

ФИЗИОЛОГИЯ

УДК 612.12

doi: 10.17223/19988591/55/5

Н.Г. Варламова, Е.Р. Бойко

Институт физиологии Коми НЦ УрО РАН, Республика Коми, г. Сыктывкар, Россия

Объёмные характеристики функции внешнего дыхания у лыжников-гонщиков в годовом цикле

Работа выполнена за счет средств субсидии на выполнение Государственного задания № ГР АААА-А17-117012310157-7, № ГР АААА-А17-117012310153-9.

Впервые в годовом цикле у высококвалифицированных лыжников-гонщиков, членов сборных команд региона и России, изучена функция внешнего дыхания (FER): дыхательный и минутный объемы дыхания, жизненная и форсированная жизненная емкости легких, резервные объемы вдоха и выдоха, объемы форсированного выдоха за первые полсекунды и секунду, индекс Тиффно. Проведено 179 обследований 70 спортсменов в возрасте $20,5 \pm 4,4$ г. Результаты исследований обработаны методами параметрической статистики с применением критериев Фишера, Стьюдента и Стьюдента с поправкой Бонферрони. Максимальные значения легочных объемов у лыжников-гонщиков выявлены с ноября по март, минимальные – с июня по октябрь. Диапазоны годового дрейфа показателей FER составляют от 11,5 до 56,3% и наиболее выражены для резервных объемов вдоха и выдоха, дыхательного объема. У лыжников-гонщиков по сравнению с мужчинами, не занимающимися спортом, увеличены дыхательный объем, жизненная и форсированная емкости легких, резервные объемы вдоха и выдоха, объем форсированного выдоха за полсекунды и секунду, индекс Тиффно и уменьшен минутный объем дыхания; адаптация респираторной системы к холодному периоду года начинается раньше на два месяца, а период более комфортного состояния функции длится дольше на один месяц.

Ключевые слова: ремоделирование функции внешнего дыхания; гипервентиляция; легочные объемы

Сокращения [Abbreviations]: FER – функция внешнего дыхания [function of external respiration]; V_t – дыхательный объем [tidal volume]; MV – минутный объем дыхания [minute volume of respiration]; VC – жизненная емкость легких [vital capacity]; FVC – форсированная жизненная емкость легких [forced vital capacity]; IRV – резервный объем вдоха [inspiratory reserve volume]; ERV – резервный объем выдоха [expiratory reserve volume]; FEV0.5 – объем форсированного выдоха за первые полсекунды [forced expiratory volume in 0.5 second]; FEV1 – объем форсированного выдоха за первую секунду [forced expiratory volume in 1 second], FEV1/FVC – индекс Тиффно [Tiffeneau-Pinelli index].

Для цитирования: Варламова Н.Г., Бойко Е.Р. Объемные характеристики функции внешнего дыхания у лыжников-гонщиков в годовом цикле // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2021. № 55. С. 77–96. doi: 10.17223/19988591/55/5

Введение

Респираторная система – первый этап в цепи доставки кислорода организму человека [1]. С одной стороны, она служит неотъемлемой частью комплекса висцеральных систем, обслуживающих обмен веществ, и играет важнейшую роль в поддержании постоянства внутренней среды. С другой стороны, система дыхания – наиболее «открытая»: она непрерывно и тесно взаимодействует с окружающей средой [2] и на Севере испытывает влияние целого комплекса неблагоприятных пульмонотропных факторов [3].

Состояние системы внешнего дыхания является одним из важнейших факторов, обуславливающих функциональные возможности организма спортсменов и эффективность спортивной деятельности [4]. Показатели ее функционирования у северян-спортсменов модулируются не только тренировочным процессом, но и климато-географическими факторами. У спортсменов, тренирующих аэробные возможности в условиях холодного климата, по сравнению с нетренированными людьми увеличены альвеолярная вентиляция и жизненная емкость легких [1], высокая распространенность респираторных симптомов и гиперреактивность дыхательной системы, в биоптатах бронхов у лыжников присутствуют признаки нейтрофильного и лимфоцитарного воспаления с ремоделированием дыхательных путей [5].

Данные литературы по изучению функции внешнего дыхания у лыжников-гонщиков в годовом цикле отсутствуют, имеются работы [1, 3–4, 6], затрагивающие сезоны или часть месяцев года. Статические объемы одинаково важны для оценки обструктивных и рестриктивных вентиляционных нарушений [7].

Цель данной работы – исследование объемных характеристик функции внешнего дыхания в годовом цикле у лыжников-гонщиков, проживающих и тренирующихся на территории Европейского Севера, что важно для понимания механизмов адаптации к условиям среды при спортивной деятельности, а также влияния условий среды на успешность тренировочного и соревновательного процессов.

Материалы и методики исследования

Исследования проведены в соответствии с принципами Хельсинской декларации 1964 г. с изменениями, принятыми на Генеральных Ассамблеях ВМА с 1975 по 2013 г. Методы одобрены Комитетом по биоэтике ИФ Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар, Россия). Все спортсмены подписали добровольное информированное согласие на обследование. Функцию внешнего дыха-

ния (FER) определяли на микропроцессорном спирографе СПМ-01-«Р-Д» «Всесоюзный научно-исследовательский институт медицинского приборостроения» (Россия) ежемесячно с 2012 по 2019 г. у одной и той же группы лыжников-гонщиков [ski racers] (70 человек, 179 обследований) в возрасте 16–34 лет ($20,5 \pm 4,4$ года) в положении сидя. Рост и массу тела измеряли медицинским весоростомером (Россия). Мужчины – члены сборных команд Республики Коми и России, проживали на территории Европейского Севера (62° с.ш., 51° в.д.) практически с рождения, имели первый спортивный разряд, звания кандидатов и мастеров спорта. Рост лыжников-гонщиков составил $175,9 \pm 0,6$ см, масса тела $69,4 \pm 0,7$ кг. В годовом цикле изучены: дыхательный (V_t) и минутный объёмы дыхания (MV), жизненная (VC) и форсированная жизненная (FVC) ёмкости легких, резервные объёмы вдоха (IRV) и выдоха (ERV), объёмы форсированного выдоха за первые полсекунды (FEV_{0.5}) и секунду (FEV₁), индекс Тиффно (FEV₁/FVC). Результаты обработаны статистически с применением критериев Фишера, Стьюдента и Стьюдента с поправкой Бонферрони. Данные представлены в виде средней арифметической величины и ошибки средней ($M \pm m_M$).

Результаты исследования и обсуждение

Показатели FER в значительной мере зависят от антропометрических особенностей (массы тела, роста), пола и возраста [7–8], этнической принадлежности и физической активности [7]. У спортсменов-лыжников [3], уроженцев Европейского Севера, при исследовании FER в разные месяцы (сентябре, январе, апреле и июле) в динамике сезонов года происходят функциональные перестройки в системе внешнего дыхания.

Дыхательный объем у лыжников-гонщиков имел статистически значимые различия ($p < 0,05$, F-критерий) в годовом цикле (табл. 1).

Среднегодовой V_t у спортсменов составил $1,011 \pm 0,041$ л, что больше на 13,9% ($p < 0,001$), чем у мужчин аналогичного возраста ($19,0 \pm 0,9$ г.) и сходных антропометрических характеристик (рост $175,5 \pm 0,9$ см, масса тела $69,9 \pm 6,0$ кг) работающих в этом же регионе на открытом воздухе (тяжесть труда 3, напряженность 2), но не занимающихся спортом [9]. Максимальный V_t в ноябре больше на 0,378 л (30,6%), чем минимальный V_t в сентябре ($p < 0,05$). Значения V_t , полученные в нашем исследовании, в большинстве случаев превышают приводимые в литературе [4, 8, 10–11]. Увеличение V_t обычно улучшает эффективность газообмена в легких за счет роста альвеолярной вентиляции, величину которой определяет парциальное давление углекислоты в альвеолах, и уменьшения функционального мертвого пространства [11–12]. В зимний период [6] величина V_t регулируется по температуре альвеолярной газовой смеси, которая обусловлена соотношением между V_t и функциональной остаточной ёмкостью легких. Нарушение этого соотношения ведет к переохлаждению респираторной ткани и

развитию воспалительного процесса. Механизм ограничения Vt в холодное время года, по-видимому, связан с бронхиальной проходимостью, поскольку зимой появляется выраженная зависимость Vt от FEV1: при уменьшении FEV1 и снижении бронхиальной проходимости Vt значительно уменьшается, а частота дыханий, наоборот, увеличивается [6].

Таблица 1 [Table 1]

**Дыхательный и минутный объемы дыхания, жизненная и форсированная
жизненная емкости легких у лыжников-гонщиков в годовом цикле**
[Tidal (Vt) and minute (MV) volumes of respiration, vital (VC) and forced
vital (FVC) capacity of the lungs of ski racers in the annual cycle] ($M \pm m_M$, n)

Месяцы (номер) [Months (number)]	Vt, L #	MV, L/min #	VC, L ##	FVC, L ###
1	0,963±0,064; 18	13,15±0,82; 17	6,247±0,181; 19	5,388±0,228; 19
2	1,205±0,141; 11	16,24±0,88; 12&&	6,917±0,254; 12*9&&&	6,292±0,278; 11*10
3	0,858±0,068; 17	11,43±0,83; 17	6,372±0,267; 16	5,431±0,257; 17
4	1,001±0,109; 17	12,72±1,12; 17	6,500±0,190; 17	5,939±0,211; 17*10
5	0,948±0,094; 14	12,07±1,40; 14	6,459±0,243; 14	5,639±0,302; 14
6	0,879±0,039; 18	12,67±0,49; 18	6,335±0,161; 19	5,535±0,162; 19
7	0,940±0,109; 10	12,89±1,48; 10	6,007±0,326; 9	5,274±0,221; 10
8	1,058±0,122; 8	11,83±1,25; 7	6,091±0,220; 8	5,420±0,348; 8
9	0,859±0,091; 16&	11,42±1,06; 16&&	5,743±0,186; 16*2&&&	5,209±0,187; 16*12&&&
10	1,047±0,061; 20	14,18±0,87; 19	5,974±0,133; 20	4,954±0,134; 20*2,4,12
11	1,237±0,140; 13&	14,16±1,12; 13	6,257±0,212; 10	5,748±0,234; 13
12	1,131±0,89; 18	14,81±1,00; 18	6,800±0,220; 10	6,430±0,240 10*9,10&&&

Примечание. Месяцы (номер) – нумерация месяцев с января (1) по декабрь (12). ### – $p < 0,001$, ## – $p < 0,01$ и # – $p < 0,05$ (F – критерий, статистически значимые изменения показателя в годовом цикле); * – $p < 0,05$ (t – критерий с поправкой Бонферрони, цифрами после звездочек обозначены месяцы обследования, с которыми показатель данного месяца имеет статистически значимые различия), &&& – $p < 0,001$, && – $p < 0,01$, & – $p < 0,05$ (t – критерий, сравнение между максимальным и минимальным значениями показателя). [Note. Months (number) is a month number from January (1) to December (12). ### is $p < 0.001$; ## is $p < 0.01$ and # is $p < 0.05$ (F - criterion, significant changes in the indicator in the annual cycle); * is $p < 0.05$ (t is the Bonferroni correction criterion, the numbers after the stars indicate the months of the survey with which the indicator of a given month has significant differences), &&& is $p < 0.001$, && is $p < 0.01$, & is $p < 0.05$ (t is the criterion, comparison between the maximum and minimum values of the indicator)].

Минутный объем дыхания (MV) наиболее ярко отображает функциональные особенности аппарата внешнего дыхания [10] и как показатель, тесно связанный с изменениями V_t и частотой дыхания наиболее точно определяет степень адаптации и выраженность приспособительных механизмов [3].

У спортсменов MV составил $13,13 \pm 0,45$ л и в годовом цикле различался ($p < 0,05$, F-критерий) (табл. 1, рис. 1). Наибольшие значения MV зарегистрированы в феврале, наименьшие – в сентябре (разница в годовом цикле составила 4,82 л/мин, или 29,7%, $p < 0,01$), что совпадает со сроками в группе мужчин, не занимающихся спортом, но больше по степени выраженности реакции (разница 20,5% у неспортсменов, $p < 0,001$) [9].

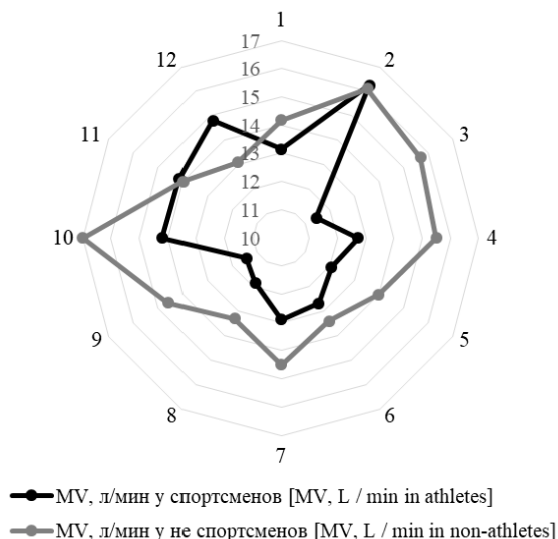


Рис. 1. Минутный объем дыхания у лыжников-гонщиков и мужчин, не занимающихся спортом, в годовом цикле ($p < 0,05$).

1–12 – нумерация месяцев с января (1) по декабрь (12).

Вертикальный столбец цифр (10–17) – л/мин

[Fig. 1. Minute volume of respiration in ski racers and non-athletic men in the annual cycle ($p < 0.05$). Numbers 1-12 indicate month numbers from January (1) to December (12). Vertical bar of numbers (10-17) indicates liters/min]

У спортсменов среднегодовое значение MV меньше на 9,1%, чем у мужчин аналогичного возраста, работающих в этом же регионе на открытом воздухе, но не занимающихся спортом [9]. В феврале, ноябре и декабре выявлена тенденция к увеличению MV у лыжников-гонщиков по сравнению с мужчинами, не занимающимися спортом. В целом у лыжников-гонщиков MV больше на 12,2–25,7%, чем у студентов Архангельска, на 22,3%, чем у лиц 18–23 лет, постоянно проживающих на Европейском Севере [13] и чем у жителей более комфортного климата [11, 14]. Более низкие значения MV у спортсменов, по сравнению с не занимающимися спортом, обусловле-

ны, по-видимому, увеличением аэробной мощности, эффектом лактатных тренировок и более ранней в годовом цикле адаптацией к холодному периоду года. По данным литературы [6], зимой повышается сопротивление воздухоносных путей, и ограничение MV уменьшает охлаждение легких. Исследования MV в годовом цикле позволили уточнить месяцы максимального и минимального значения показателя (соответственно, февраль и сентябрь), тогда как по данным других исследователей сезонных циклов [6] это лето и зима.

Минимальное значение MV в сентябре ($11,42 \pm 4,11$ л/мин) статистически значимо ($p < 0,05$) не отличается от такового у лыжников Новосибирска со сходными антропометрическими параметрами и возрастом [11]. Уменьшение MV в летнее время может быть связано с уменьшением количества функционирующих ацинусов [6].

Увеличение MV связано с развитием гипервентиляционного синдрома у северян [9, 15], который сочетается с повышенным потреблением кислорода, снижением показателей бронхиальной проходимости [15] и определяется компенсаторной перестройкой процессов жизнеобеспечения на биохимическом уровне. Оно свидетельствует об увеличении количества функционирующих альвеол и обусловлено, главным образом, гиперкапническим стимулом, который связывает дыхание с интенсивностью метаболизма. Статистически значимое повышение количества, выделенного CO_2 у жителей Севера, подтверждает, вероятно, смещение кислотно-щелочного равновесия в сторону ацидоза. С FER связан не только газовый состав крови, но и ее кислотно-основной баланс [2]. При метаболическом ацидозе уменьшается отношение $\text{HCO}_3^-/\text{PCO}_2$, что приводит к снижению pH. Концентрация HCO_3^- может снижаться в результате накопления в крови кислот, например при тканевой гипоксии, приводящей к повышенному образованию молочной кислоты. Повышение уровня лактата у северян в холодное время года согласуется с данными литературы [16] и является показателем лактатацидоза в определенные сезоны года. Метаболический ацидоз компенсируется легкими: увеличивается вентиляция, что приводит к снижению PCO_2 и восстановлению соотношения $\text{HCO}_3^-/\text{PCO}_2$. Основным стимулятором дыхания в данном случае служит действие ионов H^+ на периферические хеморецепторы [17]. Гипервентиляция, являясь одним из механизмов ликвидации метаболического ацидоза и энергетически затратным процессом, может указывать на приоритетность компенсаторных реакций организма: в первую очередь, поддержание кислотно-щелочного равновесия, а во вторую – температурного гомеостаза. Более высокие значения V_t и MV у северян могут свидетельствовать о нарушении «принципа экономизации» функции дыхания и косвенно указывать на потерю энергетических резервов организма [17].

Максимальное увеличение MV зимой согласуется с литературными данными [3]. Длительная гипоксемия, усиливающаяся в холодное время года

у северян, повышает свободно-радикальные процессы и снижает содержание антиоксидантов в организме [18], а также при высоких скоростях вентиляции верхних дыхательных путей во время физических упражнений (более 280 л/мин) вероятность потери воды из нижних дыхательных путей является значительной [19]. С помощью теплового картирования при увеличении вентиляции продемонстрировано [19] снижение температуры от верхней части трахеи до субсегментарных бронхов. Охлаждение дыхательных путей может стимулировать рецепторы в них, вызывая рефлекторное сужение бронхов. Кроме того, из-за вазоконстрикции бронхиального кровообращения, вызванного холодным воздухом, может возникнуть вторичная реактивная гиперемия с последующим отеком и сужением дыхательных путей [19]. Некоторые факторы окружающей среды могут еще больше усугубить воздействие интенсивной тренировки на дыхательные пути. Холодный воздух и респираторные инфекции у лыжников оказывают неблагоприятное влияние на состояние дыхательных путей [19] и спортивный результат.

Жизненная емкость легких (VC) определяет максимально возможную глубину дыхания и поэтому является важным показателем функциональных возможностей FER [10]. Различия VC у лыжников-гонщиков в годовом цикле статистически значимы ($p < 0,05$, F-критерий) (табл. 1, рис. 2).

Среднегодовое значение VC у спортсменов $6,309 \pm 0,091$ л, больше на 0,779 л (14,1%) ($p < 0,001$), чем у мужчин, не занимающихся спортом [9]. Максимальная среднемесячная VC выявлена в феврале, минимальная – в сентябре, разница между величинами составила 1,174 л (17,0%) ($p < 0,001$) (см. табл. 1). У лыжников-гонщиков во все месяцы VC больше индивидуально рассчитанной с учетом роста, массы тела и возраста нормы [20]. У мужчин, не занимающихся спортом, VC больше нормы [20] во все месяцы с тенденцией к уменьшению меньше нормы в августе и сентябре. То есть у спортсменов происходят более глубокие адаптивные изменения VC. Значения VC у лыжников-гонщиков (см. рис. 2) превышали таковые, приведенные в литературе [20], в том числе и для лиц, работающих в холодном климате [3, 9], в зимнее время [3, 10] и занимающихся лыжными гонками [4]. У обследованного нами контингента VC в разные месяцы колебалась от 112,9% (сентябрь) до 135,7% (февраль) должных значений [20], но сохраняла большее значение, чем у практически здоровых русских, жителей Надыма [18], мужчин от 21 года до 46 лет Украины [8].

По данным литературы [3], спортсмены-лыжники массовых разрядов, уроженцы Европейского Севера, осенью и летом имеют V_t , равный 17,0% VC, зимой и весной – до 23,5% VC. Наши исследования показали, что в январе использование V_t в VC достигает 15,0%, в июле – 15,6%, а в месяцы с максимальной (февраль) и минимальной (сентябрь) VC – соответственно 17,4 и 15,0%, следовательно, в резерве при спокойном дыхании находится от 82,6 до 85,0% VC.

Диффузионная способность пропорциональна емкости легких, и недостаток кислорода вызывает прирост VC . Нарастание величины VC от теплого к холодному времени года способствует увеличению дыхательной поверхности легких и тем самым создает условия для более эффективного приспособления легочной вентиляции к удовлетворению повышенных метаболических потребностей организма зимой [10], а у спортсменов-северян, по сравнению с жителями более комфортного климата, увеличение VC является адаптивной реакцией, позволяющей улучшить параметры кондиционирования воздуха.

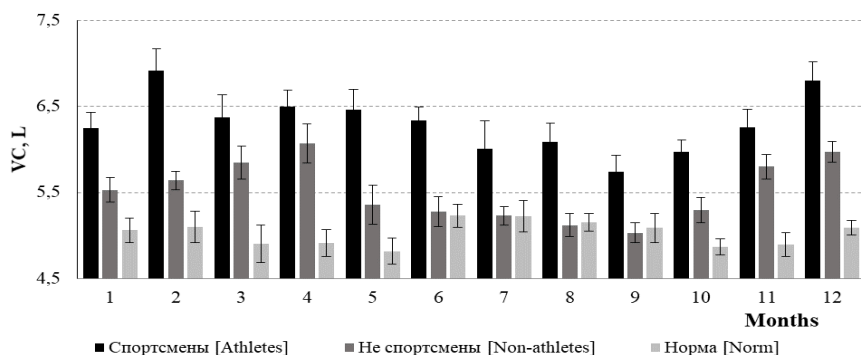


Рис. 2. Жизненная емкость легких (VC) в годовом цикле у лыжников-гонщиков ($p < 0,05$) и мужчин, не занимающихся спортом ($p < 0,001$). Цифрами 1–12 по оси X обозначены месяцы с января по декабрь; по оси Y – жизненная емкость легких (л)
[Fig. 2. Vital lung capacity (VC) in the annual cycle of ski racers ($p < 0.05$) and non-athletes ($p < 0.001$).
 Numbers 1–12 on the X-axis - Months from January to December;
 on the Y-axis - Vital lung capacity (VC)]

Форсированная жизненная емкость легких (FVC) у лыжников-гонщиков больше на 0,945 л (20,3%, $p < 0,001$), чем у молодых мужчин, не занимающихся спортом, в среднем равнялась $5,605 \pm 0,094$ л, в годовом цикле различалась ($p < 0,001$) (см. табл. 1) [9]. Наибольшее среднemesячное значение FVC у мужчин выявлено в декабре, наименьшее – в октябре; разница составила 1,476 л (23,0%). У спортсменов FVC в декабре больше, чем в сентябре и октябре, а в октябре меньше, чем в феврале, апреле и декабре.

Динамика FVC зависит от сезонных изменений внешней среды [4]. У обследованных нами спортсменов значения FVC в годовом цикле колебались от 105,3% (октябрь) до 130,1% (декабрь) должных величин [20], что больше показателей, предлагаемых рядом авторов [4, 8, 21]. У человека FVC меньше VC [20, 22] за счет сужения просвета мелких бронхов на 200–300 мл [22]. У обследованных нами спортсменов при форсированном выдохе эта разница в среднем достигает 704 мл, являясь, по-видимому, признаком обструкции дыхательных путей у северян, не достигающей клинически значимых величин. У лыжников-гонщиков FVC больше должных значений, чем у жителей комфортного климата, и разница между VC и FVC (704 мл против

200–300 мл в норме), вероятно, свидетельствует о наличии бронхоспазма и обструктивных явлений. Спортсмены (лыжные гонки, биатлон), занимающиеся зимними видами спорта, повседневная активность которых связана с повторяющимися интенсивными нагрузками в условиях низких влажности и температуры окружающей среды, составляют группу риска по развитию синдрома бронхообструкции. Ведущим механизмом развития бронхоспазма, вызванного физической нагрузкой, является повышение осмолярности золя, выстилающего реснитчатый эпителий респираторного тракта, с последующей дегрануляцией тучных клеток и сокращением гладкой мускулатуры бронхов. У спортсменов с диагностированным бронхоспазмом определен более низкий исходный уровень NO в выдыхаемом воздухе [23].

Резервный объем вдоха (IRV). Резервные объемы вдоха и выдоха определяют способность дыхательной мускулатуры увеличивать количество вентилируемого воздуха, и северяне обладают большей возможностью для увеличения легочной вентиляции [10, 22]. В годовом цикле у спортсменов IRV статистически значимо различался ($p < 0,05$, F-критерий) и в среднем равнялся $1,914 \pm 0,123$ л (табл. 2).

Таблица 2 [Table 2]

Резервные объемы вдоха (IRV) и выдоха (ERV), объем форсированного выдоха за первые полсекунды (FEV0.5) и секунду (FEV1), индекс Тиффно (FEV1/FVC) у лыжников-гонщиков в годовом цикле
[Inspiratory (IRV) and expiratory (ERV) reserve volumes, forced expiratory volume in the first half second (FEV0.5) and the second (FEV1),
Tiffeneau-Pinelli index (FEV1/FVC) in ski racers in the annual cycle] ($M \pm m_M, n$)

Месяцы (номер) [Months (number)]	IRV, L #	ERV, L ##	FEV0.5, L ##	FEV1, L #	FEV1/ FVC
1	1,794±0,268; 19	4,136±0,252; 19	3,548±0,161; 18	4,853±0,183; 18	80,5±2,9; 18
2	1,994±0,293; 11	4,701±0,431; 12&	3,737±0,177; 10	5,455±0,239; 11*10&&&	79,8±2,0; 11
3	2,575±0,312; 16&&	3,010±0,324; 17	3,290±0,223; 16	4,734±0,201; 17	76,1±2,3; 17
4	2,103±0,239; 15	4,043±0,308; 16	3,426±0,239; 14	4,980±0,205; 16	77,9±3,2; 15
5	1,539±0,336; 14	4,687±0,398; 14	3,823±0,130; 13	5,164±0,255; 14	80,2±3,3; 14
6	1,756±0,340; 18	4,396±0,244; 19	2,766±0,315; 19	4,638±0,156; 19	76,5±2,5; 17
7	2,217±0,348; 10	3,327±0,458; 10&	3,557±0,144; 9	4,688±0,197; 10	75,5±3,6; 9
8	1,126±0,185; 7&&	4,411±0,240; 8	3,479±0,286; 8	4,813±0,291; 8	78,7±2,6; 8

Окончание табл. 2 [Table 2 (end)]

Месяцы (номер) [Months (number)]	IRV, L #	ERV, L ##	FEV0.5, L ##	FEV1, L #	FEV1/ FVC
9	1,301±0,254; 15	4,013±0,309; 16	3,300±0,141; 15	4,655±0,169; 15	81,3±1,9; 15&
10	2,126±0,117; 19	3,485±0,245; 20	2,928±0,255; 19	4,438±0,145; 19*2&&&	74,8±2,4; 18&
11	2,483±0,355; 13	3,463±0,431; 13	2,879±0,385; 13&	4,926±0,187; 12	77,3±3,3; 12
12	1,955±0,295; 10	4,277±0,474; 10	3,893±0,222; 9&	5,328±0,265; 10	78,5±3,3; 10

Примечание. Месяцы (номер) – нумерация месяцев с января (1) по декабрь (12). ### – $p < 0,001$, ## – $p < 0,01$ и # – $p < 0,05$ (F – критерий, статистически значимые изменения показателя в годовом цикле); * – $p < 0,05$ (t – критерий с поправкой Бонферрони, цифрами после звездочек обозначены месяцы обследования, с которыми показатель данного месяца имеет статистически значимые различия), &&& – $p < 0,001$, && – $p < 0,01$, & – $p < 0,05$ (t – критерий, сравнение между максимальным и минимальным значениями показателя). [Note. Months (number) is a month number from January (1) to December (12). ### is $p < 0.001$; ## is $p < 0.01$ and # is $p < 0.05$ (F - criterion, significant changes in the indicator in the annual cycle); * is $p < 0.05$ (t is the Bonferroni correction criterion, the numbers after the stars indicate the months of the survey with which the indicator of a given month has significant differences), &&& is $p < 0.001$, && is $p < 0.01$, & is $p < 0.05$ (t is the criterion, comparison between the maximum and minimum values of the indicator)].

Наибольшее среднemesячное значение IRV характерно для марта, наименьшее – для августа, разница составила 1,449 л (56,3%). У лыжников-гонщиков IRV больше на 0,224 л (13,3%, $p < 0,05$), чем у молодых мужчин-спортсменов [9], и меньше на 0,937 мл, чем у практически здоровых мужчин от 21 года до 46 лет, жителей Украины [8] и лыжников Челябинска, кроме марта–апреля, июля и октября–ноября [4]. Весной (март) IRV больше на 17,7% (см. табл. 2), чем у студентов Архангельска [10], а летом – меньше на 27,9%. Авторы [3, 10], в отличие от нашего исследования, не выявили сезонного изменения показателя. У спортсменов в нашей выборке IRV составил 30,3% VC, что больше, чем в работе R. Selig [14].

Резервный объем выдоха (ERV). В годовом цикле ERV зависел от сезонных изменений внешней среды [4] и значимо различался по F-критерию ($p < 0,01$). У обследованных нами лыжников-гонщиков ERV составил в среднем $3,996 \pm 0,147$ л, что больше на 1,486 л (59,2%, $p < 0,001$), чем у молодых мужчин, не занимающихся спортом [9], больше на 1,196 л, чем у мужчин 18–23 лет, постоянно проживающих на Европейском Севере [13], больше на 2,044 л, чем у мужчин Украины [8]. Максимальное среднemesячное значение показателя характерно для февраля, минимальное – для марта, разница составила 1,691 л (36,0%, $p < 0,05$). Среднemesячная величина ERV у спортсменов 63,3% VC, что превышало приводимые данные в литературе [14, 22]. Зимой (февраль) ERV выше на 34,9% (см. табл. 2), а весной (март) – на 8,0%, чем у студентов Архангельска [10]. Существует представление об

уровне дыхания, рассчитанном по формуле ERV/IRV [22]. Если уровень дыхания ниже единицы (т.е. объем выдоха меньше, чем вдоха), то эффективность вентиляции больше, и наоборот. Уровень дыхания у лыжников-гонщиков 2,1, что, вероятно, свидетельствует о недостаточно эффективной вентиляции у обследованных нами лиц.

Согласно исследованиям В.Ю. Куликова и Л.Б. Ким (1987), адаптивные изменения FER у приезжих на Северо-Востоке протекают в две фазы. В первой фазе в течение первого года происходит перераспределение легочных объемов, при котором часть ERV переходит в остаточный объем. Уменьшение ERV сопровождается уменьшением IRV , в результате чего резервы вентиляции снижаются наполовину. Во второй фазе адаптации IRV и ERV постепенно восстанавливаются. Большой остаточный объем и большая функциональная остаточная емкость легких не только предохраняют легочную ткань от случайного охлаждения, но и позволяют стабильно увеличивать V_t в случае необходимости [15]. У мужчин и спортсменов в условиях Севера объем вдоха в большинстве случаев меньше, а объем выдоха – больше нормы, что может быть связано с адаптивной реакцией на проживание в холодном климате.

Объем форсированного выдоха за первые полсекунды ($FEV_{0.5}$). Интегральным показателем бронхиальной проходимости и усилия, развиваемого дыхательными мышцами, является величина объема форсированного выдоха. У спортсменов $FEV_{0.5}$ в среднем $3,386 \pm 0,095$ л и статистически значимо ($p < 0,01$) различался в годовом цикле (см. табл. 2). Наибольший среднемесячный $FEV_{0.5}$ характерен для декабря, наименьший – для июня, годовые колебания показателя составили 1,127 л (28,9%). Полученные нами величины $FEV_{0.5}$ для лыжников-гонщиков, проживающих на Европейском Севере, больше на 25,9% ($p < 0,001$), чем у мужчин, не занимающихся спортом [9], и у мужчин 18–23 лет Архангельска [13], но соответствовали значению этого показателя для мужчин Магадана [21].

Объем форсированного выдоха за первую секунду (FEV_1). Из всех показателей функции дыхания FEV_1 является наиболее важным [24–25]. Он относительно независим от усилия, приложенного во время маневра выдоха, и отражает свойства легких и дыхательных путей. Это наиболее воспроизводимый, часто используемый и самый информативный показатель спирометрии [24], отражает состояние проходимости бронхов, может снижаться как при обструктивных, так и при рестриктивных вентиляционных нарушениях [25].

У лыжников-гонщиков FEV_1 в среднем $4,889 \pm 0,087$ л и различался в годовом цикле ($p < 0,05$, F-критерий). Максимальный и минимальный его варианты в феврале и октябре также имели статистически значимые ($p < 0,001$, t -критерий) различия друг с другом на 1,017 л (18,6%) (табл. 2, рис. 3) и составляли от 105,6 до 131,3% должных значений [20].

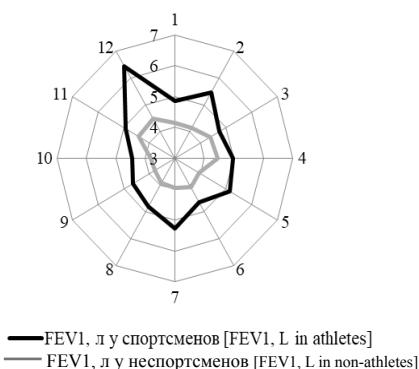


Рис. 3. Объем форсированного выдоха за первую секунду у лыжников-гонщиков ($p < 0,05$) и мужчин, не занимающихся спортом ($p < 0,01$), в годовом цикле. 1–12 – нумерация месяцев с января (1) по декабрь (12).

Вертикальный столбец цифр (3–7) – литры

[Fig. 3. The forced expiratory volume in the first second (FEV1) in ski racers ($p < 0.05$) and non-athletic men ($p < 0.01$) in the annual cycle. Numbers 1-12 indicate month numbers from January (1) to December (12). Vertical bar of numbers (3, 4, 5, 6 and 7) indicates liters]

В качестве объективного подтверждения бронхоспазма рассматривается снижение FEV1 на 10% и более [23]. В наших исследованиях годовой дрейф показателя составил 18,6%, причем кроме апреля–мая и ноября–декабря FEV1 меньше на 11,0–15,0%, чем в феврале, однако в нашем случае это не может рассматриваться как развитие бронхоспазма, а скорее всего это рост тренированности дыхательной системы и адаптации ее к погодным условиям региона. У спортсменов, обследованных нами FEV1 больше на 0,759 мл (18,4%, $p < 0,001$), чем у мужчин аналогичного возраста и роста, не занимающихся спортом [9], и практически здоровых мужчин 21 года – 46 лет Украины [8]. У лыжников-гонщиков FEV1 составил 77,4% VC, что подтверждается и уже опубликованными работами [9, 14, 20].

Показатели FEV0.5 и FEV1 содержат информацию о препятствии для потока воздуха. Они могут быть меньше при процессах, снижающих скорость выдоха, при уменьшении общей емкости легких. У обследованной нами группы мужчин значения FEV1 больше должных величин [20] на 6,9–23,3%. У молодых жителей Магадана (8–28 лет) FEV1 находился в пределах должных значений [21]. При исследовании методом спирометрии 18 элитных лыжников-гонщиков после прохождения 2,5 км показано снижение FEV1 на 10% у 9 испытуемых. По мнению авторов [26], бронхоконстриктивная дисфункция при физической нагрузке отличается от таковой при бронхиальной астме, еще не имеет четкого определения и после длительной физической нагрузки может влиять на работоспособность. Однако [27] распространенность бронхоспазма среди лыжников и биатлонистов, вызванного физической нагрузкой, невысока и составляет менее 6,5%.

Индекс Тиффно (FEV1/FVC) – важный спирометрический показатель, особенно при необходимости дифференцировать обструктивные и ре-

стриктивные нарушения [24]. В годовом цикле индекс Тиффно (в среднем $78,1 \pm 1,2\%$) не имел статистических различий ни по F, ни по t-критериям (см. табл. 2) и соответствовал значениям для здорового человека: 75–85% [24], или 75–83% [18].

Максимальное среднемесячное его значение зарегистрировано в сентябре, минимальное – в октябре, годовые колебания индекса составили 11,5%. У лыжников-гонщиков индекс Тиффно больше на 2,6 единицы (3,4%, $p < 0,05$), чем у спортсменов [9].

Легочная вентиляция зависит от сопротивления дыхательных путей воздушному потоку и растяжимости (комплаентности) легких и грудной клетки [7]. Известно [28], что элитные спортсмены, тренирующиеся на выносливость, испытывают сезонные колебания реактивности дыхательных путей. Конкретные стимулы, которые вызывают это, неизвестны, но предполагается, что это связано с воздействием холодного сухого воздуха и/или вдыхаемых раздражителей [28]. Отмечено повышение бронхиальной реактивности в соревновательный сезон у лыжников-гонщиков в период прохождения ими военной службы по сравнению с обычными призывниками. У лыжников в соревновательный период в бронхах имелись лимфоидные агрегаты и признаки бронхиального ремоделирования [19].

Таким образом, у тренирующихся лыжников-гонщиков FER испытывает влияние как погодно-климатических условий региона, так и тренировочного процесса. В ранней нашей работе [9] у молодых мужчин, не занимающихся спортом, в годовом цикле выявлено влияние месяца как фактора на объёмные характеристики FER. Наибольшее влияние климатические условия месяца оказывали на VC, FVC и MV (соответственно, 15,7; 15,5 и 12,6%; $p < 0,05–0,01$). Индекс Тиффно и EVR не имели статистически значимых влияний месяца обследования. На остальные показатели: Vt, IRV, FEV0.5 и FEV1 – влияние месяца как фактора составляло 7,5–9,9% ($p < 0,05–0,01$). У лыжников-гонщиков тренировочный процесс оказывал наибольшее влияние по сравнению с не занимающимися спортом, вызывая увеличение EVR – 59,2%, FEV0.5 – 25,9%, FVC – 20,3%, а также FEV1 – 18,4%, VC – 14,1%, Vt – 13,9%, IRV – 13,3%, индекс Тиффно – 3,4% и уменьшение MV на 9,1%.

У лыжников-гонщиков 4 из 9 показателей достигли своего пика в феврале, у мужчин, не занимающихся спортом, – в декабре и апреле (по три показателя). Минимальные значения показателей FER у спортсменов характерны для сентября–октября (по 3 показателя), у спортсменов – для сентября (4 показателя из 9). По-видимому, у лыжников-гонщиков, постоянно выполняющих максимальные физические нагрузки на открытом воздухе, адаптация FER к холодному периоду года происходит на два месяца раньше (февраль), чем у мужчин-спортсменов (апрель). Наиболее благоприятные условия для функционирования FER в обеих группах характерны для сентября, а у спортсменов пролонгируются и на октябрь. По мнению Г.С. Шишкина с соавт. [6], функциональную организацию системы внешне-

го дыхания в летнее время года можно считать базовой, поскольку уровень энергетических процессов в организме в это время самый низкий [6]. Мы же на основе изучения годового цикла FER считаем, что это период позднего лета и ранней осени.

Выводы

1. Максимальные значения легочных объемов у лыжников-гонщиков выявлены в холодное время года (с ноября по март), минимальные – в теплое (с июня по октябрь). Диапазоны годового дрейфа показателей составляют от 11,5 до 56,3% и наиболее выражены для резервных объемов вдоха и выдоха, дыхательного объема.

2. Для лыжников-гонщиков, проживающих и тренирующихся в условиях Севера, по сравнению с мужчинами, не занимающимися спортом, характерны увеличенные дыхательный объем, жизненная и форсированная емкости легких, резервные объемы вдоха и выдоха, объем форсированного выдоха за полсекунды и секунду, индекс Тиффно и уменьшенный минутный объем дыхания.

3. У лыжников-гонщиков, по сравнению с мужчинами, не занимающимися спортом, адаптация респираторной системы к холодному периоду года начинается раньше на два месяца, а период более комфортного состояния функции длится дольше на один месяц.

4. У спортсменов в течение годового погодно-климатического цикла происходит более глубокое remodelирование дыхательной системы, обусловленное тренировочным процессом, по сравнению с мужчинами-неспорсменами.

Литература

1. Попов Д.В., Грушин А.А., Виноградова О.Л. Физиологические основы оценки аэробных возможностей и подбора тренировочных нагрузок в лыжном спорте и биатлоне. М. : Советский спорт, 2014. 78 с.
2. Бреслав И.С., Ноздрачев А.Д. Дыхание. Висцеральный и поведенческий аспекты. М. : Наука, 2005. 309 с.
3. Гудков А.Б., Мануйлов И.В., Торшин В.И., Попова О.Н., Лукманова Н.Б. Сезонные изменения параметров внешнего дыхания у лыжников массовых спортивных разрядов в условиях Европейского Севера // Экология человека. 2016. № 7. С. 31–36.
4. Эберт Л.Я., Сашенков С.Л., Колупаев В.А. Динамика показателей систем внешнего дыхания и кровообращения у спортсменов с анаэробной и аэробной направленностью тренировочного процесса по сезонам года // Медико-биологические проблемы. 2005. № 28. С. 115–120.
5. Sue-Chu M. Winter sports athletes: long-term Effects of cold air exposure // British Journal of Sports Medicine. 2012. № 6. PP. 397–401. doi: [10.1136/bjsports-2011-090-822](https://doi.org/10.1136/bjsports-2011-090-822)
6. Shishkin G.S., Ustyuzhaninova N.V., Gulyaeva V.V. Changes in the functional organization of the respiratory system in residents of Western Siberia in the winter season // Human Physiology. 2014. № 1. PP. 91–96. doi: [10.7868/S0131164614010159](https://doi.org/10.7868/S0131164614010159)
7. Lutfi M.F. The physiological basis and clinical significance of lung volume measurements // Multidisciplinary Respiratory Medicine. 2017. № 9. PP. 1–12. doi: [10.1186/s40248-017-0084-5](https://doi.org/10.1186/s40248-017-0084-5)

8. Норе́йко С.Б. Состояние функции внешнего дыхания здоровых людей молодого возраста // Физическое воспитание студентов. 2012. № 1. С. 84–86.
9. Varlamova N.G., Evdokimov V.G., Boiko E.R., Kochan T.I., Kaneva A.M., Rogachevskaya O.V. External Function of Young Male Residents of Northern Europe during Annual Cycle // Human Physiology. 2008. № 6. PP. 728–734.
10. Ефимова Н.В., Попова О.Н. Адаптивные реакции внешнего дыхания у здоровых студентов в годовом цикле на Европейском Севере // Экология человека. 2012. № 3. С. 23–27.
11. Krivoschekov S.G., Divert V.E., Melnikov V.N., Vodjanitskij S.N., Girenko L.A. Compative analysis of gas exchange and cardiorespiratory system responses of swimmers and skiers to increasing normobaric hypoxia and physical load // Human Physiology. 2013. № 1. PP. 98–105.
12. Уэст Дж. Физиология дыхания / пер. с англ. Н.Н. Алипова ; под ред. А.М. Генина. М. : Мир, 1988. 200 с.
13. Попова О.Н. Влияние локального охлаждения кожи на некоторые показатели внешнего дыхания человека // Экология человека. 2007. № 2. С. 19–21.
14. Селиг Р. Функциональное исследование системы дыхания // Справочник по клиническим функциональным исследованиям / под ред. А. Гиттера, Л. Хейльмейера. М. : Медицина, 1966. С. 125–159.
15. Куликов В.Ю., Ким Л.Б. Кислородный режим при адаптации человека на Крайнем Севере. Новосибирск : Наука, 1987. 158 с.
16. Бойко Е.Р., Логинова Т.П., Варламова Н.Г., Марков А.Л., Солонин Ю.Г., Дерновой Б.Ф., Паршукова О.И., Монгалев Н.П., Людинина А.Ю., Потолицына Н.Н., Есева Т.В., Гарнов И.О., Ветров А.И., Нутрихин А.В., Черных А.А., Прошева В.И., Ватлин А.В., Рубцова Л.Ю., Кучин А.В., Ценке Д. Физиолого-биохимические механизмы обеспечения спортивной деятельности зимних циклических видов спорта. Сыктывкар : Коми республиканская типография, 2019. 256 с.
17. Гудков А.Б., Лабу́тин Н.Ю. Влияние специфических факторов Заполярья на функциональное состояние организма человека // Экология человека. 2000. № 2. С. 18–20.
18. Величковский Б.Т. Причины и механизмы низкого коэффициента использования кислорода в легких человека на Крайнем Севере // Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. 2013. № 2 (90). С. 97–101.
19. Carlsen K.H., Anderson S.D., Bonini S., Brusasco V., Cahonica W., Cummiskey J., Delgado L., Del Giacco S.R., Drobnic F., Haahtela T., Larss K., Palange P., Popov T., Van Cauwenberge P. Exercise-induced asthma, respiratory and allergic disorders in elite athletes: epidemiology, mechanisms and diagnosis: Part 1 of the report from the Join: Task Force of the European Respiratory Society (ERS) and the European Academy of Allergy and Clinical Immunology (EAACI) in cooperation with GA2LEN // European Journal of Allergy and Clinical Immunology. 2008. № 63. PP. 378–403. doi: [10.1111/j.1398-9995.2008.01662.x](https://doi.org/10.1111/j.1398-9995.2008.01662.x).
20. Старшов А.М., Смирнов И.В. Спирография для профессионалов. Методика и техника исследования функций внешнего дыхания. М. : Познавательная книга ПРЕСС. 2003. 80 с.
21. Bartosh O.P., Sokolov A.Ya. Regional characteristics of external respiration under the environmental conditions of northeastern Russia // Human Physiology. 2006. № 3. PP. 308–315.
22. Дембо А.Г. Легочные объемы. Физиология дыхания. Л. : Наука, 1973. С. 4–18.
23. Никитина Л.Ю., Соодаева С.К., Петровский Ф.И. Модификация респираторного метаболизма оксида азота у лыжников и биатлонистов с бронхоспазмом, вызванным физической нагрузкой // Фундаментальные исследования. 2015. № 1. С. 798–804.
24. Чучалин А.Г., Айсанов З.Р., Чикина С.Ю., Черняк А.В., Калманова Е.Н. Федеральные клинические рекомендации Российского респираторного общества по использованию метода спирометрии // Пульмонология. 2014. № 6. С. 11–24. doi: [10.18093/0869-0189-2014-0-6-11-24](https://doi.org/10.18093/0869-0189-2014-0-6-11-24)

25. Ковалькова Н.А., Травникова Н.Ю., Рагино Ю.И., Воевода М.И. Распространенность дисфункции внешнего дыхания у молодых людей // Терапевтический архив. 2017. № 3. С. 38–42. doi: [10.17116/terarkh201789338-42](https://doi.org/10.17116/terarkh201789338-42)
26. Rundell K.W., Spiering B.A., Judelson D.A., Wilson M.H. Bronchoconstriction During Cross-Country Skiing. Is There Really a Refractory Period? // Medicine & Science in Sports & Exercise. 2003. № 1. PP. 18–26.
27. Никитина Л.Ю., Соодаева С.К., Петровский Ф.И., Петровская Ю.А., Котлярова В.Н., Шашкова Т.В., Чучалин А.Г. Скрининг бронхообструкции, вызванной физической нагрузкой, у лыжников и биатлонистов в различные периоды годового тренировочного цикла // Пульмонология. 2013. № 2. С. 61–65.
28. Hemingson N.B., Davis B.E., Cockcroft D.W. Seasonal Fluctuation in Airway Responsiveness in Elite Athletes // Canadian Respiratory Journal. 2004. № 11. PP. 399–401.

*Поступила в редакцию 30.09.2020 г.; повторно 17.06.2021 г.;
принята 27.07.2021 г.; опубликована 29.09.2021 г.*

Авторский коллектив:

Варламова Нина Геннадьевна, канд. биол. наук, доцент, с.н.с. отдела экологической и медицинской физиологии, Институт физиологии Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук» (Россия, 167982, г. Сыктывкар, ГСП-2, ул. Первомайская, 50).

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-1444-4684>

E-mail: nivarlam@physiol.komisc.ru

Бойко Евгений Рафаилович, д-р мед. наук, профессор, директор, Институт физиологии Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук» (Россия, 167982, г. Сыктывкар, ГСП-2, ул. Первомайская, 50).

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-8027-898X>

E-mail: boiko60@inbox.ru

For citation: Varlamova NG, Boiko ER. Volumetric characteristics of the external respiration function in ski racers in the annual cycle. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Tomsk State University Journal of Biology*. 2021;55:77-96. doi: 10.17223/19988591/55/5 In Russian, English Summary

Nina G. Varlamova, Evgeny R. Boiko

Institute of Physiology of the Federal Research Center “Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russian Federation

Volumetric characteristics of the external respiration function in ski racers in the annual cycle

The state of the external respiration system is one of the most important factors determining the functional capabilities of the body of athletes and the effectiveness of sports activities. Indicators of its functioning among northerner athletes are modulated not only by the training process, but also by climatic and geographical factors. Literature data on the study of the function of external respiration in ski racers in the annual cycle are absent, there are only works considering seasons or some months of the year. Therefore, the aim of our work is to study the volumetric characteristics of the function of external respiration in the annual cycle of ski racers living and training

in the European North, which is important for understanding the mechanisms of adaptation to environmental conditions during sports activities, as well as the influence of environmental conditions on the success of training and competitive processes.

Seventy people aged 16-34 years (20.2 ± 0.6 years) participated in the study. Participants were professional athletes living in the territory of the European North (62°N , 51°E) practically since birth. Studies were carried out monthly for 7 years. Every subject's height and body weight were measured during the tests. External respiration function (FEV) was determined using microprocessor spiograph SPM-01-"R-D" of the All-Union Scientific Research Institute of Medical Instruments and Equipment (Russia) in a sitting position. The height of ski racers was 175.9 ± 0.6 cm; their body weight was 69.4 ± 0.7 kg. In the annual cycle, the following was studied: tidal volume of respiration (V_t) and minute volume of respiration (MV), vital (VC) and forced vital (FVC) lung capacity, inspiratory (IRV) and expiratory (ERV) reserve volumes, forced expiratory volume in 0.5 second (FEV_{0.5}) and forced expiratory volume in 1 second (FEV₁), as well as Tiffeneau-Pinelli index (FEV₁/FVC). The obtained data were processed using Fisher's and Student's tests with the Bonferroni correction. Data were presented as arithmetic mean and mean error ($M \pm m_m$). The studies were conducted in accordance with the principles of the Declaration of Helsinki 1964, as modified by the WMA General Assemblies from 1975 to 2013. The methods were approved by the bioethics committee of the Komi Scientific Centre, Ural Branch, Russian Academy of Sciences (Syktyvkar, Russia).

For ski racers, for the first time, the values of volumetric characteristics of the function of external respiration were determined and the ranges of annual changes in these indicators were identified, which are from 56.3 to 11.5% and are most pronounced for inspiratory and expiratory reserve volumes, as well as the tidal volume. We established that ski racers who live and train in the North, compared to non-athletic men, are characterized by increased tidal volume (12.6%), vital capacity (15.7%) and forced vital capacity (15.5%), inspiratory and expiratory reserve volumes (59.2%), forced expiratory volume in a half-second and a second (0.5-25.9%), Tiffeneau-Pirelli index (3.4%) and reduced minute ventilation (9.1%) (See Tables 1 and 2). The annual dynamics of indicators of the function of external respiration made it possible to determine February as the month with maximum adaptation to the climatic conditions of the cold period of the year against the background of the competitive period and September-October as months favorable for the function of the respiratory system against the background of the preparatory training period (See Fig. 1 and 2). Apparently, for ski racers, the adaptation of the respiratory system to the cold period of the year occurs two months earlier than for non-athletic men, and the period of a more comfortable functional state lasts one month longer. Athletes during the annual weather - climate cycle have a deeper remodeling of the respiratory system, compared to non-athletic men, due to living in a cold climate and the training process. The identified features of the functioning of the respiratory system in ski racers allow more purposeful planning of the training process and measures of health correction in the North.

Key words: external respiration function remodeling; hyperventilation; lung volume

The paper contains 3 Figures, 2 Tables and 28 References.

The Authors declare no conflict of interest.

References

1. Popov DV, Grushin AA, Vinogradova OL. Fiziologicheskie osnovy otsenki aerobnykh vozmozhnostey i podbora trenirovochnykh nagruzok v lyzhnom sporte i biatlone [Physiological basis of aerobic capacity assessment and training load selection in skiing and biathlon]. Moscow: Sovetskiy sport Publ.; 2014. 78 p. In Russian

2. Breslav IS, Nozdrachev AD. Dykhanie. Vistseral'nyy i povedencheskiy aspekty [Respiration. Visceral and behavioral aspects]. Moscow: Nauka Publ.; 2005. 309 p. In Russian
3. Gudkov AB, Manuilov IV, Torshin VI, Popova ON, Lukmanova NB. Seasonal changes of external respiratory parameters in skiers of mass categories in the conditions of Russian North. *Ekologiya cheloveka = Human Ecology*. 2016;7:31-36. doi: [10.33396/1728-0869-2016-7-31-36](https://doi.org/10.33396/1728-0869-2016-7-31-36) In Russian
4. Ebert LYa, Sashenkov SL, Kolupaev VA. Dinamika pokazateley sistem vneshnego dykhaniya i krovoobrashcheniya u sportsmenov s anaerobnoy i aerobnoy napravlennost'yu trenirovochnogo protsessa po sezonam goda [Dynamics of external respiration and circulatory system indicators in athletes with anaerobic and aerobic orientation of the training process according to the seasons of the year]. *Mediko-biologicheskie problemy*. 2005;28:115-120.
5. Sue-Chu M. Winter sports athletes: long-term Effects of cold air exposure. *British Journal of Sports Medicine*. 2012;6:397-401. doi: [10.1136/bjsports-2011-090-822](https://doi.org/10.1136/bjsports-2011-090-822)
6. Shishkin GS, Ustyuzhaninova NV, Gulyaeva VV. Changes in the functional organization of the respiratory system in residents of Western Siberia in the winter season. *Human Physiology*. 2014;1:91-96. doi: [10.7868/S0131164614010159](https://doi.org/10.7868/S0131164614010159)
7. Lutfi MF. The physiological basis and clinical significance of lung volume measurements. *Multidisciplinary Respiratory Medicine*. 2017;9:1-12. doi: [10.1186/s40248-017-0084-5](https://doi.org/10.1186/s40248-017-0084-5)
8. Noreyko SB. State of function of external breathing of healthy people of young age. *Fizicheskoe vospitanie studentov = Physical Education of Students*. 2012;1:84-86. In Russian
9. Varlamova NG, Evdokimov VG, Boiko ER, Kochan TI, Kaneva AM, Rogachevskaya OV. External respiration function of young male residents of Northern Europe during annual cycle. *Human Physiology*. 2008;6:728-734. doi: [10.1134/S0362119708060108](https://doi.org/10.1134/S0362119708060108)
10. Efimova NV, Popova ON. Adaptive responses of external respiration in healthy students annual cycle in European North. *Ekologiya cheloveka = Human Ecology*. 2012;3:23-27. In Russian
11. Krivoschekov SG, Divert VE, Melnikov VN, Vodjanitskiy SN, Girenko LA. Comparative analysis of gas exchange and cardiorespiratory system responses of swimmers and skiers to increasing normobaric hypoxia and physical load. *Human Physiology*. 2013;39:98-105. 2013;1:98-105. doi: [10.1134/S0362119712060072](https://doi.org/10.1134/S0362119712060072)
12. West JB. Respiratory physiology – The Essentials. Alipov NN, translated from English; Genin AM, editor. Moscow: Mir Publ.; 1988. 200 p. In Russian
13. Popova ON. Impact of skin local cooling on some indices of human external respiration. *Ekologiya cheloveka = Human Ecology*. 2007;2:19-21. In Russian
14. Selig R. Funktsional'noe issledovanie sistemy dykhaniya [Functional examination of the respiratory system]. In: *Spravochnik po klinicheskim funktsional'nyim issledovaniyam* [Handbook of clinical functional investigations]. Gittera A and Khey'l'meyera L, editors. Moscow: Meditsina Publ.; 1966. pp. 125-159. In Russian
15. Kulikov VYu, Kim LB. Kislorodnyy rezhim pri adaptatsii cheloveka na Kraynem Severe [Oxygen regime during human adaptation in the Far North]. Novosibirsk: Nauka, Siberian Branch Publ.; 1987. 158 p. In Russian
16. Boyko ER, Loginova TP, Varlamova NG, Markov AL, Solonin YuG, Dernovoy BF, Parshukova OI, Mongalev NP, Lyudinina AYU, Potolitsyna NN, Eseva TV, Garnov IO, Vetrov AI, Nutrikhin AV, Chernykh AA, Prosheva VI, Vatlin AV, Rubtsova LYU, Kuchin AV, Tsenke D. Fiziologo-biokhimicheskie mekhanizmy obespecheniya sportivnoy deyatel'nosti zimnikh tsiklicheskiykh vidov sporta [Physiological and biochemical mechanisms of ensuring sports activity of winter cyclic sports]. Syktyvkar: OOO "Komi respublikanskaya tipografiya"; 2019. 256 p. In Russian

17. Gudkov AB, Labutin NYu. Vliyanie spetsificheskikh faktorov Zapolyar'ya na funktsional'noe sostoyanie organizma cheloveka [Influence of specific factors of the Arctic on the functional state of the human body]. *Ekologiya cheloveka = Human Ecology*. 2000;2:18-20. In Russian
18. Velichkovsky BT. Low coefficient causes and mechanisms of using oxygen in human lungs in the Far North. *Byulleten' Vostochno-Sibirskogo Nauchnogo Tsentra Sibirskogo Otdeleniya Rossiyskoy Akademii Meditsinskikh Nauk = Acta Biomedica Scientifica (East Siberian Biomedical Journal)*. 2013;2(90):97-101. In Russian
19. Carlsen KH, Anderson SD, Bonini S, Brusasco V, Cahonica W, Cummiskey J, Delgado L, Del Giacco SR, Drobnic F, Haahtela T, Larss K, Palange P, Popov T, Van Cauwenberge P. Exercise-induced asthma, respiratory and allergic disorders in elite athletes: epidemiology, mechanisms and diagnosis: Part 1 of the report from the Join: Task Force of the European Respiratory Society (ERS) and the European Academy of Allergy and Clinical Immunology (EAACI) in cooperation with GA2LEN. *European Journal of Allergy and Clinical Immunology*. 2008;63:378-403. doi: [10.1111/j.1398-9995.2008.01662.x](https://doi.org/10.1111/j.1398-9995.2008.01662.x)
20. Starshov AM, Smirnov IV. Spirografiya dlya professionalov. Metodika i tekhnika issledovaniya funktsiy vneshnego dykhaniya. [Spirography for professionals. Method and technique for studying the function of external respiration]. Moscow: Poznavatel'naya kniga PRESS; 2003. 80 p. In Russian
21. Bartosh OP, Sokolov AY. Regional characteristics of external respiration under the environmental conditions of northeastern Russia. *Human Physiology*. 2206;32:308-315. doi: [10.1134/S0362119706030108](https://doi.org/10.1134/S0362119706030108)
22. Dembo AG. Legochnye ob'emny. Fiziologiya dykhaniya [Lung volumes. Respiratory physiology]. Leningrad: Nauka Publ.; 1973. pp. 4-18. In Russian
23. Nikitina LYu, Soodaeva SK, Petrovskiy FI. Modification of nitric oxide respiratory metabolism in skiers and biathlons with exercise-induced. *Fundamental'nye issledovaniya = Fundamental Research*. 2015;1:798-804. In Russian
24. Chuchalin AG, Aysanov ZR, Chikina SY, Chernyak AV, Kalmanova EN. Federal guidelines of Russian Respiratory Society on spirometry. *Pul'monologiya*. 2014;6:11-24. doi: [10.18093/0869-0189-2014-0-6-11-24](https://doi.org/10.18093/0869-0189-2014-0-6-11-24) In Russian
25. Koval'kova NA, Travnikova NYu, Ragino YuI, Voevoda MI. Prevalence of external respiratory dysfunction in young people. *Terapevticheskiy arkhiv*. 2017;3:38-42. doi: [10.17116/terarkh201789338-42](https://doi.org/10.17116/terarkh201789338-42) In Russian, English Summary
26. Rundell KW, Spiering BA, Judelson DA, Wilson M.H. Bronchoconstriction During Cross-Country Skiing. Is There Really a Refractory Period? *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2003;1:18-26.
27. Nikitina LYu, Soodaeva SK, Petrovskiy FI, Petrovskaya YuA, Kotlyarova VN, Shashkova TV, Chuchalin AG. Screening of exercise-induced bronchoconstriction in skiers and biathlons at different periods of annual training cycle. *Pul'monologiya*. 2013;2:61-65. doi: [10.18093/0869-0189-2013-0-2-61-65](https://doi.org/10.18093/0869-0189-2013-0-2-61-65)
28. Hemingson NB, Davis BE, Cockcroft DW. Seasonal fluctuation in airway responsiveness in elite athletes. *Canadian Respiratory Journal*. 2004;11:399-401.

Received 30 September 2020; Revised 17 June 2021;
Accepted 27 July 2021; Published 29 September 2021.

Author info:

Varlamova Nina G, Candidate of Sci. (Biol.), Assoc. Professor, Senior Researcher, Department of Environmental and Medical Physiology, Institute of Physiology of the Federal Research Center “Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences” (GSP-2, 50 Pervomaiskaya Str., Syktyvkar 167982, Russian Federation).

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-1444-4684>

E-mail: nivarlam@physiol.komisc.ru

Boiko Evgeny R, Dr. Sci. (Med.), Professor, Director of the Institute of Physiology of the Federal Research Center “Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences” (GSP-2, 50 Pervomaiskaya Str., Syktyvkar 167982, Russian Federation).

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-8027-898X>

E-mail: boiko60@inbox.ru