов. – СПб., 2003. – 536 с.
4. Гришин, О.В. Дыхание на Севере. Функция. Структура. Резервы. Патология / О.В. Гришин, Н.В. Устюжанинова. – Новосибирск, 2006. – С. 45–50.
5. Клемент, Р.Ф. Функционально-диагностические исследования в пульмонологии / Р.Ф. Клемент, Н.А. Зильбер. – СПб. – 1993. – 47 с.
6. Копытова, Н.С. Сезонные изменения функционального состояния системы внешнего дыхания у жителей Европейского Севера России / Н.С. Копытова, А.Б. Гудков // Экология человека. – №10. – 2007. – С. 41–43.
7. Куликов, В.Ю. Кислородный режим при адаптации человека на Крайнем Севере / В.Ю. Куликов, Л.Б. Ким. – Новосибирск: Наука, 1987. – 159 с.
8. Марачев, А.Г. Циркумпольярный гипоксический синдром и его диагностические критерии / А.Г. Марачев // Региональные особенности здоровья жителей Заполярья. – Новосибирск, 1983. – С. 98–102.
9. Гудков, А.Б. Внешнее дыхание человека на Европейском Севере / А.Б. Гудков, О.Н. Попова. – Архангельск, изд-во Северного гос. мед. университета. – 2012. – 251 с.
10. Чеснокова, В.Н. Сезонная динамика параметров кардиореспираторной системы у юношей, проживающих на Европейском Севере России / В.Н. Чеснокова, И.Г. Мосягин // Экология человека. – 2009. – 08. – С. 7–11.
11. Oriani, G. Handbook of hyperbaric medicine / G. Oriani, A. Marroni, F. Wattel. – В.: Springer. – 1996. – 902 p.

**Сведения об авторах:**

**Пантелеева Наталья Ивановна**, научный сотрудник Отдела сравнительной кардиологии  
Коми научного центра УрО РАН  
167982, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 24, e-mail: bdr13@mail.ru

**Фокин Андрей Александрович**, младший научный сотрудник Отдела сравнительной кардиологии  
Коми научного центра УрО РАН  
167982, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 24, e-mail: fokin.90@inbox.ru

**Рошевская Ирина Михайловна**, заведующая Отделом сравнительной кардиологии  
Коми научного центра УрО РАН  
167982, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 24, тел. (88212) 39 14 51, e-mail: compcard@mail.ru