

DOI: <https://doi.org/10.17816/PED14181-88>

Научная статья

## ВЛИЯНИЕ ОБЩЕГО СТАЖА ВОЕННОЙ СЛУЖБЫ И СЛУЖБЫ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ НА ПОКАЗАТЕЛИ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ

© А.А. Семенов<sup>1, 2</sup>, А.В. Лемещенко<sup>1</sup>, В.В. Криштоп<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия;

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия

Для цитирования: Семенов А.А., Лемещенко А.В., Криштоп В.В. Влияние общего стажа военной службы и службы в экстремальных климатических условиях на показатели сердечно-сосудистой системы // Педиатр. – 2023. – Т. 14. – № 1. – С. 81–88.

**Актуальность.** Состояние сердечно-сосудистой системы – одно из центральных звеньев адаптации военнослужащих и лиц, задействованных в приоритетных отраслях экономики, к экстремальным климатическим условиям арктического и субтропического поясов.

**Цель** – оценить показатели сердечно-сосудистой системы у военнослужащих в зависимости от стажа военной службы в экстремальных климатических условиях.

**Материалы и методы.** В одномоментное рандомизированное поперечное исследование были включены 313 мужчин-военнослужащих по контракту, 28–40 лет. Обследуемые были объединены в три группы: проходящие службу в арктическом поясе, в умеренном поясе и группу проходящих службу в условиях среднегорья субтропического пояса. Альтернативным способом деления выборки стало распределение военнослужащих согласно стажу пребывания в текущих климатогеографических условиях. Проводилась пульсоксиметрия и оценка регионарного кровообращения.

**Результаты.** У военнослужащих, проходящих службу в условиях арктического и субтропического поясов, в отличие от службы в умеренном климатическом поясе выявлен комплекс изменений, включающий в себя: рост доли военнослужащих с артериальной гипоксемией и увеличение жесткости сосудов, связанное с ростом доли военнослужащих с типом пульсовой волны А, соответствующей жесткой стенки артерии, и снижением доли лиц с типом пульсовой волны С, соответствующей высокой эластичности артериальной стенки. У военнослужащих, проходящих службу в условиях среднегорья субтропического пояса, увеличение жесткости сосудов было менее выражено, но охватывало больший процент военнослужащих. По мере роста срока службы постепенно нарастает жесткость сосудов с  $-16,7 \pm 14,2$  усл. ед. в первые 5 лет до  $-8,0 \pm 14,3$  усл. ед. в 5–10 лет и до  $0,5 \pm 16,0$  усл. ед. у военнослужащих со сроком службы более 10 лет.

**Заключение.** С увеличением длительности пребывания в неблагоприятных климатических условиях арктического и среднегорья субтропического поясов происходит истощение сердечно-сосудистой системы в виде снижения сатурации и нарастания артериальной гипоксемии с перестройкой сосудистых реакций по гипертоническому типу при стаже более 10 лет.

**Ключевые слова:** Арктика; среднегорье; субтропический пояс; экстремальные климатические условия; географическая широта; стаж службы; фотоплетизмография; жесткость сосудов; сатурация; артериальная гипоксемия.

Поступила: 12.12.2022

Одобрена: 23.01.2023

Принята к печати: 27.02.2023

DOI: <https://doi.org/10.17816/PED14181-88>

Research Article

## THE INFLUENCE OF THE TERM OF MILITARY SERVICE AND EXTREME CLIMATIC CONDITIONS ON THE PARAMETERS OF CARDIOVASCULAR SYSTEM

© Alexey A. Semenov<sup>1,2</sup>, Alexey V. Lemeshchenko<sup>1</sup>, Vladimir V. Kryshtop<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Kirov Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russia;

<sup>2</sup> St. Petersburg State Pediatric Medical University, Saint Petersburg, Russia

For citation: Semenov AA, Lemeshchenko AV, Kryshtop VV. The influence of the term of military service and extreme climatic conditions on the parameters of cardiovascular system. *Pediatrician (St. Petersburg)*. 2023;14(1):81–88. DOI: <https://doi.org/10.17816/PED14181-88>

**BACKGROUND:** The state of the cardiovascular system is one of the central links in the adaptation of servicemen and persons involved in priority sectors of the economy to the extreme climatic conditions of the Arctic and Subtropical zones.

**AIM:** To evaluate the indicators of the cardiovascular system in military personnel, depending on the length of military service in extreme climatic conditions.

**MATERIALS AND METHODS:** A single-stage randomized cross-sectional study included 313 male contract servicemen, 28–40 years old. The subjects were grouped into three groups: those serving in the Arctic zone, in the Middle Zone and a group serving in the conditions of the mid-mountain Subtropical zone. An alternative way of dividing the sample was the distribution of military personnel according to the length of stay in the current climatic and geographical conditions. Pulse oximetry and assessment of regional blood circulation were performed.

**RESULTS:** In military personnel serving in the Arctic and Subtropical zones, in contrast to service in the Middle climatic zone, a set of changes was revealed, including: an increase in the proportion of military personnel with arterial hypoxemia and an increase in vascular stiffness associated with an increase in the proportion of military personnel with pulse wave type A, corresponding to a rigid artery wall, and a decrease in the proportion of persons with pulse wave type waves with, corresponding to the high elasticity of the arterial wall. In military personnel serving in the conditions of the mid-mountain Subtropical zone, the increase in vascular stiffness was less pronounced, but covered a larger percentage of military personnel. As the service life increases, vascular stiffness gradually increases from  $-16,7 \pm 14,2$  conl. units, in the first 5 years, to  $-8,0 \pm 14,3$  conl. units in 5–10 years, and to  $0,5 \pm 16,0$  conventional units in military personnel with a service life of more than 10 years.

**CONCLUSIONS:** With an increase in the duration of stay in unfavorable climatic conditions of the Arctic and mid-mountain Subtropical zones, the cardiovascular system is depleted in the form of a decrease in saturation and an increase in arterial hypoxemia with a restructuring of vascular reactions according to hypertension with an experience of more than 10 years.

**Keywords:** Arctic; middle mountains; subtropical zone; extreme climatic conditions; geographical latitude; service experience; photoplethysmography; vascular stiffness; saturation; arterial hypoxemia.

Received: 12.12.2022

Revised: 23.01.2023

Accepted: 27.02.2023

## АКТУАЛЬНОСТЬ

Оптимизация адаптации к экстремальным климатическим условиям — одна из фундаментальных задач, направленная на повышение эффективности труда и здоровьесбережение военнослужащих и лиц, задействованных в приоритетных отраслях экономики. Совокупность климатогеографических и экологических характеристик Арктического региона: гипобарическая гипоксия, низкие температуры, особенности фотопериодичности, электромагнитные возмущения и магнитные бури, воздействие космического излучения и геомагнитных флуктуаций, «холодовая гипоксия», вызванная ростом коэффициента утилизации кислорода тканями, приводит к напряжению механизмов регуляции сердечно-сосудистой системы, что определяет повышенные требования к состоянию здоровья военнослужащих [5]. Субтропический климат с устойчиво высокой температурой так же замедляет утилизацию кислорода тканями, что может приводить к росту артериального давления, сужению артериол и перегрузке миокарда, что также обуславливает повышенные требования к сердечно-сосудистой системе [3]. Вместе с тем мы не смогли обнаружить в доступной нам литературе сравнительных исследований адаптации сердечно-сосудистой системы к условиям арктического и субтропического поясов. Однако обратное исследование, направленное на оценку адаптации к условиям умеренного климатического пояса у лиц, родившихся в условиях арктических и субтропического регионов, продемонстрировало ряд общих черт и значимых отличий [1].

Цель — оценить показатели сердечно-сосудистой системы у военнослужащих в зависимости от стажа военной и от экстремальных климатических условий.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В одномоментное рандомизированное поперечное исследование были включены 313 мужчин военнослужащих по контракту, по результатам медицинского освидетельствования военно-врачебной комиссией признанных годными к военной службе, к службе по военно-учетной специальности, проходящих службу в Российской Федерации. Возраст участников эксперимента составил от 28 до 40 лет. Обследуемые были объединены в три группы: 1-я группа — 97 человек, проходящих службу в арктическом пояссе (28–40 лет), 2-я группа — 129 человек, проходящих службу в умеренном пояссе (28–40 лет), 87 человек, проходящих службу в условиях среднегорья субтропического пояса. Альтернативным способом групп-

ировки стало распределение военнослужащих по времени пребывания в текущих климатогеографических условиях на группы со стажем менее 5 лет, 5–10 лет и более 10 лет. Обследование проводилось в марте–апреле. Все участники были проинформированы о проведении исследования и дали на него информированное добровольное согласие. Проводилась пульсоксиметрия на приборе Betty BM1000B и оценка регионарного кровообращения с использованием прибора АнгиоСкан-01П на основе исследования формы объемной пульсовой волны фотоплетизмографическим датчиком.

Определяли sistолическое (САД) и диастолическое (ДАД) артериальное давление (мм рт. ст.), частоту сердечных сокращений (уд./мин), жесткость сосудов по данным фотоплетизмографии в условных единицах, сатурацию кислородом артериальной крови ( $SpO_2$ ) в процентах. Статистическую обработку данных выполняли при помощи электронных таблиц Microsoft Excel 2019 и SPSS Statistics 26.

Перед началом анализа проверяли соответствие распределения всех количественных показателей закону нормального распределения при помощи критерия Шапиро – Уилка. Исследуемые группы были охарактеризованы при помощи среднего арифметического значения и стандартного отклонения ( $X \pm SD$ ). Для качественных данных основной характеристикой являлось число военнослужащих, соответствующих диапазону значений критерия и процент общей выборки.

Для оценки значимости различий средних значений количественных показателей использовали тест Краскела – Уоллиса. При оценке частот встречаемости проверка гипотезы о происхождении групп, сформированных по качественному признаку, из одной и той же популяции проводилась на основе построения таблиц сопряженности наблюдаемых и ожидаемых частот с применением критерия хи-квадрат Пирсона. При статистической обработке таблиц  $2 \times 2$  и при количестве ячеек менее 5 использовался точный критерий Фишера. Различия признавали значимыми при  $p < 0,05$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ

У военнослужащих, проходящих службу в условиях арктического пояса, в отличие от службы в умеренном климатическом пояссе, выявлен комплекс изменений, включающий рост доли лиц с артериальной гипоксемией до 15,0–15,3 %, повышение САД ( $125,1 \pm 13,5$  мм рт. ст.) и ДАД ( $81,9 \pm 6,9$  мм рт. ст.), частоту сердечных сокращений ( $77,0 \pm 12,2$  уд./мин), увеличение жесткости сосудов до  $3,1 \pm 16,2$  усл. ед. было связано

с ростом доли военнослужащих с типом пульсовой волны А, соответствующей жесткой стенки артерии (13,4 %; у служащих в умеренном поясе только 5,7 %), и снижением доли лиц с типом пульсовой волны С, соответствующей высокой эластичности артериальной стенки (81,4 %; у служащих в умеренном поясе 94,3 %).

У проходящих службу в условиях субтропического пояса наблюдался комплекс перестроек, аналогичный изменениям в условиях арктического пояса. Выявлено также увеличение доли военнослужащих с артериальной гипоксемией. Увеличение жесткости сосудов было менее выражено — до  $-7,5 \pm 13,9$ , но охватывало больший процент выборки. Рост доли военнослужащих с типом пульсовой волны А, соответствующей

жесткой стенке артерии, достигал 25,0 % (у служащих в арктическом поясе 13,4 %) и со снижением доли лиц с типом пульсовой волны С, соответствующей высокой эластичности артериальной стенки (69,3 %; у военнослужащих в арктическом поясе 81,4 %). Однако систолическое артериальное давление не увеличено (табл. 1).

При разделении участников на группы по стажу установлено, что по мере роста срока службы постепенно нарастает жесткость сосудов с  $-16,7 \pm 14,2$  в первые 5 лет, до  $-8,0 \pm 14,3$  в 5–10 лет и до  $0,5 \pm 16,0$  усл. ед. у военнослужащих со сроком службы более 10 лет.

Однако по большинству других показателей преимущественно достоверные различия приходятся или на короткий (до 5 лет) или длительный

Таблица 1 / Table 1

Функциональные показатели военнослужащих, проходящих службу в различных климатогеографических поясах  
Functional indicators of military personnel undergoing military service in various climatogeographic zones

Показатель / Indicator	Климатический пояс / Climate zone			p
	арктический / arctic	умеренный / moderate	субтропический / subtropical	
Систолическое артериальное давление, мм рт. ст. / Systolic blood pressure, mm Hg ( $X \pm SD$ )	<b>125,1 ± 13,5</b>	121,7 ± 16,7	118,5 ± 14,8	0,01
Диастолическое артериальное давление, мм рт. ст. / Diastolic blood pressure, mm Hg ( $X \pm SD$ )	81,9 ± 6,9	79,1 ± 5,8	79,0 ± 9,1	0,237
Частота сердечных сокращений, уд./мин / Heart rate, beats/min ( $X \pm SD$ )	77,0 ± 12,2	74,1 ± 10	74,6 ± 11,7	0,097
Фотоплетизмография / Photoplethysmography				
Жесткость сосудов, усл. ед. (норма: от $-40$ до $-5$ ) / Vascular stiffness, standard units (norm: $-40$ to $-5$ ), ( $X \pm SD$ )	<b>3,1 ± 16,2</b>	$-17,8 \pm 11,9$	<b><math>-7,5 \pm 13,9</math></b>	<0,001
Тип пульсовой волны, <i>n</i> человек (% выборки) / Pulse wave type, <i>n</i> people (% of the sample)	A — жесткая стенка артерий / A — the hard wall of the arteries	<b>13 (13,4)</b>	<b>4 (5,7)</b>	<b>22 (25,0)</b>
	B — средняя жесткость артериальной стенки / B — the average stiffness of the arterial wall	<b>5 (5,2)</b>	<b>0</b>	<b>5 (5,7)</b>
	C — высокая эластичность артериальной стенки / C — high elasticity of the arterial wall	<b>79 (81,4)</b>	<b>66 (94,3)</b>	<b>61 (69,3)</b>
Показатели периферического насыщения кислородом / Indicators of peripheral oxygen saturation				
SpO <sub>2</sub> , % ( $X \pm SD$ )	96,6 ± 1,4	97,7 ± 1,0	96,5 ± 1,1	<0,001
Норма — 96–99 %, <i>n</i> человек (% выборки) / The norm is 96–99 %, <i>n</i> people (% of the sample)	83 (84,7)	93 (98,9)	74 (84,1)	<0,001
Артериальная гипоксемия, <i>n</i> человек (% выборки) / Arterial hypoxemia, <i>n</i> people (% of the sample)	<b>15 (15,3)</b>	1 (1,1)	<b>14 (15,9)</b>	

Примечание. Полужирным шрифтом выделены статистически значимые различия. ( $X \pm SD$ ) — среднее арифметическое значение и стандартное отклонение. Note. Statistically significant differences are highlighted in bold. ( $X \pm SD$ ) — arithmetic mean and standard deviation.

(более 10 лет) срок службы. Так, в группе до 5 лет службы отмечается достоверное снижение САД до  $117,3 \pm 20,1$  мм рт. ст., а в группе военнослужащих со сроком службы более 10 лет достоверно повышенено среднее САД до  $127,8 \pm 11,8$  мм рт. ст. При сроке службы более 10 лет также отмечен достоверный рост доли военнослужащих с артериальной гипоксемией до 14,8 %, что сопровождается достоверным снижением средних показателей сатурации крови до  $96,6 \pm 1,4$  %. В группе военнослужащих со сроком службы более 10 лет достоверно увеличена доля лиц с типом пульсовой волны А, соответствующей жесткой стенке артерии до 20,9 %. Особенный статус групп военнослужащих со сроком службы до 5 лет и более 10 лет подтверждает достоверно более высокая доля лиц

с типом пульсовой волны С, соответствующей высокой эластичности стенки артерии (92,6 %) в группе военнослужащих со сроком службы 5–10 лет (табл. 2).

Абсолютный или относительный недостаток кислорода является общей чертой многих сердечно-сосудистых заболеваний, что может способствовать их манифестации и прогрессированию [11]. Критическую роль в транспорте кислорода по сосудистому руслу, а также при переносе и утилизации тканями играет эндотелий — первый слой клеток, контактирующий с кровью. На гипоксию эти клетки реагируют секрецией НИФ — группой транскрипционных факторов [13], что вызывает рост экспрессии генов VEGF и эндотелиальной NO-синтазы (eNOS), и как следствие увеличение

Таблица 2 / Table 2

Функциональные показатели военнослужащих в зависимости от стажа службы  
Functional indicators of military personnel depending on the length of military service

Показатель / Indicator	Стаж по группам / Experience in groups			P
	до 5 лет	5–10 лет	>10 лет	
Систолическое артериальное давление, мм рт. ст. / Systolic blood pressure, mm Hg ( $X \pm SD$ )	$117,3 \pm 20,1$	$123,3 \pm 7,5$	$127,8 \pm 11,8$	<b>0,001</b>
Диастолическое артериальное давление, мм рт. ст. / Diastolic blood pressure, mm Hg ( $X \pm SD$ )	$78,1 \pm 7,2$	$79,8 \pm 7,1$	<b><math>83,1 \pm 7,5</math></b>	<b>0,022</b>
Частота сердечных сокращений, уд./мин / Heart rate, beats/min ( $X \pm SD$ )	$74 \pm 11$	$76 \pm 10$	$75 \pm 12$	0,498
Жесткость сосудов, усл. ед. (норма: от -40 до -5) / Vascular stiffness, standard units (norm: -40 to -5), ( $X \pm SD$ )	<b><math>-16,7 \pm 14,2</math></b>	<b><math>-8,0 \pm 14,3</math></b>	<b><math>0,5 \pm 16,0</math></b>	<0,001
Тип пульсовой волны, <i>n</i> человек (% выборки) / Pulse wave type, <i>n</i> people (% of the sample)	A — жесткая стенка артерий / A — the hard wall of the arteries	8 (12,3)	5 (7,4)	<b>24 (20,9)</b>
	B — средняя жесткость артериальной стенки / B — the average stiffness of the arterial wall	2 (3,1)	0	7 (6,1)
	C — высокая эластичность артериальной стенки / C — high elasticity of the arterial wall	55 (84,6)	<b>63 (92,6)</b>	84 (73,0)
Показатели периферического насыщения кислородом / Indicators of peripheral oxygen saturation				
SpO <sub>2</sub> , % ( $X \pm SD$ )	$97,2 \pm 1,2$	$97,2 \pm 1,1$	<b><math>96,6 \pm 1,4</math></b>	<b>0,002</b>
Норма — 96–99 %, <i>n</i> человек (% выборки) / The norm is 96–99 %, <i>n</i> people (% of the sample)	63 (90,0)	78 (96,3)	104 (85,2)	0,039
Артериальная гипоксемия, <i>n</i> человек (% выборки) / Arterial hypoxemia, <i>n</i> people (% of the sample)	7 (10,0 %)	3 (3,7 %)	<b>8 (14,8 %)</b>	

Примечание. Полужирным шрифтом выделены статистически значимые различия. ( $X \pm SD$ ) — среднее арифметическое значение и стандартное отклонение. Note. Statistically significant differences are highlighted in bold. ( $X \pm SD$ ) — arithmetic mean and standard deviation.

синтеза эндотелиального фактора роста и индуциальной eNOS [12]. В свою очередь, это увеличивает синтез монооксида азота в результате окисления L-аргинина в присутствии НАДФН, с образованием L-цитруллина и НАДФ.

Биологические эффекты оксида азота опосредованы его концентрацией. Малые физиологические концентрации NO ( $<10^{-6}$  М), которые сопровождают функционирование конститтивных изоформ eNOS, оказывают цито- и нейропротекторное действие. В обычном состоянии eNOS в 80 % является конститтивной и в 20 % — индуциальной ферментативной формой [6], но когда доля последней возрастает, у NO проявляется цитотоксическое и провоспалительное действие. Окисленные липопротеины низкой плотности подавляют синтез NO в тромбоцитах, стимулируют их агрегацию, образование тромбоксана A2 и серотонина, приводя к развитию эндотелиальной дисфункции [4], что может обуславливать рост жесткости стенки сосудов по мере увеличения стажа службы в исследуемых климатических зонах.

При стаже службы до 5 лет рост САД, вероятно, связан с описанной выше активацией и повреждением эндотелиальных клеток, приводящими к патологическому ответу даже на обычные стимулы в виде вазоконстрикции, тромбообразования, усиления клеточной пролиферации, гиперкоагуляции с внутрисосудистым отложением фибриногена [2]. В росте САД свою роль также играет развитие общего адаптационного синдрома как универсального индикатора адаптационно-приспособительных реакций организма [10].

Однако тип пульсовой волны, соответствующий типу А, жесткая стенка артерий появляется только спустя более чем 10 лет службы, что свидетельствует о структурных перестройках. Патоморфологический субстрат такой степени жесткости артериального русла — артериосклероз, характеризующийся постепенным уменьшением в сосудистой стенке содержания эластина и повышением коллагена [8]. Эластин является наиболее инертным веществом в организме и обладает периодом полураспада в несколько десятилетий, поскольку его молекулы стабилизированы поперечными сшивками, но их разрушение в результате длительного воспаления под действием матричных металлопротеиназ предрасполагает к минерализации кальцием и фосфором [7].

Интересно, что влияние арктического и среднегорья субтропического типов климата на показатели сердечно-сосудистой системы имеет много общего, что, вероятно, связано с нарушением утилизации кислорода тканями, наблюдаемым в обо-

их случаях. Литературные данные свидетельствуют, что перестройка системы кровообращения у лиц, мигрировавших в арктический пояс, протекает стадийно, формируя фазу дестабилизации (до 2 лет), фазу стабилизации (от 2 до 4 лет), переходный период (от 4 до 7–10 лет) и фазу истощения (более 10 лет) [9]. Адаптация систем к экстремальным климатическим условиям протекает асинхронно, и во время смены адаптационных периодов организм человека находится в разбалансированном состоянии. Это согласуется с данными, полученными в нашем исследовании.

## ВЫВОДЫ

1. Наиболее важными периодами военной службы, требующими повышенного внимания к профилактике заболеваний сердечно-сосудистой системы, являются интервалы до 5 лет и после 10 лет стажа.

2. С увеличением длительности пребывания в неблагоприятных климатических условиях арктического и среднегорья субтропического поясов происходит истощение сердечно-сосудистой системы в виде снижения сатурации и нарастания артериальной гипоксемии с перестройкой сосудистых реакций по гипертоническому типу при стаже более 10 лет.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

**Вклад авторов.** Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Источник финансирования.** Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

## ADDITIONAL INFORMATION

**Authors' contribution.** Thereby, all authors made a substantial contribution to the conception of the study, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the article, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the study.

**Competing interests.** The authors declare that they have no competing interests.

**Funding source.** This study was not supported by any external sources of funding.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балашов В.Н., Удовиченко О.А., Евдокимов В.Г. Влияние климата на состояние здоровья и развитие

- респираторной патологии у иностранных граждан, обучающихся в военно-учебных заведениях РФ // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. 2014. № 51. С. 69–74.
2. Бобкова И.Н., Чеботарева И.В., Рамеев В.В., и др. Роль эндотелиальной дисфункции в прогрессировании хронического гломерулонефрита, современные возможности ее коррекции // Терапевтический архив. 2005. Т. 77, № 6. С. 92–96.
  3. Вондимтека Т.Д., Шаов М.Т., Пшикова О.В. Изменение адаптационного потенциала организма в условиях высокогорья и субтропического климата под воздействием физических упражнений // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16, № 5. С. 291–294.
  4. Криштоп В.В., Пахрова О.А., Стрельников А.И. Основы системной гемореологии. Иваново: Ивановская государственная медицинская академия, 2015. 128 с.
  5. Кузнецов И.А., Куликов А.В., Морозова Е.А., Мамин Р.Х. К вопросу о физической выносливости как средстве повышения неспецифической устойчивости военнослужащих войск ПВО-про к выполнению боевых и специальных задач в условиях жаркого климата // Актуальные проблемы физической и специальной подготовки силовых структур. 2019. № 3. С. 93–97.
  6. Кузнецова В.Л., Соловьева А.Г. Оксид азота: свойства, биологическая роль, механизмы действия // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 4. С. 462.
  7. Терегулов Ю.Э., Маянская С.Д., Терегурова Е.Т. Изменения эластических свойств артерий и гемодинамические процессы // Практическая медицина. 2017. № 2. С. 14–20.
  8. Туктаров А.М., Филиппов А.Е., Обрезан А.А., Куколь Л.В. Возможности контурного анализа пульсовой волны в диагностике раннего сосудистого старения // Рациональная фармакотерапия в кардиологии. 2020. Т. 16, № 3. С. 356–362. DOI: 10.20996/1819-6446-2020-06-15
  9. Турчинский В.И. Ишемическая болезнь сердца на Крайнем Севере. Новосибирск: Наука, 1980.
  10. Ушаков А.В., Иванченко В.С., Гагарина А.А. Патогенетические механизмы формирования стойкой артериальной гипертензии при хроническом психоэмоциональном напряжении // Артериальная гипертензия. 2016. Т. 22, № 2. С. 128–143. DOI: 10.18705/1607-419X-2016-22-2-128-143
  11. Chen P-S., Chiu W-T., Hsu P-L., et al. Pathophysiological implications of hypoxia in human diseases // J Biomed Sci. 2020. Vol. 27. ID 63. DOI: 10.1186/s12929-020-00658-7
  12. Rodriguez-Miguel P., Lima-Cabello E., Martínez-Flórez S., et al. Hypoxia-inducible factor-1 modulates the expression of vascular endothelial growth factor and endothelial nitric oxide synthase induced by eccentric exercise // J Appl Physiol. 2015. Vol. 118, No. 8. P. 1075–1083. DOI: 10.1152/japplphysiol.00780.2014
  13. Wong B.W., Marsch E., Treps L., et al. Endothelial cell metabolism in health and disease: Impact of hypoxia // EMBO J. 2017. Vol. 36, No. 15. P. 2187–2203. DOI: 10.1525/embj.201696150

## REFERENCES

1. Balashov VN, Udovichenko OA, Evdokimov VG. Climate impact on health and respiratory pathology development in foreign people studying at the Russian military academy. *Bulletin Physiology and Pathology of Respiration*. 2014;(51):69–74. (In Russ.)
2. Bobkova IN, Chebotareva IV, Rameev VV, et al. Rol ehndotelial'noi disfunktssi v progressirovani khronicheskogo glomerulonefrita, sovremennoye vozmozhnosti ee korrektssi. *Therapeutic archive*. 2005;77(6):92–96. (In Russ.)
3. Wondimteka TD, Shaov MT, Pshikova OV. Change of adaptation potential of the organism in the conditions of highlands and subtropical climate as a result of physical exercises. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2014;16(5):291–294. (In Russ.)
4. Krishtop VV, Pakhrova OA, Strel'nikov AI. *Osnovy sistemnoi gemoreologii*. Ivanovo: Ivanovskaya gosudarstvennaya meditsinskaya akademiya, 2015. 128 p. (In Russ.)
5. Kuznetsov IA, Kulikov AV, Morozova EA, Mamin RKh. Physical endurance as a means of increasing non-specific resistance of servicemen of Air and Missile Defence Troops to perform combat and special mission in heat extreme conditions. *Actual problems of physical and special training of law enforcement agencies*. 2019;(3):93–97. (In Russ.)
6. Kuznetsova VL, Soloveva AG. Nitric oxide: properties, biological role, mechanisms of action. *Modern Problems of Science and Education*. 2015;(4):462. (In Russ.)
7. Teregulov YuE, Mayanskaya SD, Teregulova ET. Changes in elastic properties of arteries and hemodynamic processes. *Practical medicine*. 2017;(2):14–20. (In Russ.)
8. Tuktarov AM, Filippov AE, Obrezan AA, Kukol' LV. Possibilities of Pulse Wave Contour Analysis in Diagnostics of Early Vascular Aging. *Rational Pharmacotherapy in Cardiology*. 2020;16(3):356–362. (In Russ.) DOI: 10.20996/1819-6446-2020-06-15
9. Turchinskii VI. *Ishemicheskaya bolez' serdtsa na Kрайнем Севере*. Novosibirsk: Nauka, 1980. (In Russ.)
10. Ushakov AV, Ivanchenko VS, Gagarina AA. Pathogenic mechanisms of arterial hypertension in

- patients with chronic psychoemotional stress. *Arterial Hypertension*. 2016;22(2):128–143. (In Russ.) DOI: 10.18705/1607-419X-2016-22-2-128-143
11. Chen P-S, Chiu W-T, Hsu P-L, et al. Pathophysiological implications of hypoxia in human diseases. *J Biomed Sci*. 2020;27:63. DOI: 10.1186/s12929-020-00658-7
12. Rodriguez-Miguelez P, Lima-Cabello E, Martínez-Flórez S, et al. Hypoxia-inducible factor-1 modulates the expression of vascular endothelial growth factor and endothelial nitric oxide synthase induced by eccentric exercise. *J Appl Physiol*. 2015;118(8): 1075–1083. DOI: 10.1152/japplphysiol.00780.2014
13. Wong BW, Marsch E, Treps L, et al. Endothelial cell metabolism in health and disease: Impact of hypoxia. *EMBO J*. 2017;36(15):2187–2203. DOI: 10.15252/embj.201696150

#### ◆ Информация об авторах

Алексей Анатольевич Семенов – канд. мед. наук, докторант кафедры нормальной анатомии. ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова» Минобороны России, Санкт-Петербург, Россия. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1977-7536>; e-mail: semfeodosia82@mail.ru

\*Алексей Викторович Лемещенко – канд. мед. наук, докторант кафедры патологической физиологии. ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова» Минобороны России, Санкт-Петербург, Россия. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6786-2332>; e-mail: lav\_1981@mail.ru

Владимир Владимирович Криштоп – канд. мед. наук, доцент кафедры морфологии. ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет», Санкт-Петербург, Россия. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9267-5800>; e-mail: chrisstop@mail.ru

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

#### ◆ Information about the authors

Alexey A. Semenov – MD, PhD, doctoral student, Department of normal anatomy. Kirov Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1977-7536>; e-mail: semfeodosia82@mail.ru

\*Alexey V. Lemeshchenko – MD, PhD, doctoral student, Department of pathological physiology. Kirov Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6786-2332>; e-mail: lav\_1981@mail.ru

Vladimir V. Krishtop – MD, PhD, assistant professor, Department of Morphology. Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9267-5800>; e-mail: chrisstop@mail.ru