

УДК 612.216.2: 612.22:612.24:612.225

## ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ИЗМЕНЕНИЙ ВНЕШНЕГО ДЫХАНИЯ ПРИ ОСЕННЕ-ЗИМНЕМ ПОНИЖЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА

© 2012 г. Г. С. Шишкин, Н. В. Устюжанинова

Научно-исследовательский институт физиологии Сибирского отделения РАМН, г. Новосибирск

Изучение сезонных изменений внешнего дыхания человека показало, что у жителей средних широт они направлены на стабилизацию температурного гомеостаза при дыхании холодным воздухом [2, 3, 5]. В зимнее время года уменьшается объем вентиляции легких [5, 7, 14], увеличивается воздушность респираторных отделов [2, 6, 14], функция внешнего дыхания оптимизируется. Основная перестройка происходит при переходе от осени к зиме. Однако механизм этих изменений до сих пор не расшифрован.

В данной работе была поставлена задача: определить механизм функциональных изменений внешнего дыхания у жителей средних широт Западной Сибири при осенне-зимнем понижении температуры воздуха.

### Методы

Для определения непосредственного действия вдыхаемого холодного воздуха на вентиляцию легких и его разведение в респираторных отделах 20 юношей-призывников в возрасте 18–25 лет, постоянно проживающих в г. Новосибирске, были обследованы при осенне-зимнем понижении температуры воздуха в сентябре, октябре и ноябре. Все они прошли медицинскую комиссию и были здоровы. Средняя длина тела обследованных составляла  $(174,0 \pm 4,5)$  см, масса тела –  $(68,6 \pm 5,7)$  кг. Сначала их обследовали в помещении при комнатной температуре. Затем тепло одетые испытуемые выходили на открытую площадку, где находились в натуральных условиях в течение 30 мин. Второй раз их обследовали сразу после возвращения в теплое помещение. Поскольку климат Новосибирской области континентальный с резкими изменениями температуры не только в течение года, но и в течение месяца, температура воздуха в ноябре опускалась до  $-30$  °С. В разное время на площадке она составляла 0,  $-14$ ,  $-24$ ,  $-30$  °С.

Спирографию и определение легочных объемов проводили стандартным способом. После 20 мин пребывания в условиях относительного покоя определяли потребление кислорода ( $PO_2$ ), показатели вентиляции и газообмена (минутный объем дыхания – МОД; частоту дыхания – ЧД; дыхательный объем – ДО; коэффициент использования кислорода – КИО<sub>2</sub>), статические легочные объемы (жизненную емкость легких – ЖЕЛ; емкость вдоха – Евд; резервный объем выдоха – РОвд; остаточный объем легких – ООЛ; функциональную остаточную емкость – ФОЕ). Все показатели, за исключением КИО<sub>2</sub>, нормировали, то есть выражали в % к должным значениям для мужчин соответствующего возраста, длины и массы тела, проживающих в Западной Сибири [9]. С применением газоанализатора определяли парциальное давление кислорода и двуокиси углерода в выдыхаемом

У 20 здоровых юношей-призывников, проживающих в Западной Сибири, изучены механизмы изменений внешнего дыхания при осенне-зимнем понижении температуры воздуха. Спирографию и определение легочных объемов проводили в теплом помещении и после пребывания в течение 30 минут на открытой площадке в натуральных условиях при температуре воздуха в разное время от 0° до  $-30$  °С. Установлено, что при понижении температуры вдыхаемого воздуха уменьшается дыхательный объем. Это повышает разведение вдыхаемого воздуха в теплом альвеолярном газе и стабилизирует температуру в респираторных отделах легких. Одновременно уменьшение дыхательного объема приводит к снижению минутной альвеолярной вентиляции и парциального давления кислорода в альвеолах. Последнее компенсируется повышением воздушности респираторных отделов, что увеличивает эффективность вентиляции и диффузионную способность легких. Таким путем согласуются гомеостатические функции внешнего дыхания и терморегуляции.

**Ключевые слова:** внешнее дыхание, осенне-зимние изменения.

воздухе ( $P_{E}O_2$  и  $P_{E}CO_2$ ) и альвеолярном газе ( $P_{A}O_2$  и  $P_{A}CO_2$ ). На основе этих показателей рассчитывали функциональное мертвое пространство (ФМП) и минутную альвеолярную вентиляцию (МAB). Подробно методы исследования изложены в предыдущих работах [9, 10].

При статистическом анализе динамики количественных показателей использовали парный *t*-критерий Стьюдента. Достоверность результатов оценивали по уровню значимости  $p < 0,02$ . Исследование проведено без риска для здоровья людей с соблюдением всех принципов гуманности и этических норм (Хельсинкская декларация, 2000 г., Директивы Европейского сообщества 86/609) и одобрено Комитетом по биомедицинской этике НИИ физиологии Сибирского отделения РАМН.

### Результаты

В табл. 1 представлены показатели внешнего дыхания у здоровых юношей-призывников в теплом помещении. Из приведенного материала следует, что потребление кислорода осенью при среднесуточной температуре  $4^\circ\text{C}$  соответствует должным значениям для жителей средних широт Западной Сибири. Оно обеспечивается адекватной вентиляцией. Не отличаются от должных и другие показатели функции внешнего дыхания (КИО<sub>2</sub>, ДО), за исключением ЧД, которая повышена до верхнего предела нормы. Из статических легочных объемов только РОвыд ниже нормы на 7 % ( $p < 0,02$ ) [10].

Таблица 1

Показатели внешнего дыхания у юношей-призывников в г. Новосибирске в осеннее время года в теплом помещении

Показатель	Значение показателя в % к должному ( $M \pm m$ )	Показатель	Значение показателя в % к должному ( $M \pm m$ )
ПО <sub>2</sub>	100,0±2,0	ЖЕЛ	98,0±1,2
МОД	101,0±2,3	Евд	101,0±1,4
КИО <sub>2</sub> ▼	40,5±0,9	РОвыд	93,0±2,0
ЧД	106,0±2,5	ООЛ	106,0±3,6
ДО	99,0±2,3	ФОЕ	99,0±1,5

Примечания: ▼ — показатель не нормирован; М — средняя арифметическая, m — стандартная ошибка среднего арифметического.

Результаты измерений после пребывания на открытой площадке при осенне-зимнем понижении температуры воздуха приведены в табл. 2. Полученные данные показывают, что система внешнего дыхания реагирует на понижение температуры вдыхаемого воздуха, ограничивая глубину вдоха, в результате чего уменьшается дыхательный объем, что приводит к уменьшению минутной альвеолярной вентиляции и соответственно снижению парциального давления кислорода в альвеолярном газе. В результате насыщение крови кислородом снижается, что влечет за собой компенсаторное учащение дыхания. Минутный объем дыхания и МAB при этом восстанавливаются, но дыхание становится частым и поверхностным.

Стабилизация МAB обеспечивает необходимый минимум потребления кислорода, т.е. восстанавливает уровень функции внешнего дыхания. В то же время ограничение дыхательного объема повышает разведение вдыхаемого воздуха в теплом альвеолярном газе (ДО—ФМП/ФОЕ—ФМП) и стабилизирует температуру в альвеолах. Таким путем согласуются две гомеостатические функции. При этом сезонная перестройка осуществляется за счет увеличения частоты дыхания, то есть сопровождается напряжением дыхательных мышц.

### Обсуждение результатов

Полученные данные позволяют рассмотреть вопрос о функциональном механизме сезонных изменений внешнего дыхания. Уменьшение остаточного объема легких у здоровых мужчин при стабильных параметрах грудной клетки и мышечной силе можно объяснить только тем, что часть морфофункциональных единиц респираторных отделов легких выключается из вентиляции и газообмена и переходит в функциональный резерв. В резервную ткань гелий не проникает и поэтому ее объем не регистрируется при измерении функциональной остаточной емкости [1]. Отсюда следует, что при низкой температуре воздуха, когда ООЛ уменьшается, площадь респираторной поверхности, охлаждающейся в процессе вентиляции, становится минимальной. Можно предполагать, что это выключение связано с повышением бронхиального сопротивления [6, 8]. Последнее отражает повышение тонуса гладкой мускулатуры бронхов и бронхиол, которое и приводит к перекрытию вентиляции части долек и ацинусов.

Ограничение минутного объема дыхания зимой также уменьшает охлаждение легких. Аналогичной точки зрения придерживаются М. Т. Луценко с соавторами [5], G. G. Giesbrecht [12, 13]. Однако стабильное поддержание ПО<sub>2</sub> при уменьшении легочной вентиляции возможно только при каких-то изменениях в респираторных отделах легких, которые позволяют повысить ее эффективность, чтобы компенсировать недостаточное обеспечение кислородного запроса организма. Последняя действительно достоверно возрастает, о чем можно судить по увеличению КИО<sub>2</sub>.

К компенсаторным изменениям, влияющим на эффективность вентиляции, следует отнести увеличение соотношения РОвыд/ООЛ, то есть соотношения выдыхаемого воздуха и остающегося в легких после максимального выдоха. Если учесть, что в зимнее время года число вентилируемых ацинусов достоверно уменьшается, то увеличение РОвыд/ООЛ указывает на повышение воздушности тех структур, которые продолжают функционировать. При повышении воздушности, в результате растяжения межальвеолярных перегородок, происходит увеличение площади респираторной поверхности и уменьшение толщины альвеолярно-капиллярной мембраны. Согласно закону Фика, это приводит к увеличению диффузионной способности легких [11, 15] и ускорению массоперено-

Таблица 2

Показатель	Физическое значение показателя ( $M \pm m$ )			
	Температура воздуха на открытой площадке, °C			
	0	-10	-24	-30
ПО <sub>2</sub> , мл · мин <sup>-1</sup>	301±6	303±6	304±4	—
МОД, л · мин <sup>-1</sup>	9,15±0,45	7,81±0,32*	8,17±0,33	10,5±0,42
КИО <sub>2</sub> ▼ об%о	40,5±0,9	47,3±1,6*	45,4±1,7*	—
ЧД, п · мин <sup>-1</sup>	15,0±0,8	14,0±0,9	16,0±1,0	22,5±1,3*
ДО, мл	610±30	560±32	510±28*	430±23*
МАВ, л · мин <sup>-1</sup>	6,71±0,30	5,61±0,28*	5,61±0,29*	6,59±0,33
ФМП, мл	160±5	160±5	160±5	170±6
РОВЫД, мл	1040±25	1190±38*	1270±64*	—
ООЛ, мл	1610±50	1500±60*	1400±59*	—
ФОВ, мл	2650±79	2690±88	2670±87	2520±76
РОВЫД/ООЛ	0,64±0,02	0,79±0,04*	0,91±0,07*	—
Разведение вдыхаемого воздуха в р.о.л.	1:5,7	1:6,5	1:7,4	1:9,6

Примечания: \* — различия с показателями при 0 °C достоверны ( $p < 0,02$ ); р.о.л. — респираторные отделы легких; М — средняя арифметическая; m — стандартная ошибка среднего арифметического; — нет данных; ▼ — показатель не нормирован.

са кислорода из альвеолярного газа в кровь легочных капилляров. В результате такой функциональной перестройки респираторных отделов легких эффективность легочной вентиляции в зимний период года повышается, что позволяет уменьшить ее объем.

### Заключение

Обобщая основные результаты, относящиеся к осенне-зимним изменениям в системе внешнего дыхания, можно заключить, что у жителей средних широт Западной Сибири они обусловлены годовой динамикой температуры воздуха. При низкой температуре происходит сокращение числа функционирующих ацинусов и объема легочной вентиляции, направленное на ослабление охлаждения респираторной ткани вдыхаемым холодным воздухом. Для стабильного поддержания потребления кислорода уменьшение вентиляции компенсируется повышением воздушности респираторных отделов, что позволяет увеличить диффузионную способность легких. Возможно, одновременно снижается и чувствительность дыхательного центра к изменениям газового состава крови [4].

### Список литературы

1. Гришин О. В., Никольская О. Э. Зависимость между функциональной остаточной емкостью легких и уровнем газообмена при физических нагрузках // Физиология человека. 1996. Т. 22, № 1. С. 93–97.
2. Гудков А. Б., Попова О. Н. Внешнее дыхание человека на Европейском Севере. Архангельск: Изд-во СГМУ, 2009. 242 с.
3. Гультяева В. В., Шишкин Г. С., Гришин О. В. Сезонные изменения аппарата внешнего дыхания и его связей с газообменом у здоровых жителей Западной Сибири // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. 2001. Вып. 10. С. 7–11.
4. Кривошеиков С. Г., Диверт Г. М. Влияние акклиматизации к холоду на гипоксическую чувствительность дыхательного центра // Физиология человека. 1997. Т. 23, № 1. С. 51–56.

5. Луценко М. Т., Нахамчен Л. Н., Перельман Ю. М. Изменения функции внешнего дыхания у женщин в разные сезоны года // Физиология человека. 1987. Т. 13, № 3. С. 446–449.

6. Перельман Ю. М. Актуальные проблемы экологической физиологии дыхания. Эколого-функциональная характеристика дыхательной системы человека в норме и при хроническом бронхите // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. 2001. Вып. 8. С. 20–26.

7. 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.

8. Чеснокова В. Н., Мосягин И. Г. Сезонная динамика параметров кардиореспираторной системы у юношей, проживающих на Европейском Севере // Экология человека. 2009. № 8. С. 7–11.

9. Шишкин Г. С., Уманцева Н. Д., Устюжанинова Н. В. Нормативы показателей внешнего дыхания для мужчин, проживающих в Западной Сибири // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. 2005. Вып. 21. С. 7–11.

10. Шишкин Г. С., Устюжанинова Н. В. Функциональная вариабельность показателей вентиляции и газообмена у здоровых молодых мужчин в Западной Сибири // Физиология человека. 2006. Т. 32, № 3. С. 79–83.

11. Bachofen H. R., Schurch S., Urbinelli V., Weibel E. R. Relations among alveolar surface tension, surface area, volume and recoil pressure // J. Appl. Physiol. 1987. Vol. 62. P. 1878–1887.

12. Giesbrecht G. G. The respiratory system in a cold environment // Aviat. Space Environ. Med. 1995. Vol. 66, N 9. P. 890–902.

13. Giesbrecht G. G. Breathing in the cold // Problems with cold work. Sweden, 1998. P. 184–189.

14. Gulyaeva V., Shishkin G. S., Grishin O. Seasonal variations in respiratory system in healthy inhabitants of West Siberia // Int. J. Circumpolar Health, Adaptation. 2001. Vol. 60. P. 334–338.

15. Weibel E. R. Gas exchange: large surface and thin barrier determine pulmonary diffusing capacity // Minerva Anesthesiol. 1999. Vol. 65, N 6. P. 377–382.

## References

1. Grishin O. V., Nikol'skaya O. E. *Fiziologiya cheloveka* [Human Physiology]. 1996, vol. 22, no. 1, pp. 93-97. [in Russian]
2. Gudkov A. B., Popova O. N. *Vneshnee dykhanie cheloveka na Evropeiskom Severe* [Human external respiration in European North]. Arkhangelsk, 2009, 242 p. [in Russian]
3. Gul'tyaeva V. V., Shishkin G. S., Grishin O. V. *Byulleten' fiziologii i patologii dykhaniya* [Bulletin of respiration physiology and pathology]. 2001, iss. 10, pp. 7-11. [in Russian]
4. Krivoschekov S. G., Divert G. M. *Fiziologiya cheloveka* [Human Physiology]. 1997, vol. 23, no. 1, pp. 51-56. [in Russian]
5. Lutsenko M. T., Nakhamchen L. N., Perel'man Yu. M. *Fiziologiya cheloveka* [Human Physiology]. 1987, vol. 13, no. 3, pp. 446-449. [in Russian]
6. Perel'man Yu. M. *Byulleten' fiziologii i patologii dykhaniya* [Bulletin of respiration physiology and pathology]. 2001, iss. 8, pp. 20-26. [in Russian]
7. Prilipko N. S., Perel'man Yu. M. *Fiziologiya cheloveka* [Human Physiology]. 1990, vol. 16, no. 4, pp. 97-102. [in Russian]
8. Chesnokova V. N., Mosyagin I. G. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2009, no. 8, pp. 7-11. [in Russian]
9. Shishkin G. S., Umantseva N. D., Ustyuzhaninova N. V. *Byulleten' fiziologii i patologii dykhaniya* [Bulletin of respiration physiology and pathology]. 2005, iss. 21, pp. 7-11. [in Russian]
10. Shishkin G. S., Ustyuzhaninova N. V. *Fiziologiya cheloveka* [Human Physiology]. 2006, vol. 32, no. 3, pp. 79-83. [in Russian]
11. Bachofen H. R., Schurch S., Urbinelli V., Weibel E. R. Relations among alveolar surface tension, surface area, volume and recoil pressure. *J. Appl. Physiol.* 1987, vol. 62, pp. 1878-1887.
12. Giesbrecht G. G. The respiratory system in a cold environment. *Aviat. Space Environ. Med.* 1995, vol. 66, no. 9, pp. 890-902.
13. Giesbrecht G. G. Breathing in the cold. *Problems with cold work.* Sweden, 1998, pp. 184-189.
14. Gulyaeva V., Shishkin G. S., Grishin O. Seasonal variations in respiratory system in healthy inhabitants of

West Siberia. *Int. J. Circumpolar Health, Adaptation.* 2001, vol. 60, pp. 334-338.

15. Weibel E. R. Gas exchange: large surface and thin barrier determine pulmonary diffusing capacity. *Minerva Anesthesiol.* 1999, vol. 65, no. 6, pp. 377-382.

#### MECHANISMS OF RESPIRATORY FUNCTION CHANGES AS RESULT OF AUTUMN AND WINTER AIR TEMPERATURE FALL

G. S. Shishkin, N. V. Ustyuzhaninova

*Federal State Budgetary Institution "Research Institute of Physiology under Siberian of the Russian Academy of Medical Sciences, Novosibirsk, Russia*

In the study, there have been examined the mechanisms of external respiration changes in 20 healthy young men living in Western Siberia during an autumn and winter air temperature fall. Spirography and measuring of the lung volumes were performed in a warm room and after a 30 minutes stay in the open air in natural conditions, when the air temperature was from 0 ° to -30 °C at different times. It has been discovered that under the inspiratory air temperature fall, the tidal volumes also decreased. That raised dilution of the inspiratory air in warm alveolar gas and stabilized temperature in the lungs respiratory regions. At the same time, a decrease in the tidal volume led to a decrease in minute ventilation and alveolar oxygen partial pressure in the alveoli. The latter was compensated by an increase in the lung respiratory regions airiness, which increased ventilation efficiency and the lung diffusion capacity. Therefore, the homeostatic respiratory function and thermoregulation were coordinated.

**Keywords:** external respiration, autumn and winter changes

#### Контактная информация:

*Устюжанинова Нина Витальевна* – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории физиологии дыхания ФГБУ «НИИ физиологии» Сибирского отделения РАМН

Адрес: 630117, г. Новосибирск, ул. Тимакова, д. 4

Тел. (8-383) 333-48-69

E-mail: nvu@physiol.ru