

УДК 612.592:612.216.2

## ОСОБЕННОСТИ РЕАКЦИИ ЛЕГОЧНОГО ГАЗООБМЕНА НА ЛОКАЛЬНОЕ ХОЛОДОВОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ У МОЛОДЫХ ЛИЦ ТРУДОСПОСОБНОГО ВОЗРАСТА

© 2018 г. <sup>1</sup>А. А. Шаньгина, <sup>2</sup>О. Н. Попова, <sup>2</sup>Е. В. Тихонова, <sup>1</sup>С. В. Колмогоров, <sup>1,2</sup>А. Б. Гудков

<sup>1</sup>ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова» Министерства образования и науки Российской Федерации, г. Архангельск; <sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Архангельск

*Цель* исследования – выявить особенности легочного газообмена при локальном холодом воздействии у молодых лиц трудоспособного возраста. *Методы.* Обследованы 30 юношей и 30 девушек в возрасте 18–24 лет. Холодовая нагрузка заключалась в погружении кисти на 1 минуту в воду, температура которой последовательно составляла 24, 15 и 8 °С. Интервал восстановления между пробами – 25–30 минут. В такой же последовательности охлаждалась стопа. После каждой пробы анализировался состав выдыхаемого воздуха. *Результаты.* При холодом воздействии на кожу кисти у девушек установлено статистически значимое увеличение вентиляционного эквивалента по углекислому газу (ВЕСО<sub>2</sub>) на 5,4 % после охлаждения температурой 8 °С, вентиляционного эквивалента по кислороду (ВЕО<sub>2</sub>) на 7,6, 7,6 и 6,4 % при охлаждении температурами 24, 15 и 8 °С соответственно. Увеличился дыхательный коэффициент (ДК) при температуре 24 °С на 3,9 % и при 8 °С – на 2,6 %. Охлаждение стопы температурой 24 °С у девушек вызвало увеличение ВЕО<sub>2</sub> на 8,8 %. Воздействие температурами 15 и 8 °С привело к значимому увеличению ВЕСО<sub>2</sub> на 4,8 и 7,6 %, а также ВЕО<sub>2</sub> на 8,4 и 8,0 % соответственно. У юношей при локальной гипотермии кисти температурой 24 °С значительно увеличился ДК на 7,8 %, а холодом воздействие на кожу стопы вызвало значимое снижение скорости выделения углекислому газа (ВСО<sub>2</sub>) на 18,8 % при охлаждении температурой 24 °С, а при 8 °С – на 17,1 %. *Выводы:* реакция лёгочного газообмена на локальное охлаждение у девушек более выражена, чем у юношей, и зависит она от области охлаждения и температуры воздействия. Наиболее существенные изменения наблюдаются при локальном охлаждении стопы температурой воды, вызывающей легкое и сильное напряжение организма.

**Ключевые слова:** локальное охлаждение, кисть, стопа, легочной газообмен, молодые лица трудоспособного возраста

## FEATURES OF PULMONARY GAS EXCHANGE EXTERNAL BREATH REACTION TO LOCAL COLD INFLUENCE IN YOUNG ABLE-BODIED PERSONS

<sup>1</sup>A. A. Shangina, <sup>2</sup>O. N. Popova, <sup>2</sup>E. V. Tikhonova, <sup>1</sup>S. V. Kolmogorov, <sup>1,2</sup>A. B. Gudkov<sup>1</sup>Northern (Arctic) Federal University, Arkhangelsk; <sup>2</sup>Northern State Medical University, Arkhangelsk, Russia

*Intention. Aim?* The effect of local cooling of the hand and foot skin on the functioning of pulmonary gas exchange in 30 young men and 30 girls aged 18–24 has been studied. *Methods.* At the initial stage of the study, an analysis of exhaled air was carried out with the ergospirometry system Oxycon Pro. The next stage consisted of carrying out a cold effect on the hand skin. The examinee put down a hand for 1 minute in a vessel with water with temperature successively was 24 °C, 15 °C and 8 °C. Right after local hypothermia repeated analysis of the exhaled air composition was carried out. The recovery interval between the tests was 25–30 minutes. The analysis of exhaled air was carried out during cooling of the foot in the same sequence. *Results.* A statistically significant increase in the ventilation equivalent for carbon dioxide (VECO<sub>2</sub>) by 5.4 % after cooling with a temperature of 8 °C and a ventilation equivalent for oxygen (VEO<sub>2</sub>) by 7.6 %, 7.6 %, and 6.4 % with cooling at 24 °C, 15 °C and 8 °C, respectively, were observed in girls while cooling the hand skin. There were also increase in the value of the respiratory coefficient (RC) at 24 °C by 3.9 % and at 8 °C by 2.6 %. A significant increase in RC by 7.8 % was also performed in young men while the local hypothermia of the hand at the temperature of 24 °C. An increase in VEO<sub>2</sub> by 8.8 % in girls was observed in result of local cooling of the foot at the temperature of 24 °C. Influence of temperatures of 15 °C and 8 °C led to a significant increase in the indicator of VECO<sub>2</sub> by 4.8 % and 7.6 %, and also by 8.4 % and 8.0 %, respectively. In addition, the cold influence on the foot skin in young men caused a significant decrease in the liberation rate of carbon dioxide (LRCO<sub>2</sub>) by 18.8 % while cooling at 24 °C, and at 8 °C by 17.1%. *Conclusion.* The reaction of pulmonary gas exchange to local cooling in girls is more pronounced than in young men and depends on the area of cooling and the temperature of exposure. The most significant changes are observed when the foot is locally cooled by the temperature of the water, causing a slight and strong body strain.

**Key words:** local cooling, hand, foot, pulmonary gas exchange, young able-bodied persons

### Библиографическая ссылка:

Шаньгина А. А., Попова О. Н., Тихонова Е. В., Колмогоров С. В., Гудков А. Б. Особенности реакции легочного газообмена на локальное холодом воздействие у молодых лиц трудоспособного возраста // Экология человека. 2018. № 5. С. 33–38.

Shangina A. A., Popova O. N., Tikhonova E. V., Kolmogorov S. V., Gudkov A. B. Features of Pulmonary Gas Exchange External Breath Reaction to Local Cold Influence in Young Able-Bodied Persons. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2018, 5, pp. 33–38.

Система внешнего дыхания играет значимую роль в адаптивных реакциях к условиям Севера и находится в состоянии напряжения на фоне постоянного контакта с окружающей средой [3, 6, 8].

Как правило, влияние неблагоприятных климатических факторов вызывает реакцию системы внешнего дыхания, характеризующуюся высокой реактивностью и приводящую к реализации адаптационно-приспо-

собительных возможностей организма [1]. Одним из мощных факторов среды, воздействующих на человека, является низкая температура воздуха. Степень ее влияния зависит от локализации и площади охлаждаемой поверхности тела, длительности воздействия, а также от величины [2, 18, 20].

Холодовой фактор в производственных условиях на Севере оказывает воздействие на верхние дыхательные пути, лицо, кисти и стопы, что, в свою очередь, может приводить к различным изменениям системы внешнего дыхания, влиять на сердечно-сосудистую систему и физическую работоспособность, а также вызывать болезни и другие повреждения здоровья, возникновение, тяжесть клинического течения и исходы которых этиологически и патогенетически связаны с воздействием холода [9, 10, 15, 17].

Известно, что существуют три уровня холодового воздействия, которые могут вызывать различное напряжение организма: при 24 °С – легкое, при 15 °С – среднее; при 8 °С – сильное [12].

В настоящее время имеются научные работы, связанные с изучением влияния локальной гипотермии на систему внешнего дыхания человека, в частности на функцию легочного газообмена [5, 19]. Однако большинство из них отражает реакции дыхательной системы при температуре локального охлаждения в диапазоне от 4 до 11 °С, т. е. вызывающих сильное напряжение организма. В условиях производства локальное холодовое воздействие на кисти и стопы может быть менее интенсивным [11, 19].

В связи с этим целью данного исследования стало выявление особенностей реакции легочного газообмена у молодых лиц трудоспособного возраста на локальное холодовое воздействие температурами, способными вызвать легкое и среднее напряжение организма.

### Методы

Изучены показатели легочного газообмена у 30 юношей и 30 девушек в возрасте 18–24 лет (средний возраст  $(21,3 \pm 2,3)$  и  $(19,8 \pm 2,7)$  года соответственно), родившихся и постоянно проживающих на Европейском Севере России, при локальном холодовом воздействии на кожу кисти и стопы. Исследование осуществлено с соблюдением этических норм, изложенных в Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации. В число обследуемых не были включены юноши и девушки, имеющие значительные отклонения в состоянии здоровья, хронические заболевания органов дыхания, курящие и перенесшие какие-либо острые заболевания за последние 3 месяца. Исследование выполнялось при помощи эргоспирометрической системы Оксикон Про (OxycopPro).

На начальном этапе исследования проводился анализ выдыхаемого воздуха по следующим показателям: потребление кислорода ( $PO_2$ ), минутное выделение углекислого газа ( $BCO_2$ ), вентиляционный эквивалент по углекислому газу ( $BЭCO_2$ ), вентиляционный эквивалент по кислороду ( $BЭO_2$ ) и дыхательный коэффициент (ДК).

Следующий этап заключался в проведении локального охлаждения кожи кисти. Обследуемый опускал кисть на 1 мин в сосуд с водой, температура которой последовательно составляла 24, 15 и 8 °С. Сразу после охлаждения проводился повторный анализ выдыхаемого воздуха. Интервал восстановления между пробами составлял 25–30 мин [7]. Изучение выдыхаемого воздуха при охлаждении стопы проводился в аналогичной последовательности.

Обработка данных выполнялась с помощью статистического пакета программ SPSS 23.0. Результаты описательной статистики представлялись в виде медианы (Md), первого и третьего квартилей (Q1 и Q3 соответственно). Использовался критерий Фридмана, для попарных сравнений – непараметрический двухвыборочный критерий Вилкоксона. Критический уровень значимости –  $p \leq 0,05$ .

### Результаты

Проведенное исследование позволило выявить изменения показателей легочного газообмена при локальном охлаждении кожи кисти у юношей и девушек (табл. 1).

Так, у девушек по сравнению с фоновыми значениями после охлаждения кисти наблюдалось статистически значимое увеличение показателей вентиляционного эквивалента по кислороду на 7,6 % ( $p = 0,001$ ), 7,6 % ( $p = 0,028$ ) и 6,4 % ( $p = 0,008$ ) при 24, 15 и 8 °С соответственно (рис. 1). Дыхательный коэффициент также оказался значимо выше после охлаждения водой температурой 24 °С на 3,9 % ( $p < 0,001$ ), при 8 °С на 2,6 % ( $p = 0,011$ ). Вентиляционный эквивалент по углекислому газу значимо возрос на 5,4 % ( $p = 0,032$ ) после охлаждения водой температурой 8 °С. Показатели потребления кислорода и минутного выделения углекислого газа статистически значимо не изменялись.

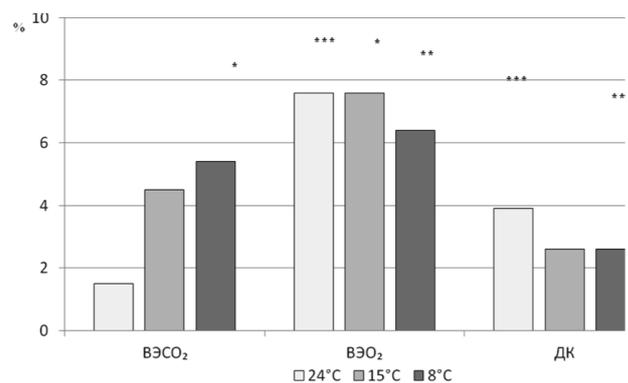


Рис. 1. Изменение показателей легочного газообмена в ответ на локальное охлаждение кисти водой температурой 24, 15 и 8 °С у девушек

Примечание. За 100 % принята исходная величина до холодового воздействия. Изменения по сравнению с исходным состоянием статистически значимы: \* –  $p \leq 0,05$ ; \*\* –  $p \leq 0,01$ ; \*\*\* –  $p \leq 0,001$ .

У юношей отмечалось только значимое увеличение дыхательного коэффициента на 7,8 % ( $p = 0,002$ ) при охлаждении водой температурой 24 °С (рис. 2).

Таблица 1

Изменение показателей легочного газообмена у юношей и девушек в ответ на локальное охлаждение кисти

n = 30 (д), n = 30 (м)

Показатель	Пол	После локального охлаждения при 24 °С (2), 15 °С (3) и 8 °С (4)				p	P <sub>1-2</sub>	P <sub>1-3</sub>	P <sub>1-4</sub>
		1	2	3	4				
PO <sub>2</sub> , мл/мин	М	374,5 (269,3–452,3)	339,0 (291,8–408,5)	334,5 (298,8–407,5)	325,0 (265,5–404,8)	0,350			
	Ж	237,5 (161,3–322,3)	228,5 (177,0–287,0)	229,5 (169,3–281,8)	222,5 (163,0–263,0)	0,759			
VCO <sub>2</sub> , мл/мин	М	287,0 (199,0–352,5)	273,5 (214,5–340,3)	263,5 (217,3–315,3)	249,5 (202,8–298,8)	0,114			
	Ж	197,0 (107,5–240,8)	183,5 (145,0–226,5)	173,0 (134,3–219,3)	167,0 (117,5–205,5)	0,357			
ВЭСО <sub>2</sub> , л	М	31,7 (30,3–35,1)	33,2 (31,3–35,7)	33,5 (30,8–35,5)	33,5 (31,0–36,5)	0,615			
	Ж	33,1 (30,4–35,3)	33,6 (30,5–36,4)	34,6 (31,7–37,2)	34,9 (32,7–37,8)	0,032	0,393	0,061	0,032
ВЭО <sub>2</sub> , л	М	24,6 (22,6–28,0)	26,2 (24,2–30,1)	26,0 (23,4–27,9)	26,5 (23,4–29,7)	0,196			
	Ж	25,0 (22,0–27,6)	26,9 (22,9–29,8)	26,9 (22,8–30,3)	26,6 (23,6–31,4)	0,003	0,001	0,028	0,008
ДК	М	0,77 (0,71–0,83)	0,83 (0,76–0,85)	0,78 (0,75–0,83)	0,78 (0,73–0,82)	0,012	0,002	0,327	0,559
	Ж	0,76 (0,72–0,78)	0,79 (0,73–0,85)	0,78 (0,72–0,81)	0,78 (0,73–0,84)	0,001	0,001	0,081	0,011

Примечание. Сравнение зависимых выборок осуществлялось с помощью непараметрического критерия Т-Вилкоксона, Md (Q1–Q3).

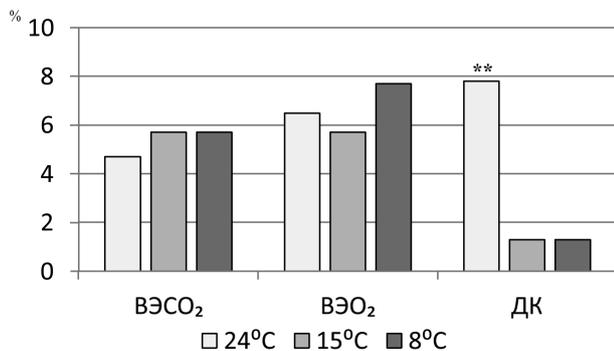


Рис. 2. Изменение показателей легочного газообмена в ответ на локальное охлаждение кисти водой температурой 24, 15 и 8 °С (в % к исходному) у юношей

Примечание. За 100 % принята исходная величина до холодого воздействия. Изменения по сравнению с исходным состоянием статистически значимы: \*\* – p ≤ 0,01.

После холодого воздействия на кожу стопы юношей и девушек также наблюдались изменения показателей легочного газообмена (табл. 2).

У девушек происходило значимое увеличение показателя вентиляционного эквивалента по кислороду на 8,8 % (p = 0,040), 8,4 % (p = 0,029) и 8,0 % (p = 0,003) при охлаждении водой температурой 24, 15 и 8 °С соответственно (рис. 3). Также статистически значимо возросли величины вентиляционного эквивалента по углекислому газу на 4,8 % (p = 0,045) и 7,6 % (p = 0,013) при воздействии воды, температура которой составила 15 и 8 °С. Остальные показатели статистически значимо не изменялись. Следует подчеркнуть, что при локальном охлаждении стопы наблюдались более выраженные изменения показателей легочного газообмена, чем при холодого воздействии на кисть.

Локальное охлаждение стопы у юношей привело лишь к статистически значимому снижению показателя минутного выделения углекислого газа при температуре воды 24 °С на 18,8 % (p = 0,041), а при 8 °С – на 17,1 % (p = 0,005) (рис. 4).

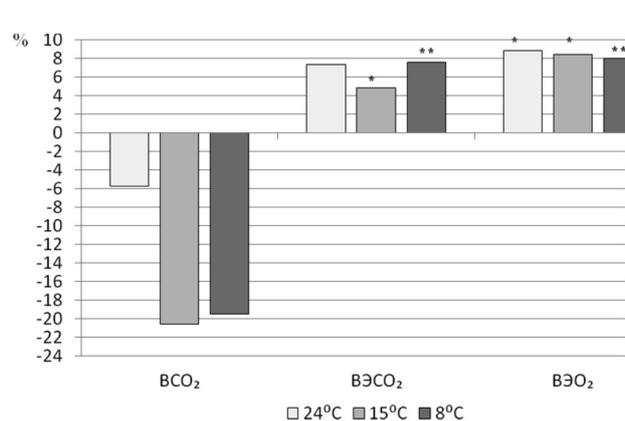


Рис. 3. Изменение показателей легочного газообмена в ответ на локальное охлаждение стопы водой температурой 24, 15 и 8 °С у девушек

Примечание. За 100 % принята исходная величина до холодого воздействия. Изменения по сравнению с исходным состоянием статистически значимы: \* – p ≤ 0,05; \*\* – p ≤ 0,01.

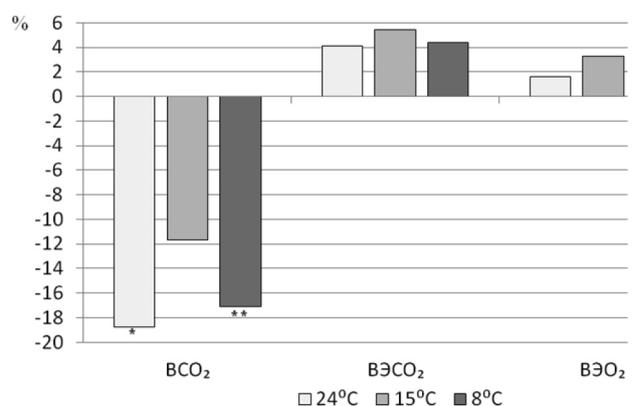


Рис. 4. Изменение показателей легочного газообмена в ответ на локальное охлаждение стопы водой температурой 24, 15 и 8 °С (в % к исходному) у юношей

Примечание. За 100 % принята исходная величина до холодого воздействия. Изменения по сравнению с исходным состоянием статистически значимы: \* – p ≤ 0,05; \*\* – p ≤ 0,01.

Таблица 2

Изменение показателей легочного газообмена у юношей и девушек в ответ на локальное охлаждение стопы

n = 30 (д), n = 30 (м)

Показатель	Пол	Фон	После локального охлаждения при 24 °С (2), 15 °С (3) и 8 °С (4)				P	P <sub>1-2</sub>	P <sub>1-3</sub>	P <sub>1-4</sub>
		1	2	3	4					
ПО <sub>2</sub> , мл/мин	М	374,5 (269,3–452,3)	321,0 (271,0–390,3)	321,5 (266,3–368,8)	303,0 (234,8–354,0)	0,056				
	Ж	237,5 (161,3–322,3)	235,0 (165,5–285,5)	206,5 (165,0–286,0)	198,5 (147,8–282,3)	0,395				
ВСО <sub>2</sub> , мл/мин	М	287,0 (199,0–352,5)	233,0 (195,8–295,8)	253,5 (203,0–282,3)	238,0 (167,0–264,0)	0,020	0,041	0,061	0,005	
	Ж	197,0 (107,5–240,8)	185,5 (124,3–229,0)	156,5 (123,3–221,5)	158,5 (112,5–202,8)	0,581				
ВЭСО <sub>2</sub> , л	М	31,7 (30,3–35,1)	33,0 (31,3–34,4)	33,4 (31,1–34,8)	33,1 (31,5–35,7)	0,444				
	Ж	33,1 (30,4–35,3)	35,5 (32,3–36,8)	34,7 (31,8–38,0)	35,6 (33,6–37,7)	0,030	0,057	0,045	0,013	
ВЭО <sub>2</sub> , л	М	24,6 (22,6–28,0)	25,0 (22,5–27,1)	25,4 (22,5–27,8)	24,8 (23,1–27,0)	0,756				
	Ж	25,0 (22,0–27,6)	27,2 (24,0–28,8)	27,1 (23,1–29,6)	27,0 (24,3–30,0)	0,021	0,040	0,029	0,003	
ДК	М	0,77 (0,71–0,83)	0,76 (0,73–0,78)	0,74 (0,73–0,80)	0,76 (0,72–0,81)	0,214				
	Ж	0,76 (0,72–0,78)	0,77 (0,72–0,81)	0,76 (0,73–0,81)	0,78 (0,72–0,82)	0,168				

Примечание. Сравнение зависимых выборок осуществлялось с помощью непараметрического критерия Т-Вилкоксона, Md (Q1–Q3).

### Обсуждение результатов

Известно, что при локальном воздействии низких температур происходит активация симпатической нервной системы, вызывающая рефлекторное повышение концентрации норадреналина, аденозинтрифосфата, снижение интенсивности периферического кровотока, повышение частоты сердечных сокращений, систолического и диастолического артериального давления [13, 14, 16].

Типичной реакцией функции дыхания на внешнее интенсивное холодное воздействие у человека является увеличение потребления кислорода [11, 19]. В проведенном исследовании как у юношей, так и девушек не наблюдалось увеличения уровня потребления кислорода при охлаждении конечностей различными температурами. Вероятно, это связано с тем, что гипотермия охватывала небольшую площадь тела и была непродолжительной.

Отмеченное значимое уменьшение скорости выделения углекислого газа у юношей при охлаждении стопы водой, температура которой составила 24 и 8 °С, возможно, является рефлекторным проявлением гипометаболической реакции организма, описанной ранее в работах О. В. Гришина, Н. В. Устюжаниновой [4].

Дыхательные эквиваленты по кислороду и углекислому газу соответствуют количеству воздуха, необходимого для поступления в организм одного литра кислорода и выделения одного литра углекислого газа и служат индикатором адекватности вентиляции. Можно предположить, что статистически значимое увеличение этих показателей у девушек при локальной гипотермии кисти и стопы происходит в связи с оптимальным соотношением альвеолярной вентиляции и перфузии, что указывает на адекватную реакцию организма на воздействие холода.

Для анализа газообменных процессов определенный интерес представляют изменения дыхательного коэффициента, т. е. отношения объема выделяемого из организма углекислого газа к объему кислорода, поглощаемого за то же время. Изменчивость величины дыхательного коэффициента зависит от субстрата дыхания (окисляемого вещества) и от продуктов дыхания (полного или неполного окисления). В норме величина дыхательного коэффициента варьирует в пределах от 0,7 до 1,0 и позволяет судить о преимущественном использовании того или иного субстрата в процессе метаболизма. В данном исследовании выявлено, что дыхательный коэффициент в покое у юношей равен 0,77 (0,71–0,83), у девушек – 0,76 (0,72–0,78), что, возможно, связано с преобладанием жирового энергообеспечения на фоне меньшего использования углеводов в качестве окисляемых субстратов, характерного для холодного времени года [3].

Таким образом, обобщая результаты проведенного исследования, можно заключить, что реакция девушек более выражена, чем реакция юношей. Кроме того, она зависит от области охлаждения и температуры воздействия. Наиболее существенные изменения наблюдаются при локальном охлаждении стопы температурой воды, вызывающей легкое и сильное напряжение организма.

### Авторство

Шаньгина А. А. – внесла существенный вклад в получение, анализ и интерпретацию данных, подготовила первый вариант статьи; Попова О. Н. – участвовал в анализе и интерпретации данных; Тихонова Е. В. – внесла существенный вклад в интерпретацию данных; Колмогоров С. В. – участвовал в анализе и интерпретации данных; Гудков А. Б. – внёс существенный вклад в интерпретацию данных, окончательно утвердил присланную в редакцию рукопись Шаньгина Анна Анатольевна – SPIN 2351-2459; ORCID 0000-0002-1203-6508

Попова Ольга Николаевна — SPIN 5792-0273; ORCID 0000-0002-0135-4594

Тихонова Елена Васильевна — SPIN 7400-0146; ORCID 0000-0001-8792-5847

Колмогоров Сергей Валентинович — SPIN 5885-9656

Гудков Андрей Борисович — SPIN 4369-3372; ORCID 0000-0001-5923-0941

#### Список литературы

1. Агаджанян Н. А., Нотова С. В. Стресс, физиологические и экологические аспекты адаптации, пути коррекции. Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ, 2009. С. 18–57.

2. Бочаров М. И. Терморегуляция организма при холодных воздействиях (обзор). Сообщение I // Журнал медико-биологических исследований. 2015. № 1. С. 5–15.

3. Варламова Н. Г., Вахнина Н. А., Евдокимов В. Г., Есева Т. В., Канева А. М., Кеткина О. А., Кочан Т. И., Логинова Т. П., Паршуклова О. И., Потолыцина Н. Н., Рогачевская О. В., Солонин Ю. Г., Шадрина В. Д. Сезонная динамика физиологических функций у человека на Севере. Екатеринбург, 2009. 218 с.

4. Гришин О. В., Устюжанинова Н. В. Гипометаболизм у северян в условиях действия низких температур // Бюллетень Сибирского отделения Российской академии медицинских наук: научно-теоретический журнал. 2010. Т. 30, № 3. С. 12–17.

5. Гудков А. Б., Попова О. Н., Скрипаль Б. А. Реакция системы внешнего дыхания на локальное охлаждение у молодых лиц трудоспособного возраста // Медицина труда и промышленная экология. 2009. № 4. С. 26–30.

6. Гудков А. Б., Попова О. Н., Никанов А. Н. Адаптивные реакции внешнего дыхания у работающих в условиях Европейского Севера // Медицина труда и промышленная экология. 2010. № 4. С. 24–27.

7. Орлов Г. А. Хроническое поражение холодом. М.: Медицина, 1978. 168 с.

8. Сарычев А. С., Гудков А. Б., Попова О. Н. Компенсаторно-приспособительные реакции внешнего дыхания у нефтяников в динамике экспедиционного режима труда в Заполярье // Экология человека. 2011. № 3. С. 7–13.

9. Федотов С. Н., Авдышов И. О., Гудков А. Б., Лызганов В. А. Особенности внешнего дыхания при переломе нижней челюсти у жителей Европейского Севера // Стоматология. 2009. Т. 88, № 6. С. 39–42

10. Чащин В. П., Гудков А. Б., Чащин М. В., Попова О. Н. Предииктивная оценка индивидуальной восприимчивости организма человека к опасному воздействию холода // Экология человека, 2017. № 5. С. 3–13.

11. Bleakley C. M., Davison G. W. What is the biochemical and physiological rationale for using cold-water immersion in sports recovery? A systematic review // British Journal of Sports Medicine. 2010. Vol. 44. P. 179–187.

12. Holmer I. Risk assessment in cold environment // Barents. 1998. Vol. 1, N 3. P. 77–79.

13. Kozyreva T. V., Meyta E. S., Khramova G. M. Effect of the sympathetic nervous system co-transmitters ATP and norepinephrine on thermoregulatory response to cooling // Temperature. 2015. Vol. 2, N 1. P. 1–8.

14. Koutun L. T., Voevoda M. I. Susceptibility to hypoxia and breathing control changes after short-term cold exposures // International Journal of Circumpolar Health. 2013. Vol. 72, N 1. 21574 p.

15. Leonard W. R. Measuring human energy expenditure and metabolic function: basic principles and methods // Journal of Anthropological Sciences. 2010. Vol. 88. P. 221–230.

16. Shibahara N., Matsuda H., Umeno K. The responses of skin blood flow, mean arterial pressure and R-R interval induced by cold simulation with cold wind and ice water // J. Anton. Nerv. Syst. 1996. Vol. 61, N 6. P. 109–115.

17. Sidorov P. I., Gudkov A. B., Tedder Iu. R. Physiological aspects of optimization of expedition and work shift schedules in Arctic Regions // Meditsina truda i promyshlennaia ekologiia. 1996. Iss. 6. P. 4–7

18. Taylor N. A. S., Machado-Moreira C., van den Heuvel A., Caldwell J., Taylor E. A., Tipton M. J. The roles of hands and feet in temperature regulation in hot and cold environments // Thirteenth International Conference on Environmental Ergonomics. Boston, USA: University of Wollongong, 2009. P. 405–409.

19. Tipton M. J., Stubbs D. A., Elliott D. H. The effect of clothing on the initial responses to cold water immersion in man // Journal of the Royal Naval Medical Service. 1990. Vol. 76. P. 89–95

20. Wakabayashi H., Wijayanto T., Kuroki H., Lee J-Y, Tochiwara Y. The effect of repeated mild cold water immersions on the adaptation of the vasomotor responses // International Journal of Biometeorology. July 2012. Vol. 56, iss. 4. P. 631–637.

#### References

1. Agadzhanian N. A., Notova S. V. *Stress, fiziologicheskie i ekologicheskie aspekty adaptatsii, puti korrektsii* [Stress, physiological and ecological aspects of adaptation, way of correction]. Orenburg, 2009, pp. 18-57.

2. Bocharov M. I. Thermoregulation in cold environments (Review). Report I. *Zhurnal mediko-biologicheskikh issledovaniy* [Journal of Medical and Biological Research]. 2015, 1, pp. 5-15. [In Russian]

3. Varlamova N. G., Vahnina N. A., Evdokimov V. G., Eseva T. V., Kaneva A. M., Ketkina O. A., Kochan T. I., Loginova T. P., Parshukova O. I., Potolicyna N. N., Rogachevskaya O. V., Solonin Yu. G., Shadrina V. D. *Sezonnaya dinamika fiziologicheskikh funktsii u cheloveka na Severe* [Seasonal Dynamics of physiological functions at the person in the North]. Yekaterinburg, 2009, 218 p.

4. Grishin O. V., Ustyuzhaninova N. V. Hypometabolism of northerners under low temperature conditions. *Bulleten' Sibirskogo otdeleniya Rossiiskoi akademii meditsinskikh nauk: nauchno-teoreticheskii zhurnal* [The Siberian Scientific Medical Journal]. 2010, 30 (3), pp. 12-17. [In Russian]

5. Gudkov A. B., Popova O. N., Skripal' B. A. External respiration system reaction to local cooling of skin of young able-bodied persons. *Meditsina truda i promyshlennaia ekologiia*. 2009, 4, pp. 26-30. [In Russian]

6. Gudkov A. B., Popova O. N., Nikanov A. N. Adaptive reactions of external respiration in workers of European North. *Meditsina truda i promyshlennaia ekologiia*. 2010, 4, pp. 24-27. [In Russian]

7. Orlov G. A. *Hronicheskoe porazhenie holodom* [Chronic cold damage]. Moscow, Meditsina Publ., 1978, 168 p.

8. Sarychev A. S., Gudkov A. B., Popova O. N. Compensatory-adaptive Reactions of External Respiration in Oil Industry Workers in Dynamics of Field Work Regime in Polar Region. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2011, 3, pp. 7-13. [In Russian]

9. Fedotov S. N., Avdyshoev I. O., Gudkov A. B., Lyzganov V. A. External respiration peculiarities in inhabitants of European North in cases of mandible fracture. *Stomatologiya*. 2009, 88 (6), pp. 39-42. [In Russian]

10. Chashchin V. P., Gudkov A. B., Chashchin M. V.,

Popova O. N. Predictive Assessment of Individual Human Susceptibility to Damaging Cold Exposure. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2017, 5, pp. 3-13. [In Russian]

11. Bleakley C. M., Davison G. W. What is the biochemical and physiological rationale for using cold-water immersion in sports recovery? A systematic review. *British Journal of Sports Medicine*. 2010, 44, pp. 179-187.

12. Holmer I. Risk assessment in cold environment. *Barents*. 1998, 1 (3), pp. 77-79.

13. Kozyreva T. V., Meyta E. S., Khramova G. M. Effect of the sympathetic nervous system co-transmitters ATP and norepinephrine on thermoregulatory response to cooling. *Temperature*. 2015, 2 (1), pp. 1-8.

14. Kovtun L. T., Voevoda M. I. Susceptibility to hypoxia and breathing control changes after short-term cold exposures. *International Journal of Circumpolar Health*. 2013, 72 (1), 21574 p.

15. Leonard W. R. Measuring human energy expenditure and metabolic function: basic principles and methods. *Journal of Anthropological Sciences*. 2010, 88, pp. 221-230.

16. Shibahara N., Matsuda H., Umeno K. The responses of skin blood flow, mean arterial pressure and R-R interval induced by cold simulation with cold wind and ice water. *J. Auton. Nerv. Syst.* 1996, 61 (6), pp. 109-115.

17. Sidorov P. I., Gudkov A. B., Tedder Iu .R. Physiological aspects of optimization of expedition and work shift schedules in Arctic Regions. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 1996, 6, pp. 4-7

18. Taylor N. A. S., Machado-Moreira C., van den Heuvel A., Caldwell J., Taylor E. A., Tipton M. J. The roles of hands and feet in temperature regulation in hot and cold environments. *Thirteenth International Conference on Environmental Ergonomics. Boston, USA, University of Wollongong*, 2009, pp. 405-409.

19. Tipton M. J., Stubbs D. A., Elliott D. H. The effect of clothing on the initial responses to cold water immersion in man. *Journal of the Royal Naval Medical Service*. 1990, 76, pp. 89-95.

20. Wakabayashi H., Wijayanto T., Kuroki H., Lee J-Y, Tochihara Y. The effect of repeated mild cold water immersions on the adaptation of the vasomotor responses. *International Journal of Biometeorology*. 2012, 56, is. 4, pp. 631-637.

#### Контактная информация:

Гудков Андрей Борисович – доктор медицинских наук, профессор, директор института гигиены и экологии человека ФГБОУ ВО «Северный государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, заслуженный работник высшей школы РФ; главный научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории функциональных резервов организма института медико-биологических исследований ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова» Минобрнауки России

Адрес: 163000, г. Архангельск, пр. Троицкий, д. 51

E-mail: gudkovab@nsmu.ru