

# ИММУННЫЙ СТАТУС СТУДЕНТОВ С РАЗЛИЧНЫМ УРОВНЕМ ФИЗИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

Зайцева И.П.<sup>1</sup>, Зайцев О.Н.<sup>2</sup>, Романов В.А.<sup>3</sup>, Семечкин Н.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Ярославский государственный университет имени П.Г. Демидова», г. Ярославль, Россия

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Ярославский государственный технологический университет», г. Ярославль, Россия

<sup>3</sup> ФГБОУ ВО «Ярославский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения РФ, г. Ярославль, Россия

**Резюме.** Характер изменений иммунной системы при выполнении физической работы является сложным процессом, вовлекающим множество различных механизмов. Исследования в этом направлении представляют актуальную проблему. Цель исследования – изучение показателей клеточного и гуморального иммунитета у студентов с различными уровнями физической активности. Обследовано 77 студентов мужского пола, составивших 3 группы: 1) с низким уровнем физической активности (n = 32) – студенты, не привлеченные к спортивной деятельности на постоянной основе; 2) студенты со средним уровнем физической активности (n = 22) – самбисты-новички без спортивных разрядов; 3) студенты с высоким уровнем физической активности (n = 23) – самбисты высокой квалификации – перворазрядники, кандидаты в мастера и мастера спорта. У студентов всех групп исследовали количественное содержание в крови различных фенотипов лимфоцитов методом проточной цитометрии; уровни сывороточных иммуноглобулинов методом лазерной нефелометрии; фагоцитарные показатели традиционными методами; кислородзависимый метаболизм нейтрофилов методом хемилюминесценции. У студентов с высоким уровнем физической активности было достоверно увеличено содержание в крови Т- и В-лимфоцитов по сравнению с аналогичными показателями группы с низким уровнем физической активности и группы студентов, не занимающихся спортом. Концентрация иммуноглобулина класса G в сыворотке крови студентов с высоким уровнем физической активности достоверно превышала соответствующие значения у студентов со средним уровнем и студентов, не занимающихся спортом. Наибольшая концентрация иммуноглобулина класса M отмечалась у студентов с высоким уровнем физической активности. Фагоцитарная активность и фагоцитарное число у лиц с высоким уровнем физической активности нейтрофилов достоверно превышали таковые у студентов со средним и низкими уровнями физической активности. Показатели спонтанной и индуцированной хемилюминесценции в группах с высоким и средним уровнями физической активности были достоверно выше, чем у студентов с низким уровнем. Выполненные исследования свидетельствуют о положительном влиянии регулярных тренировочных физических нагрузок на факторы гуморального и клеточного звеньев иммунитета у студентов в условиях действия образовательной среды высшего учебного заведения.

**Ключевые слова:** иммунный статус, гуморальный и клеточный иммунитет, студенты, физическая активность

## Адрес для переписки:

Зайцева Ирина Петровна  
ФГБОУ ВО «Ярославский государственный  
университет имени П.Г. Демидова»  
150000, Россия, г. Ярославль, ул. Советская, 14.  
Тел.: 8 (4852) 79-77-02, 30-32-10, 8 (902) 331-85-55.  
E-mail: irischa-zip@yandex.ru

## Address for correspondence:

Irina P. Zaitseva  
P. Demidov Yaroslavl State University  
14 Sovetskaya St  
Yaroslavl  
150000 Russian Federation  
Phones: +7 (4852) 79-77-02, 30-32-10, +7 (902) 331-85-55.  
E-mail: irischa-zip@yandex.ru

## Образец цитирования:

И.П. Зайцева, О.Н. Зайцев, В.А. Романов,  
Н.В. Семечкин «Иммунный статус студентов  
с различным уровнем физической активности»  
// Российский иммунологический журнал, 2024. Т. 27,  
№ 3. С. 573-578.  
doi: 10.46235/1028-7221-16910-ISO

© Зайцева И.П. и соавт., 2024  
Эта статья распространяется по лицензии  
Creative Commons Attribution 4.0

## For citation:

I.P. Zaitseva, O.N. Zaitsev, V.A. Romanov, N.V. Semechkin  
“Immune status of students with different levels of physical  
activity”, Russian Journal of Immunology/Rossiyskiy  
Immunologicheskii Zhurnal, 2024, Vol. 27, no. 3, pp. 573-578.  
doi: 10.46235/1028-7221-16910-ISO

© Zaitseva I.P. et al., 2024  
The article can be used under the Creative  
Commons Attribution 4.0 License  
DOI: 10.46235/1028-7221-16910-ISO

# IMMUNE STATUS OF STUDENTS WITH DIFFERENT LEVELS OF PHYSICAL ACTIVITY

Zaitseva I.P.<sup>a</sup>, Zaitsev O.N.<sup>b</sup>, Romanov V.A.<sup>c</sup>, Semechkin N.V.<sup>c</sup>

<sup>a</sup> P. Demidov Yaroslavl State University, Yaroslavl, Russian Federation

<sup>b</sup> Yaroslavl State Technological University, Yaroslavl, Russian Federation

<sup>c</sup> Yaroslavl State Medical University, Yaroslavl, Russian Federation

**Abstract.** The nature of changes in the immune system during physical work is a complex process involving many different mechanisms. Research in this direction is an urgent problem. The purpose of the research was to study the indicators of cellular and humoral immunity in students with different levels of physical activity. A total of 77 male students were examined, consisting of 3 groups: 1) with a low level of physical activity (n = 32) – students who were not involved in sports activities on a regular basis; 2) students with an average level of physical activity (n = 22) – beginner sambo wrestlers without sports categories; and 3) students with a high level of physical activity (n = 23) – highly qualified sambo wrestlers – first-class athletes, candidates for masters and masters of sports. In students of all groups, the quantitative content of various phenotypes of lymphocytes in the blood was studied by flow cytometry; serum immunoglobulin levels by laser nephelometry; phagocytic parameters by traditional methods; and oxygen-dependent metabolism of neutrophils by chemiluminescence. In students with a high level of physical activity, the content of T and B lymphocytes in the blood was significantly increased compared to similar indicators of the group with a low level of physical activity and the group of students who did not participate in sports. The concentration of class G immunoglobulin in the blood serum of students with a high level of physical activity significantly exceeded the corresponding values in students with an average level and students not engaged in sports. The highest concentration of class M immunoglobulin was observed in students with high levels of physical activity. Phagocytic activity and phagocytic count in individuals with high levels of physical activity and neutrophils were significantly higher than those of students with medium and low levels of physical activity. The rates of spontaneous and induced chemiluminescence in the groups with high and medium levels of physical activity were significantly higher than in students with low levels. The studies carried out indicate the positive effect of regular training physical activity on the factors of humoral and cellular links of immunity in students in the conditions of the educational environment of a higher educational institution.

*Keywords:* immune status, humoral and cellular immunity, students, physical activity

## Введение

Характер изменений иммунной системы при выполнении физической работы является сложным процессом, вовлекающим множество различных механизмов [1, 3, 12].

Существующие данные указывают на комплексные изменения функционирования иммунной системы при большой физической нагрузке. С учетом значимости анксиогенного стресса в процессе обучения в вузе и его вклада в стимуляцию гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы и, соответственно, реализацию функций иммунокомпетентных клеток, приобретает особый интерес изучение сочетанного действия таких факторов, как образовательная среда и большая физическая нагрузка на показатели иммунной системы. Любые нарушения иммунологической реактивности при некорректно спланированном тренировочном процессе в условиях обучения в вузе могут приводить не только к повышению восприимчивости к инфекционным

заболеваниям, но и к стресс-индуцированной патологии неинфекционного генеза, снижая продуктивность как умственной, так и физической работы.

**Цель исследования** – изучение показателей клеточного и гуморального иммунитета у студентов с различными уровнями физической активности.

## Материалы и методы

Было обследовано 77 студентов мужского пола, составивших 3 группы: 1) с низким уровнем физической активности (НУФА, n = 32) – студенты, не привлеченные к спортивной деятельности на постоянной основе; 2) студенты со средним уровнем ФА (СУФА, n = 22) – самбисты-новички без спортивных разрядов; 3) студенты с высоким уровнем ФА (ВУФА, n = 23, самбисты высокой квалификации – перворазрядники, кандидаты в мастера и мастера спорта). Работа прошла этическую экспертизу (протокол исследования № 1 от

20 февраля 2018 г. одобрен Локальным этическим комитетом).

У студентов всех групп исследовали количественное содержание в крови различных фенотипов лимфоцитов (CD3<sup>+</sup> общие Т-лимфоциты; CD4<sup>+</sup> – Т-хелперы; CD8<sup>+</sup> – Т-цитотоксические клетки/супрессоры; CD19<sup>+</sup> – В-лимфоциты, подсчет иммунорегуляторного индекса (ИРИ – CD4<sup>+</sup>/CD8<sup>+</sup>) методом проточной цитометрии на цитофлюометре Cytomics FC-500 (Beckman Coulter, США) согласно рекомендациям фирмы-производителя; уровни сывороточных иммуноглобулинов (IgG, IgM, IgA) методом лазерной нефелометрии на автоматическом нефелометре BNProSpec (Siemens, Германия); фагоцитарные показатели традиционными методами (фагоцитарная активность – % фагоцитировавших клеток; фагоцитарное число – среднее количество *S. aureus*, фагоцитированных одной клеткой); кислородзависимый метаболизм нейтрофилов методом спонтанной и индуцированной хемилюминесценции (сХЛ, иХЛ) с подсчетом коэффициента активации нейтрофилов (КАН – иХЛ/сХЛ), отражающего резервные функции нейтрофила [2].

## Результаты и обсуждение

Результаты исследований влияния различных уровней физической активности на фенотип циркулирующих в крови лимфоцитов представлен в таблице 1.

Установлено, что у студентов в группе высокой спортивной квалификации с высоким уровнем

физической активности было достоверно увеличено содержание в крови Т- и В-лимфоцитов по сравнению с аналогичными показателями группы с низким уровнем физической активности студентов, не занимающихся спортом. Количество Т-хелперов (CD4) и Т-цитотоксических клеток/супрессоров (CD8) в обследуемых группах достоверно не отличалось. В то же время имело место некоторое увеличение этих субпопуляций Т-лимфоцитов в циркулирующей периферической крови с достоверным возрастанием ИРИ по мере повышения уровня физической активности, свидетельствуя об увеличении функционального резерва нейтрофилов.

Более выраженные изменения под влиянием физической активности в условиях действия различных уровней физической активности были выявлены при исследовании уровня сывороточных иммуноглобулинов (табл. 2).

Так, концентрация иммуноглобулина класса G в сыворотке крови студентов с высоким уровнем физической активности достоверно превышала соответствующие значения у студентов со средним уровнем и студентов, не занимающихся спортом, с низким уровнем физической активности. Наибольшая концентрация иммуноглобулина класса M отмечалась у студентов с высоким уровнем физической активности в группе высокой спортивной квалификации. Достоверных отличий в уровне иммуноглобулина класса A среди студентов с высоким, средним и низким уровнями физической активности не было выявлено.

**ТАБЛИЦА 1. СОДЕРЖАНИЕ ОСНОВНЫХ ФЕНОТИПОВ ЛИМФОЦИТОВ В ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ У СТУДЕНТОВ С РАЗЛИЧНЫМ УРОВНЕМ ФИЗИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ**

TABLE 1. CONTENT OF THE MAIN LYMPHOCYTE PHENOTYPES IN PERIPHERAL BLOOD IN STUDENTS WITH DIFFERENT LEVELS OF PHYSICAL ACTIVITY

Кластер дифференцировки лимфоцитов Lymphocyte differentiation cluster CD	Уровень физической активности Physical activity level			KWp
	1. Высокий 1. High (n = 23)	2. Средний 2. Average (n = 22)	3. Низкий 3. Low (n = 32)	
	Количество лимфоцитов Lymphocyte count M±SD %%			
CD3 <sup>+</sup>	70,0±4,7	68,0±3,0	65,0±3,0 <sup>1</sup>	0,001
CD4 <sup>+</sup>	42,0±3,3	40,0±3,0	39,0±4,0	0,054
CD8 <sup>+</sup>	32,0±3,7	33,0±4,0	33,0±4,0	0,297
CD4 <sup>+</sup> /CD8 <sup>+</sup>	1,32±3,50	1,22±3,50	1,19 <sup>1</sup>	0,05
CD19 <sup>+</sup>	19,0±2,9	18,0±3,0	16,0±2,0 <sup>1</sup>	0,002

Примечание. <sup>1</sup> – достоверность отличий от показателей группы 1 (p < 0,05); n – количество студентов в группе.

Note. <sup>1</sup>, the significance of differences from the indicators of the group 1 (p < 0.05); n, the number of students in the class.

**ТАБЛИЦА 2. СОДЕРЖАНИЕ ИММУНОГЛОБУЛИНОВ В СЫВОРОТКЕ КРОВИ СТУДЕНТОВ С РАЗЛИЧНЫМ УРОВНЕМ ФИЗИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ( $M \pm m$ )**

TABLE 2. IMMUNOGLOBULIN CONTENT IN THE BLOOD SERUM OF STUDENTS WITH DIFFERENT LEVELS OF PHYSICAL ACTIVITY ( $M \pm m$ )

Классы Ig Ig classes	Уровень физической активности Physical activity level		
	1. Высокий 1. High (n = 23)	2. Средний 2. Average (n = 22)	3. Низкий 3. Low (n = 32)
	Содержание иммуноглобулинов, г/л Immunoglobulin content, g/L		
IgG, г/л IgG, g/L	16,18±2,80	12,05±1,80 <sup>1</sup>	10,30±1,19 <sup>1</sup>
IgM, г/л IgM, g/L	1,53±0,16	1,510±0,180	1,31±0,17 <sup>1,2</sup>
IgA, г/л IgA, g/L	2,80±0,25	2,62±0,35	2,50±0,32

Примечание. <sup>1</sup> – достоверность отличий от показателей группы 1 ( $p < 0,05$ ); <sup>2</sup> – достоверность отличий от показателей группы 1, 2 ( $p < 0,05$ ); n – количество студентов в группе.

Note. <sup>1</sup>, reliability of differences from the indicators of group 1 ( $p < 0.05$ ); <sup>2</sup>, reliability of differences from the indicators of group 1, 2 ( $p < 0.05$ ); n, the number of students in the class.

**ТАБЛИЦА 3. ПОКАЗАТЕЛИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ФАГОЦИТАРНОГО ЗВЕНА ИММУНИТЕТА У СТУДЕНТОВ С РАЗЛИЧНЫМ УРОВНЕМ ФИЗИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ**

TABLE 3. INDICATORS OF FUNCTIONAL ACTIVITY OF THE PHAGOCYtic LINK OF IMMUNITY IN STUDENTS WITH DIFFERENT LEVELS OF PHYSICAL ACTIVITY

Показатель Indicator	Уровень физической активности Physical activity level			KWp
	1. Высокий 1. High (n = 23)	2. Средний 2. Average (n = 22)	3. Низкий 3. Low (n = 32)	
	Фагоцитарные показатели Phagocytic parameters			
Фагоцитарная активность, % Phagocytic activity, %	67,00±1,52	63,00±1,82 <sup>1</sup>	58,00±2,07 <sup>1,2</sup>	< 0,001
Фагоцитарное число Phagocyte number	8,00±0,48	7,00±0,38 <sup>1</sup>	4,30±0,42 <sup>1,2</sup>	< 0,001
сХл, 10 <sup>4</sup> имп/мин sHI, 10 <sup>4</sup> imp/min	2,11±0,70	1,09±0,12 <sup>1</sup>	0,83±0,16 <sup>1</sup>	< 0,001
иХЛ, 10 <sup>4</sup> имп/мин iHI, 10 <sup>4</sup> imp/min	4,30±1,26	2,80±0,86 <sup>1</sup>	2,00±0,19 <sup>1</sup>	< 0,001
Коэффициент активации нейтрофилов Neutrophil activation rate	2,04±0,66	2,57±0,50 <sup>1</sup>	2,41±0,17	

Примечание. <sup>1</sup> – достоверность отличий от показателей группы 1 ( $p < 0,05$ ); <sup>2</sup> – достоверность отличий от показателей группы 2 ( $p < 0,05$ ); сХл – спонтанная хемилюминесценция; иХл – индуцированная хемилюминесценция; n – количество студентов в группе.

Note. <sup>1</sup>, reliability of differences from the indicators of group 1 ( $p < 0.05$ ); <sup>2</sup> – reliability of differences from the indicators of group 2 ( $p < 0.05$ ); sHI, spontaneous chemiluminescence; iHI, induced chemiluminescence; n, the number of students in the group.

Наиболее выраженные изменения под влиянием регулярной тренировочной физической нагрузки наблюдались в функциональной характеристике фагоцитарного звена иммунитета (табл. 3). В частности, фагоцитарная активность нейтрофилов спортсменов высоких спортивных разрядов достоверно превышала таковую у студентов со средним и низкими уровнями физической активности. Фагоцитарное число у лиц с высоким уровнем физической активности также превышало соответствующие значения студентов-спортсменов со средним уровнем и студентов с низким уровнем физической активности.

Интенсивность спонтанной и индуцированной хемилюминесценции также характеризовалась достоверной зависимостью от уровня физической нагрузки. В частности, интенсивность спонтанной хемилюминесценции в группе с высоким уровнем физической активности была достоверно выше таковой у студентов со средним уровнем. Даже средний уровень физической активности сопровождался достоверным повышением интенсивности спонтанной хемилюминесценции от уровня студентов группы с низким уровнем ФА.

Сходные данные были получены при постановке теста индуцированной ХЛ; ее интенсивность в группе с высокой физической активностью характеризовалась достоверным превышением над таковой групп со средней и низкой уровнями. Эти данные свидетельствовали о повышении степени функционального резерва нейтрофила под влиянием регулярных тренировочных физических нагрузок в условиях действия образовательной среды.

## Заключение

Полученные данные о достоверном увеличении числа Т- и В-лимфоцитов у студентов с высокой физической активностью в сравнении с данными студентов с низкой физической активностью и отсутствие существенных изменений по другим фенотипам частично согласуются с результатами исследования фенотипа лимфоцитов в периферической крови спортсменов в течение 19 месяцев, продемонстрировавшие отсутствие достоверных отклонений; даже избыточная физическая нагрузка не влияла на показатели фенотипа лимфоцитов [5].

Было также показано, что обычный тренировочный процесс у спортсменов высокой квалификации не приводит к статистически значимым изменениям общего количества популяций и субпопуляций лимфоцитов. В то же время обследование мужчин после различной физической нагрузки выявило выраженное снижение количества Т-лимфоцитов и Т-хелперов у мужчин с низким уровнем тренированности; напротив, у

тренированных мужчин количество этих клеток было повышено; достоверного изменения количества Т-цитотоксических клеток не было найдено [9]. Констатировано достоверное влияние анксиогенного стресса на уровень Т-хелперов и соотношение Т-хелперы/Т-супрессоры у спортсменов с высоким уровнем тревожности; при сравнении влияния интенсивной физической нагрузки и анксиогенного стресса на спортсменов различной спортивной квалификации автором было установлено, что физическая нагрузка, в отличие от анксиогенного стресса, не сопровождалась выраженными изменениями фенотипа лимфоцитов [8].

Выявленное повышение уровня иммуноглобулинов в сыворотке крови лиц с повышенной физической активностью демонстрирует активацию гуморального звена иммунитета несмотря на отсутствие достоверных различий в количестве В-лимфоцитов. В то же время значительная часть исследований, посвященная изучению данного вопроса, свидетельствует о формировании скрытого иммунодефицита на фоне снижения гуморальных факторов иммунитета, что в итоге приводит к снижению резистентности спортсменов к инфекционным заболеваниям [6, 11].

Наряду с активацией гуморального иммунитета была отмечена стимуляция функциональной активности клеточного звена иммунитета у лиц с более высоким уровнем тренированности, что согласуется с работами, свидетельствующими о повышении фагоцитарной активности нейтрофилов и продукции ими супероксид-анион радикала в ответ на физическую нагрузку у бегунов на длинные дистанции и триатлонистов по сравнению с контрольной группой добровольцев [7]. Более того, показатели функциональной активности нейтрофилов предлагают использовать в качестве критерия эффективности адаптации как к физической нагрузке, так и к сезонным факторам среды [3].

Наблюдаемое увеличение интенсивности спонтанной и особенно индуцированной хемилюминесценции свидетельствует об активации лейкоцитов и, в частности, интенсивности «кислородного взрыва», характеризующегося активацией прооксидантных систем. Так, ранее проведенные исследования показали, что, по данным литературы, физическая тренировка стимулирует экспрессию НАДФН-оксидазы нейтрофилов [10].

В целом наблюдаемые изменения и данные литературы свидетельствуют о том, что интенсивная физическая нагрузка сопровождается некоторыми отклонениями в иммунной системе, тогда как регулярная умеренная нагрузка ее стимулирует [13].

## Список литературы / References

1. Болотов А.А., Сашенков С.Л., Тишевская Н.В. Модельные характеристики спортсменов с учетом их специализации по показателям периферического отдела эритрона и иммунного статуса организма // Современные проблемы науки и образования, 2014. № 2. С. 373. [Bolotov A.A., Sashenkov S.L., Tishevskaya N.V. Model characteristics of athletes taking into account their specialization according to the indicators of the peripheral department of the erythron and the immune status of the organism. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya = Modern Problems of Science and Education*, 2014, no. 2, p. 373. (In Russ.)]
2. Земсков В.М., Барсуков А.А., Безносенко С.А. Изучение функционального состояния фагоцитов человека (кислородзависимый метаболизм и подвижность клеток). Экологическая иммунология. М.: ВНИРО. 1995. С. 218. [Zemskov V.M., Barsukov A.A., Beznosenko S.A. Study of the functional state of human phagocytes (oxygen-dependent metabolism and cell motility). *Environmental Immunology*. Moscow: VNIRO, 1995. p. 218.]
3. Колупаев В.А., Колупаева И.Л. Состояние фагоцитарной активности нейтрофилов периферической крови у спортсменов как критерий адаптации организма к физическим нагрузкам и сезонным условиям среды // Теория и практика физической культуры, 2015. № 5. С. 42-44. [Kolupaev V.A., Kolupaeva I.L. The state of phagocytic activity of neutrophils of peripheral blood in athletes as a criterion for adapting the organism to physical loads and seasonal conditions of the environment. *Teoriya i praktika fizicheskoy kultury = Theory and Practice of Physical Culture*, 2015, no. 5, pp. 42-44. (In Russ.)]
4. Сашенков С.Л., Пылаева И.Л., Колупаев В.А., Долгушин И.И. Влияние окружающей среды на клеточный и гуморальный иммунитет у спортсменов // Гигиена и санитария, 2012. № 3. С. 42-44. [Sashenkov S.L., Pylaeva I.L., Kolupaev V.A., Dolgushin I.I. Influence of the environment on cellular and humoral immunity in athletes. *Gigiena i sanitariya = Hygiene and Sanitation*, 2012, no. 3, pp. 42-44. (In Russ.)]
5. Gabriel H.H., Urhausen A., Valet G., Heidelberg U., Kindermann W. Overtraining and immune system: a prospective longitudinal study in endurance athletes. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 1998, Vol. 30, no. 7, pp. 1151-1155.
6. Gleeson M., Pyne D.B. Respiratory inflammation and infections in high performance athletes. *Immunol. Cell Biol.*, 2015, Vol. 94, no 2, pp. 124-131.
7. Hack V., Strobel G., Weiss M., Weicker H. PMN cell counts and phagocytic activity of highly trained athletes depend on training period. *J. Appl. Physiol.*, 1994, Vol. 77 no 4, pp. 1731-1735.
8. Hong S., Farag N.H., Nelesen R.A., Ziegler M.G., Mills P.J. Effects of regular exercise on lymphocyte subsets and CD62L after psychological vs. physical stress. *J. Psychosom. Res.*, 2004, Vol. 56, no 3, pp. 363-370.
9. Kendall A., Hoffman-Goetz L., Houston M., MacNeil B.Y. Exercise and blood lymphocyte subset responses: intensity, duration, and subject fitness effects. *J. Appl. Physiol.* 1985, Vol. 69 no 1, pp. 251-260.
10. Levada-Pires A.C., Lambertucci R.H., Mohamad M., Hirabara S.M., Curi R., Pithon-Curi T.C. Exercise training raises expression of the cytosolic components of NADPH oxidase in rat neutrophils. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 2007, Vol. 100, no. 2, 153. doi: 10.1007/s00421-007-0414-y.
11. MacKinnon L.T. Overtraining effects on immunity and performance in athletes. *Immunol. Cell Biol.*, 2000, Vol. 78, no. 5, pp. 502-509.
12. Pendergast D.R., Leddy J.J., Venkatraman J.T. A perspective on fat intake in athletes. *J. Am. Coll. Nutr.*, 2000, Vol. 19, no. 3, pp. 345-350.
13. Simpson R.J., Kunz H., Agha N., Graff R. Exercise and the regulation of immune functions. In *Progress in molecular biology and translational science*. *Prog. Mol. Biol. Transl. Sci.*, 2015, Vol. 135, pp. 355-380.

---

### Авторы:

**Зайцева И.П.** — д.б.н., профессор кафедры физического воспитания и спорта ФГБОУ ВО «Ярославский государственный университет имени П.Г. Демидова», г. Ярославль, Россия

**Зайцев О.Н.** — к.б.н., доцент кафедры физического воспитания ФГБОУ ВО «Ярославский государственный технологический университет», г. Ярославль, Россия

**Романов В.А.** — д.м.н., профессор, заведующий кафедрой микробиологии с вирусологией и иммунологией ФГБОУ ВО «Ярославский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения РФ, г. Ярославль, Россия

**Семечкин Н.В.** — к.м.н., старший преподаватель кафедры микробиологии с вирусологией и иммунологией ФГБОУ ВО «Ярославский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения РФ, г. Ярославль, Россия

### Authors:

**Zaitseva I.P.**, PhD, MD (Biology), Professor, Department of Physical Education and Sports, P. Demidov Yaroslavl State University, Yaroslavl, Russian Federation

**Zaitsev O.N.**, PhD (Biology), Associate Professor, Department of Physical Education, Yaroslavl State Technological University, Yaroslavl, Russian Federation

**Romanov V.A.**, PhD, MD (Medicine), Professor, Head, Department of Microbiology with Virology and Immunology, Yaroslavl State Medical University, Yaroslavl, Russian Federation

**Semetchkin N.V.**, PhD (Medicine), Senior Lecturer, Department of Microbiology with Virology and Immunology, Yaroslavl State Medical University, Yaroslavl, Russian Federation

---

Поступила 03.04.2024

Отправлена на доработку 06.04.2024

Принята к печати 18.04.2024

---

Received 03.04.2024

Revision received 06.04.2024

Accepted 18.04.2024