

Культура физическая и здоровье. 2023. № 2 (86). С. 278-281.  
Physical Culture and Health. 2023, 2 (86), 278-281.

Научная статья  
УДК 611.428: 611.08  
DOI: 10.47438/1999-3455\_2023\_2\_278

## СТРОЕНИЕ КАПСУЛЫ И СИНУСОВ ЛИМФАТИЧЕСКОГО УЗЛА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗОК И ИНФРАЗВУКА



Елена Анатольевна Олейник<sup>1</sup>, Екатерина Валентиновна Петренко<sup>2</sup>

Национальный государственный университет физической культуры,  
Спорта и здоровья имени П. Ф. Лесгафта <sup>1, 2</sup>  
Санкт-Петербург, Россия

<sup>1</sup>Кандидат педагогических наук, доцент кафедры анатомии  
тел.: +7 (812) 714-12-13, e-mail: asmcode@mail.ru  
ORCID: 0000-0002-6419-9552

<sup>2</sup>Кандидат медицинских наук, доцент кафедры анатомии  
тел.: +7 (812) 714-12-13, e-mail: e\_v\_petrenko@mail.ru  
ORCID: 0009-0005-4110-1398

**Аннотация.** Спортсмены, проживающие в условиях городской среды, подвергаются не только воздействию физических нагрузок, но и инфразвука, источником которого являются транспортные и производственные шумы. Интенсивные физические нагрузки и инфразвук могут привести к структурно-функциональной неполноценности лимфатических узлов. Проведено экспериментальное исследование подколенных лимфатических узлов белых крыс, подвергавшихся воздействию физических нагрузок и инфразвука. Результаты исследования показали, что сочетанное воздействие физических нагрузок и инфразвука вызывает деструкцию и гибель миоцитов капсулы лимфоузлов и нарушение строения ее соединительнотканного каркаса, что проявляется в разрыхлении пучков коллагеновых волокон, деформации сети эластических волокон. Нарушение миоархитектоники капсулы сопровождается снижением ее сократительной активности, что ведет к резкому расширению всех синусов и неравномерному растяжению капсулы лимфатического узла. Расширенные синусы заполнены лимфоцитами, что свидетельствует о явлениях отека и лимфостаза. Отек лимфатического узла сопровождается нарушением миграции лимфоцитов, что может вызвать угнетение лимфо- и иммунопоэза.

**Ключевые слова:** физические нагрузки, инфразвук, лимфатический узел, капсула, синусы, миоциты, соединительнотканное волокно.

**Для цитирования:** Олейник Е. А., Петренко Е. В. Стрoение капсулы и синусов лимфатического узла при воздействии физических нагрузок и инфразвука // Культура физическая и здоровье. 2023. № 2. С. 278-281. DOI: 1047438-1999-3455\_2023\_2\_278.

### Введение

Организм спортсменов подвергается постоянному воздействию как интенсивных физических нагрузок, так и внешних факторов среды. Одним из факторов, воздействующих на человека в условиях городской среды, является инфразвук, как составляющая часть транспортных и производственных шумов, громкой музыки и работающих механизмов [13]. Сопrotивляемость организма к воздействию разнообразных факторов среды обеспечивает его иммунная система [7]. Известно, что интенсивные физические нагрузки могут привести к структурно-функциональной недостаточности иммунных органов, проявляющейся снижением резистентности организма к воздействию чужеродных и болезнетворных факторов [5]. Инфразвук, в свою очередь, вызывает серьезные нарушения лимфотока, сопровождающиеся тканевыми отеками и лимфoвенозной недостаточностью [1].

Физические нагрузки вызывают угнетение лимфопоэза [11, 14], в основе которого лежит, прежде всего, изменение гормонального фона [12], степень и выраженность которого зависит от индивидуальной реакции организма на физические нагрузки [9]. Инфразвук вызывает повреждения ультраструктуры клеток на субмикроскопическом уровне [13], что ведет к деструкции и гибели миоцитов сосудистой стенки и деформации лимфатических сосудов [2]. Нарастающие дегенеративные изменения и деформация сосудов сопровождаются прогрессирующим фиброзом сосудистой стенки, утратой её эластичности и растяжимости [3]. Прежде всего страдают тонкостенные лимфатические сосуды, что ведет к нарушению лимфотока во всех звеньях лимфатического русла, в том числе – в лимфатических узлах, расположенных на путях оттока лимфы из органов [4].

При воздействии физических нагрузок на организм строма лимфатического узла, в отличие от паренхимы, не подвержена значительным изменениям [10]. Инфра-

звук же вызывает заметные нарушения лимфотока, явления отека и лимфостаза, что может существенно нарушить миграцию лимфоцитов в лимфатическом узле. Нарушение миграционных процессов в лимфоузле может сопровождаться выраженным расстройством лимфо- и иммунопоэза [6] и заметно сузить диапазон морфологических резервов иммунной системы [8]. Поскольку организм спортсменов подвергается сочетанному воздействию физических нагрузок и инфразвука, становится актуальным изучение стромальных элементов и синусов лимфатического узла при воздействии физических нагрузок и инфразвука.

### **Материал и методы исследования**

Проводилось экспериментальное исследование на 30 самцах беспородных белых крыс в возрасте 3 мес. Животных на протяжении четырех недель подвергали воздействию ежедневных, постепенно возрастающих физических нагрузок (плавание). После завершения физических нагрузок животных разделили на две группы. Первая группа проходила восстановительный период в условиях обычного содержания в виварии. Вторую группу подопытных животных подвергали воздействию инфразвука интенсивностью 100 дБ с частотой 16 Гц на протяжении двух недель восстановительного периода. Исследования ряда авторов показывают, что через две недели после воздействия физических нагрузок в лимфоидных органах наблюдается наиболее выраженное угнетение лимфопоэза [8-10].

По завершении эксперимента животных усыпляли хлороформом и брали материал для исследования. Изучались гистологические препараты подколенных лимфатических узлов, окрашенных пикрофуксином, орсеином, импрегнированных азотнокислым серебром. Проводилось измерение толщины капсулы и ширины синусов лимфатического узла с помощью окуляр-микрометра. Были изготовлены тотальные препараты капсулы узлов, окрашенные галлоцианином, орсеином и азотнокислым серебром. Проводилось электронно-микроскопическое исследование капсулы узлов. Результат сравнивали с данными контроля; контрольную группу составили 10 самцов белых крыс того же возраста.

### **Результаты и обсуждение**

Результаты исследования показали, что после воздействия физических нагрузок лимфатические узлы не меняют своих размеров и формы; ширина их синусов не меняется по сравнению с данными контроля. Строение капсулы узла в этой группе подопытных животных также не отличается от данных контроля. Капсула лимфатического узла имеет неравномерную толщину – она становится более тонкой над лимфоидными узелками и утолщается в промежутках между ними. Здесь наблюдается скопление пучков коллагеновых волокон и гладких миоцитов, также формирующих пучки. Эластические волокна образуют в капсуле сеть с более крупными ячейками в надузелковых зонах и более узкими – в межузелковых. Сокращение миоцитов капсулы способствует активному транспорту лимфы по системе лимфатических синусов так же, как работа миоцитов в лимфангионе [4].

После воздействия физических нагрузок и инфразвука лимфатические узлы выглядят набухшими, что связано с отеками явлениями, происходящими в них.

Заметный отек наблюдается и в сосудистом русле [2, 3], который сопровождает нарушения лимфотока в лимфатическом узле. В капсуле узла выявляются нарушения ультраструктуры миоцитов. Миоциты выглядят набухшими, просветленными; ядра их имеют округлую форму и просветлены, тогда как в контроле ядра имеют овальную форму, узкие и плотные, интенсивно окрашенные. Электронно-микроскопическое исследование показывает, что эндоплазматическая сеть миоцитов расширена, местами разорвана, содержание рибосом на ней заметно снижено. Митохондрии набухшие, их кристы теряют параллельность, наблюдаются разрывы крист. В некоторых миоцитах деструктивные изменения более выражены: эндоплазматическая сеть резко расширена, с многочисленными разрывами, имеет место деструкция митохондрий. Цитоплазма просветлена, содержание свободных рибосом в ней заметно снижено, в некоторых клетках наблюдается вакуолизация цитоплазмы. Деструкция миоцитов ведет к их гибели, и содержание миоцитов в капсуле лимфатического узла снижено на 20 %.

У животных второй подопытной группы наблюдается расширение всех синусов узла, в том числе – подкапсульного, что ведет к неравномерному растяжению капсулы. Однако капсула лимфатических узлов представляет собой более толстое и прочное образование по сравнению со стенками связанных с ней лимфатических сосудов. Капсула растягивается преимущественно в более тонких надузелковых участках; при растяжении капсулы меняется и строение сети эластических волокон – в надузелковых участках её ячейки неравномерно растягиваются. В межузелковых участках капсула утолщается за счет набухания пучков коллагеновых волокон. Коллагеновые волокна сохраняют свою извилистость, а пучки коллагеновых волокон разрыхлены, волокна в них располагаются более свободно. Пучки миоцитов также выглядят набухшими, разрыхленными, миоциты в них начинают менять свое направление и лежат разнонаправленно.

Гибель миоцитов капсулы и нарушение её сократительной активности приводит к застою лимфы в синусах лимфоузла и их расширению. Расширению подвергаются все синусы узла, но особенно заметно расширены промежуточные синусы. Ширина подкапсульного синуса увеличена в меньшей степени и неравномерно, что связано с разной толщиной капсулы в разных зонах узла. Промежуточные мозговые синусы расширены в 1,5 раза и заполнены лимфоцитами; промежуточные корковые синусы расширены в 1,8 раза. Выраженное расширение синусов и заполнение их лимфоцитами свидетельствует об отеке лимфатического узла и нарушении миграционных процессов в нем [1]. Вызванное инфразвуком нарушение миграции лимфоцитов ведет к угнетению лимфопоэза [6, 7]. В то же время, угнетение лимфопоэза наблюдается и при адаптации к воздействию физических нагрузок [10]. Таким образом, воздействие инфразвука может усугубить структурно-функциональную недостаточность лимфатических узлов, вызванную физическими нагрузками.

### **Выводы**

Проведенное исследование показало, что сочетанное воздействие инфразвука и физических нагрузок вызывает в лимфатических узлах выраженные явления отека

и лимфостаза, которые проявляются в расширении всех синусов узла и деструктивных изменениях капсулы. Резкое расширение, в 1,5-2 раза, происходит в промежуточных корковых и мозговых синусах, которые заполнены лимфоцитами. В меньшей степени расширению подвергается подкапсульный синус, расположенный под защитой толстой капсулы узла.

В капсуле лимфатических узлов наблюдаются деструктивные изменения в миоцитах и снижение их численности на 20%. Меняется строение капсулы – она растягивается и истончается над лимфоидными узелками, утолщаясь между ними. Утолщение капсулы происходит за счет выраженного разрыхления пучков коллагеновых волокон. Пучки миоцитов начинают распадаться

на отдельно расположенные волокна. Неравномерное растяжение капсулы приводит к изменению строения сети эластических волокон и деформации ее ячеек. Деструктивные изменения капсулы узла, резкое расширение синусов и заполнение их лимфоцитами свидетельствует о нарушении процессов миграции в лимфатическом узле.

#### Конфликт интересов

Авторы декларируют отсутствие явного и потенциального конфликта интересов, связанных с публикацией данной статьи.

#### Библиографический список

1. Коненков, В.И., Бородин, Ю.И., Любарский, М.С. Лимфология. Новосибирск : Манускрипт, 2012. 1104 с.
2. Красноруцкая, И.С., Петренко, Е.В. Строение грудного протока при воздействии инфразвука // Спорт, Человек, Здоровье : материалы XI междунар. конгресса, Санкт-Петербург, 23-25 апреля 2023г. / под ред. С.И. Петрова. СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2023. С. 332-334.
3. Красноруцкая, И.С., Петренко, Е.В. Строение бедренной вены и бедренных лимфатических сосудов в условиях воздействия инфразвука на живой организм // Современные проблемы науки и образования. 2022. № 6-1. С. 102. DOI: 10.17513/ spno.32122.
4. Петренко, В.М. Лимфатический узел как лимфангион. Saarbrücken : LAP, 2016. 84 с.
5. Петрушкина, Н.А., Симонова, Н.А., Быков, Е.В. Иммунология спорта (обзор литературы) // Научно-спортивный вестник Урала и Сибири. 2019. № 3. С. 21-37.
6. Лимфопоз и миграционные процессы / А.Ф. Повещенко, В.И. Кононов, Г.А. Шкурат [и др.] // Успехи физиологических наук. 2019. Т. 50. № 4. С. 40-46. DOI: 10.1134/50301179819030081.
7. Сапин, М.Р., Никитюк, Д.Б. Лимфатическая система и ее роль в иммунных процессах. М.: Медицинская книга, 2014. 40 с.
8. Страдина, М.С. Морфологические резервы иммунной системы // Спорт. Человек. Здоровье : материалы IX междунар. конгресса, Санкт-Петербург, 25-27 апреля 2019г. / под ред. В.А. Таймазова. СПб. : Издательство СПбГУ, 2019. С. 97-98.
9. Ткачук, М.Г., Страдина, М.С. Восстановление тимуса после физических нагрузок в условиях иммунокоррекции // Олимпийский спорт и спорт для всех : материалы XX междунар. конгресса, Санкт-Петербург, 16-18 декабря 2016 г. / отв. ред. С.Е. Бакулев. СПб. : Издательско-полиграфический центр Политехнического университета, 2016. Ч. 2. С. 161-164.
10. Ткачук, М.Г., Страдина, М.С. Органы иммунной системы в условиях интенсивных физических нагрузок и в период восстановления // Физическая реабилитация в спорте, медицине и адаптивной физической культуре : материалы V Всероссийской научно-практич. конф., Санкт-Петербург, 27-29 июня 2019 г. СПб. : Издательско-полиграфический центр Политехнического университета, 2019. С. 336-340.
11. Isaev, A.P., Erlikh, V.V., Zalyapin, V.I. The immune system of athletes of different sports. Pedagogics, psychology, medical-biological problems of physical training and sports. 2018. Vol. 22 (6). P. 280-286. doi: 10.15561/18189172.2018.0601.
12. Pankanin, E.S. Overreaching and overtraining syndrome – causes, symptoms, diagnostics and prevention. Journal of Education, Health and Sport. 2018. Vol. 8 (7). P. 424-429. doi: 10.3810/psm.2003.06.396
13. Petrenko, V.M. About mechanics of influence of infrasound on living organism, Journal of Biomedical Systems and Emerging Technologies. 2018. Vol. 5 (2). P. 120.
14. Yuan, X., Xu, S., Huang, H. Influence of excessive exercise on immunity, metabolism, and gut microbial diversity in an overtraining mice model // Scandinavian journal of medicine & science in sports. 2018. Vol. 28 (5). P. 1541-1551. doi: 10.1111/sms.13060.

#### References

1. Konenkov, V. I., Borodin, Yu. I. & Lyubarsky, M. S. (2012) *Lymphology*. Novosibirsk, Manuscript. 1104 p. (In Russian)
2. Krasnorutskaya, I. S. & Petrenko, E. V. (2023) The structure of the thoracic duct under the influence of infrasound. In: Petrov, S. I. (ed.) *Sport. Chelovek. Zdorovie : materialy XI Mezhdunarodnogo kongressa* [Sport. Man. Health : Proceedings of the XI International Congress], 23-25 April 2023, St. Petersburg, Russia. St. Petersburg, POLYTECH-PRESS, 332-334. (In Russian)
3. Krasnorutskaya, I. S. & Petrenko, E. V. (2022) The structure of the femoral vein and femoral lymphatic vessels under the influence of infrasound on a living organism. *Modern problems of Science and Education*. (6-1), 102. Available from: <https://doi.org/10.17513/ spno.32122> (In Russian)
4. Petrenko, V. M. (2016) *Lymph node as a lymphangion*. Saarbrücken, LAMBERT Academic Publishing. 84 p. (In Russian)
5. Petrushkina, N. A., Simonova, N. A. & Bykov, E. V. (2019) Immunology of sports (literature review). *Scientific and Sports Bulletin of the Urals and Siberia*. (3), 21-37. (In Russian)

6. Poveshchenko, A. F., Kononov, V. I., Shurat, G. A. et al. (2019) Lymphopoiesis and migration processes. *Successes of physiological sciences*. 50 (4), 40-46. Available from: <https://doi.org/10.1134/50301179819030081> (In Russian)
7. Sapin, M. R. & Nikityuk, D. B. (2014) *The lymphatic system and its role in immune processes*. Moscow, Medical book. 40 p. (In Russian)
8. Stradina, M. S. (2019) Morphological reserves of the immune system. In: Taymazov, V.A. (ed.) *Sport. Chelovek. Zdorovie : materialy IX Mezhdunarodnogo kongressa* [Sport. Human. Health : Proceedings of the IX International Congress], 25-27 April 2019, St. Petersburg, Russia. St. Petersburg, Publishing House of St. Petersburg State University, 97-98. (In Russian)
9. Tkachuk, M. G. & Stradina, M. S. Restoration of the thymus after physical exertion in conditions of immunocorrection (2016). In: Bakulev, S. E. (ed.) *Olimpiyskiy sport i sport dlya vsekh : materialy XX Mezhdunarodnogo kongressa* [Olympic sport and sport for all : Proceedings of the XX International Congress], 16-18 December 2016, St. Petersburg, Russia. St. Petersburg, Publishing and Printing Center of the Polytechnic University, Part 2, 161-164. (In Russian)
10. Tkachuk, M. G. & Stradina, M. S. (2019) Organs of the immune system under conditions of intense physical exertion and during recovery. In: *Phyzycheskaya reabilitatsiya v sporte, meditsine i adaptivnoy phyzycheskoy culture : materialy V Vserossiyskoi konferentsii* [Physical rehabilitation in sports, medicine and adaptive physical culture : Proceedings of the V All-Russian Scientific and practical Conference], 27-29 June 2019, St. Petersburg, Russia. St. Petersburg, Publishing and Printing Center of the Polytechnic University, 2019, 336-340. (In Russian)
11. Isaev, A. P., Erlikh, V. V. & Zalyapin, V. I. (2018) The immune system of athletes of different sports. *Pedagogics, psychology, medical-biological problems of physical training and sports*. 22(6), 280-286. Available from: <https://doi.org/10.15561/18189172.2018.0601>
12. Pankanin, E. S. (2018) Overreaching and overtraining syndrome - causes, symptoms, diagnostics and prevention. *Journal of Education, Health and Sport*. 8 (7), 424-429. Available from: <https://doi.org/10.3810/psm.2003.06.396>
13. Petrenko, V. M. (2018) About mechanics of influence of infrasound on living organism. *Journal of Biomedical Systems and Emerging Technologies*. 5 (2), 120. Available from: [http:// ISSN: 2952-2526](http://ISSN: 2952-2526)
14. Yuan, X., Xu, S. & Huang, H. (2018) Influence of excessive exercise on immunity, metabolism, and gut microbial diversity in an overtraining mice model. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*. 28 (5), 1541-1551. Available from: <https://doi.org/10.1111/sms.13060>

Поступила в редакцию 05.05.2023

Подписана в печать 29.05.2023

Original article

UDC 611.428:611.08

DOI: 10.47438/1999-3455\_2023\_2\_278

#### THE STRUCTURE OF THE CAPSULE AND SINUSES OF THE LYMPH NODE WHEN EXPOSED TO PHYSICAL LOADS AND INFRASOUND

Elena A. Oleinik <sup>1</sup>, Ekaterina V. Petrenko <sup>2</sup>

*Lesgaft National State University of Physical Education, Sport and Health 1, 2  
Saint Petersburg, Russia*

*1 PhD of Pedagogy, Associate Professor of the Department of Anatomy*

*ph.: +7(812)714-12-13, e-mail: asmcode@mail.ru*

*ORCID 0000-0002-6419-9552*

*2 PhD of Medicine, Associate Professor of the Department of Anatomy*

*ph.: +7(812)714-12-13 e-mail: e\_v\_petrenko@mail.ru*

*ORCID 0009-0005-4110-1398*

**Abstract.** Athletes living in an urban environment are exposed not only to physical exertion, but also to infrasound, the source of which is transport and industrial noise. Intense physical exertion and infrasound can lead to structural and functional inferiority of the lymph nodes. An experimental study of popliteal lymph nodes of white rats exposed to physical exertion and infrasound was carried out. The results of the study showed that the combined effect of physical exertion and infrasound causes the destruction and death of lymph node capsule myocytes and a violation of the structure of its connective tissue framework, which manifests itself in loosening bundles of collagen fibers, deformation of the network of elastic fibers. Violation of the myoarchitectonics of the capsule is accompanied by a decrease in its contractile activity, which leads to a sharp expansion of all sinuses and uneven stretching of the lymph node capsule. The dilated sinuses are filled with lymphocytes, which indicates the phenomena of edema and lymphostasis. Edema of the lymph node is accompanied by a violation of lymphocyte migration, which can cause suppression of lympho- and immunopoiesis.

**Keywords:** physical activity, infrasound, lymph node, capsule, sinuses, myocytes, connective tissue fibers.

**Cite as:** Oleinik, E. A., Petrenko, E. V. (2023) The structure of the capsule and sinuses of the lymph node when exposed to physical loads and infrasound. (2), 278-281. (In Russ., abstract in Eng.). doi: 10.47438/1999-3455\_2023\_2\_278.

Received 05.05.2023

Accepted 29.06.2023