

УДК 534.292

https://doi.org/10.33619/2414-2948/50/05

СТРОЕНИЕ ЛИМФАТИЧЕСКОГО УЗЛА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗОК И ИНФРАЗВУКА

©Петренко Е. В., канд. мед. наук, Национальный государственный университет физической культуры, спорта и здоровья им. П.Ф. Лесгафта,
г. Санкт-Петербург, Россия, deptanatomy@hotmail.com

THE STRUCTURE OF THE LYMPH NODE AT INFLUENCE OF PHYSICAL LOADS AND INFRASOUND

©Petrenko E., M.D., The Lesgaft National State University of Physical Education, Sports and Health, St. Petersburg, Russia, deptanatomy@hotmail.com

Аннотация. Изучалось строение лимфатических узлов после воздействия физических нагрузок и инфразвука. После прекращения физических нагрузок на ранних сроках исследования выявлено нарушение функциональной активности лимфоузлов с тенденцией к их восстановлению. Через 4 недели после воздействия физических нагрузок структура и функция лимфатических узлов полностью восстанавливается и наблюдается незначительная активация лимфопоэза. После воздействия инфразвука на ранних сроках исследования наблюдается выраженный лимфостаз и компенсаторное повышение функциональной активности В-зон лимфоузлов на фоне нарушения миграции Т-лимфоцитов и угнетения иммунопоэза. Через 4 недели на фоне сохраняющегося лимфостаза появляется тенденция к фиброзной деформации стромы и истощению паренхимы узлов. Таким образом, воздействие интенсивных шумов, частью которых является инфразвук, оказывает более неблагоприятное влияние на лимфо- и иммунопоэтические функции иммунных органов, чем воздействие интенсивных физических нагрузок при адаптации к ним.

Abstract. The structure of the lymph nodes after exposure to physical loads and infrasound was studied. After the cessation of physical loads in the early stages of the study revealed a violation of the functional activity of lymph nodes with a tendency to their recovery. After 4 weeks after exposure to physical loads, the structure and function of the lymph nodes is fully restored and there is a slight activation of lymphopoiesis. After exposure to infrasound in the early stages of the study, there is a pronounced lymphostasis and compensatory increase in the functional activity of B-zones of lymph nodes against the background of impaired migration of T-lymphocytes and inhibition of immuno-poiesis. After 4 weeks, against the background of persistent lymphostasis, there is a tendency to fibrous deformation of the stroma and exhaustion of the parenchyma of the nodes. Thus, the impact of intense noise, part of which is infrasound, has a more adverse effect on the lymph and immune-poietic functions of immune organs than the impact of intense physical loads in adapting to them.

Ключевые слова: лимфатические узлы, физические нагрузки, инфразвук.

Keywords: lymph nodes, physical loads, infrasound.

Введение

Известно, что физические нагрузки вызывают существенные нарушения структуры и функции иммунных органов, длительность и выраженность которых зависит от интенсивности нагрузки и индивидуальной реакции организма [1]. Физические нагрузки, испытываемые спортсменами, сопровождаются заметным ускорением кровотока и повышением давления в кровеносных и лимфатических сосудах. Причиной структурно-функциональных изменений лимфоидных органов, выявляемых при воздействии физических нагрузок [2–3], могут быть, в том числе, и нарушения транспорта лимфы.

Инфразвук является составляющей частью шума, возникающего при использовании транспортных средств, которые широко используются спортсменами всех специализаций для переездов как во время тренировочного процесса, так и на протяжении соревновательного периода. Инфразвук вызывает повреждения сосудистого русла на клеточном уровне, прежде всего – повреждения клеточных мембран [4]. Инфразвук ведет к заметным нарушениям лимфотока в лимфатических сосудах, что сопровождается структурной перестройкой сосудистой стенки и системы синусов лимфатического узла [5]. Однако воздействие инфразвука на клеточный состав лимфоузлов изучено недостаточно. Нарушения лимфотока в лимфатических узлах, возникающие при физических нагрузках и после воздействия инфразвука, должны сопровождаться изменениями структуры и клеточного состава лимфоузлов.

Материал и методы исследования

Изучались изменения в строении брыжеечных лимфатических узлов после воздействия физических нагрузок и инфразвука. Воздействие инфразвука изучалось на 30 белых крысах–самцах в возрасте 3 месяцев. Животных помещали в экспериментальную камеру и подвергали воздействию инфразвука интенсивностью 100 дБ с частотой 16 Гц в течение 6 недель по 3 часа в день. 10 белых крыс контрольной группы помещали в такую же камеру, но не подвергали воздействию инфразвука. Воздействие физических нагрузок изучалось на 30 белых крысах–самцах такого же возраста. На протяжении месяца животные получали ежедневные, постепенно возрастающие физические нагрузки — плавание. Для проведения исследования были отобраны животные, адаптирующиеся к физическим нагрузкам. Индивидуальную реакцию животных на физические нагрузки определяли по оценке динамики массы тела, содержанию лимфоцитов в крови и поведению во время плавания [6].

Препараты брыжеечных лимфатических узлов исследовали сразу после прекращения эксперимента, через 2 и 4 недели восстановительного периода. Изучались срединные продольные срезы лимфатических узлов, окрашенные азур-II-эозином, по Ван Гизону и по Унна–Тенцеру. Проводилось морфометрическое и гистологическое исследование брыжеечных лимфатических узлов, подсчитывался клеточный состав узлов на единице площади.

Результаты исследования и их обсуждение

После воздействия физических нагрузок у животных, адаптирующихся к физическим нагрузкам, на всех сроках исследования не выявлено достоверного увеличения размеров лимфатических узлов и расширения их синусов. Корково-мозговой индекс лимфатических узлов после воздействия физических нагрузок на всех сроках исследования также достоверно не отличается от контрольных показателей. По данным Т. И. Вихрук, при воздействии динамических физических нагрузок явления отека лимфатических узлов возрастают с увеличением продолжительности эксперимента. У крыс, адаптированных к динамическим

нагрузкам, явления лимфостаза в лимфатических узлах отмечаются только после длительного воздействия физических нагрузок — через 4–5 месяцев интенсивных ежедневных тренировок [7]. Кроме того, Т. И. Вихрук изучала соматические (паховые) лимфоузлы, в которых изменения лимфотока выражены в большей степени, чем в висцеральных узлах [8].

Под влиянием физических нагрузок сразу после их прекращения выявляется некоторое повышение функциональной активности лимфоузлов, что проявляется в активации пролиферативных процессов в герминативных центрах лимфоидных узелков и слабо выраженной плазмочитарной реакции в мягкотных тяжах. В центрах размножения незначительно повышено содержание макрофагов и митозов, а также несколько увеличено количество лимфобластов. В мягкотных тяжах на 4,7% повышено содержание плазмочитов.

Через 2 недели после прекращения физических нагрузок в лимфатических узлах выявлено уменьшение количества и площади лимфоидных узелков и их герминативных центров. Изучение клеточного состава показало, что в центрах размножения интенсивность пролиферативных реакций также явно снижена: количество лимфобластов и митозов заметно уменьшено на фоне повышенного содержания макрофагов (на 16,8%) и дегенерирующих лимфоцитов. В паракортикальной зоне лимфоузлов уменьшено содержание малых лимфоцитов и макрофагов, уменьшено количество юных плазмочитов, а в мягкотных тяжах число зрелых плазмочитов снижено на 22% по сравнению с данными контроля. В то же время, в мозговом веществе лимфатических узлов в этот срок выявлено повышение содержания тканевых базофилов в 3,5 раза, что можно расценивать как компенсаторную реакцию на структурно-функциональную неполноценность органа [9].

Через 4 недели после прекращения физических нагрузок в лимфатических узлах возрастает количество лимфоидных узелков и сравнивается с данными контроля. Клеточный состав центров размножения также не отличается от контрольных показателей, а число клеток с фигурами митоза даже превышает данные контроля. В паракортикальной зоне лимфоузлов на 10% повышено содержание малых лимфоцитов. Увеличение числа малых лимфоцитов может быть связано не только с повышенной миграцией их из тимуса, но и с активной пролиферацией лимфоидных клеток в самом лимфатическом узле, о чем свидетельствует повышенное содержание клеток с фигурами митоза в центрах размножения — их численность повышена на 5,5%. В связи с активной пролиферацией лимфоидных клеток в герминативных центрах, увеличено и содержание плазмочитов в мягкотных тяжах на 5,3%. В промежуточных мозговых синусах также несколько повышено содержание малых лимфоцитов. Повышенная миграция молодых лимфоцитов из лимфатического узла всегда сопровождается активными пролиферативными процессами. Сохраняется некоторое повышение содержания тканевых базофилов, которые могут направлять миграцию молодых лимфоцитов в лимфатическом узле [10]. Но по сравнению с предыдущим сроком исследования содержание тучных клеток в мягкотных тяжах заметно снижается — в 1,8 раза.

После воздействия инфразвука лимфатические узлы в первые 2 недели заметно увеличены в размерах, выглядят отечными и набухшими, что объясняется явлениями застоя лимфы. Аfferентные лимфатические сосуды расширены. Все синусы узлов заметно расширены — в 1,3–1,8 раза, особенно заметно расширение промежуточных корковых синусов. Подкапсульный синус расширен неравномерно, образует заметные расширения над лимфоидными узелками, над которыми у контрольных животных краевой синус, наоборот, сужен. Капсула узлов после эксперимента неравномерно растянута; участки капсулы, расположенные над узелками, заметно тоньше, чем участки между ними. Через 2 недели после опыта капсула утолщена, содержит разрыхленные и извилистые

соединительнотканые волокна, особенно заметные на участках капсулы, расположенных между лимфоидными узелками. В связи со значительными застойными явлениями корково-мозговой индекс узлов увеличен в 1,1 раза — у контрольных животных индекс равен 2, после воздействия инфразвука поднимается до 2,22. Расширенные синусы лимфоузлов заполнены лимфоцитами, особенно заметно повышение содержания лимфоцитов в промежуточных мозговых синусах, где их количество даже превышает содержание лимфоидных клеток в мягкотных тяжах.

Через 2 недели после воздействия инфразвука наблюдается увеличение количества лимфоидных узелков в 1,3 раза, увеличены и размеры лимфоидных узелков. Количество герминативных центров в лимфоидных узелках также возрастает в 1,35 раза, а размеры герминативных центров заметно расширены, что свидетельствует о повышении их функциональной активности. Иногда появляются лимфоидные узелки второго ряда.

В центрах размножения лимфоидных узелков повышено содержание больших лимфоцитов и лимфобластов (в 1,3–1,4 раза), митотически делящихся клеток, а также — макрофагов и дегенерирующих лимфоцитов; количество последних более интенсивно возрастает через 2 недели после эксперимента во всех зонах узла. В паракортикальной зоне повышено содержание малых лимфоцитов в 1,2 раза, а в мягкотных тяжах содержание малых лимфоцитов увеличено недостоверно. Также в мягкотных тяжах незначительно повышено содержание плазматических клеток — на 5,2% сразу после воздействия инфразвука и на 4,5% через 2 недели после воздействия. При этом очень большое количество лимфоцитов содержится в промежуточных синусах узлов.

Сходные изменения в соматических (паховых) лимфоузлах описываются после длительного воздействия интенсивных физических нагрузок [11]. У адаптирующихся к физическим нагрузкам крыс наблюдалось увеличение размеров узлов, утолщение их трабекул, утолщение волокон ретикулярной сети лимфоузлов и изменение формы ее петель, а также увеличение количества лимфоидных узелков с герминативными центрами. Однако нарушений плазматического не выявлялось — содержание плазматических клеток в мягкотных тяжах было соразмерно повышено. Также выявлялись расширенные мозговые синусы лимфоузлов, заполненные лимфоцитами [7, 11]. Но при воздействии физических нагрузок подобные изменения в лимфоузлах были выявлены после длительного воздействия ежедневных интенсивных динамических нагрузок (4–5 месяцев) или при менее длительном воздействии интенсивных статических нагрузок.

Через 4 недели после воздействия инфразвука размеры лимфатических узлов уменьшаются по сравнению с предыдущим сроком исследования, а ширина синусов заметно снижается и становится неравномерной. В промежуточных синусах выявляются заметно суженные участки, чередующиеся с участками, значительно расширенными. Капсула лимфатических узлов по-прежнему утолщена, но волокна ее теряют свою извилистость, утолщены, плотно прилегают друг к другу. Лимфоидные узелки в меньшей степени выступают в подкапсульный синус; толщина капсулы становится более равномерной. Трабекулы узлов также утолщены и уплотнены. Сеть эластических волокон в лимфатическом узле становится извилистой, разрыхленной, местами разорванной.

Корково-мозговой индекс лимфатических узлов в этот срок по-прежнему превышает данные контроля, хотя наблюдается некоторая тенденция к его уменьшению. Количество лимфоидных узелков уменьшается на 37% и достоверно не отличается от контрольных показателей, хотя соответствует нижней границе контроля. При этом количество герминативных центров снижается значительно интенсивнее — в 2,5 раза по сравнению с контрольными показателями и в 3,4 раза по сравнению с предыдущим сроком исследования.

Размеры лимфоидных узелков и особенно — герминативных центров также заметно уменьшились.

В центрах размножения лимфоидных узелков по сравнению с предыдущим сроком исследования заметно уменьшено содержание больших лимфоцитов и лимфобластов, особенно интенсивно снижено содержание митозов и макрофагов — в 1,5–1,6 раза. Заметно повышено содержание дегенерирующих лимфоцитов — их число в 2,7 раз превышает данные контроля. Герминативные центры лимфоидных узелков подопытных животных по сравнению с предыдущим сроком исследования выглядят опустошенными. Некоторые лимфоидные узелки плохо контурируются, границы их кажутся стертыми. Площадь герминативных центров в таких лимфоидных узелках очень мала, а количество лимфоидных клеток резко понижено.

Площадь паракортикальной зоны лимфатических узлов по-прежнему заметно превышает контрольные показатели, при этом содержание лимфоидных элементов в ней снижено по сравнению с предыдущим сроком исследования, а численность стромальных клеток повышена. Обращает внимание повышение числа дегенерирующих лимфоцитов. После воздействия инфразвука количество этих клеток постоянно возрастает во всех зонах узла на протяжении всего исследования. В паракортикальной зоне заметно снижено содержание юных плазмочитов, а в мякотных тяжах — численность зрелых плазматических клеток. Содержание лимфоцитов в мякотных тяжах также снижено, но количество их в мозговых синусах по-прежнему заметно больше, чем в контроле. В некоторых мякотных тяжах численность лимфоидных клеток даже меньше, чем количество их в мозговых синусах. Нужно отметить, что количество лимфоцитов, покидающих узел, достаточно велико на протяжении всего срока исследования.

Выводы

Результаты исследования показали, что при воздействии физических нагрузок на ранних сроках после их прекращения наблюдается снижение функциональной активности лимфоузлов, которое проявляется угнетением В-зон узла. В герминативных центрах лимфоидных узелков уменьшена пролиферативная активность, в мякотных тяжах понижено содержание плазмочитов, угнетен иммунопоэз. Однако снижение лимфо- и плазмопоэза не резко выражено, строма лимфатических узлов не повреждена, а повышение уровня тканевых базофилов создает благоприятную среду для пролиферации лимфоцитов и синтетической активности плазмочитов [12]. Численность тучных клеток всегда возрастает в начальные фазы иммунного ответа [13].

Через 4 недели после прекращения физических нагрузок полностью восстанавливается структура и функция лимфатических узлов и наблюдается некоторая активация лимфопоэза. Заметно снижается содержание тканевых базофилов, но все еще превышает данные контроля. Некоторое повышение функциональной активности герминативных центров лимфоидных узелков и увеличение содержания плазмочитов в мякотных тяжах свидетельствует об активации В-зон лимфатического узла. Таким образом, при воздействии физических нагрузок на адаптированных крыс наблюдается угнетение функциональной активности иммунных органов на ранних сроках после прекращения физических нагрузок, которое сменяется восстановлением структуры и функции этих органов в более отдаленном периоде. Причем в конце восстановительного периода даже наблюдается некоторое повышение функциональной активности В-зон лимфатического узла.

После воздействия инфразвука на ранних сроках исследования на первый план выступают нарушения лимфотока и кровотока и явления отека тканей. В отечных

лимфоузлах наблюдается некоторая активация иммунной реакции, которая, видимо, носит компенсаторный характер. Однако для протекания полноценной иммунологической реакции необходима достаточная миграция Т-лимфоцитов в лимфатический узел, которая осуществляется через посткапиллярные вены паракортикальной зоны узла [14]. Как показывает проведенное исследование, в этой зоне лимфоузлов наиболее ярко выражены явления отека и лимфостаза, что значительно затрудняет миграцию клеток через посткапиллярные вены. В то же время заметно активируются В-зоны лимфоузлов — лимфатические узелки и их герминативные центры, количество и размеры которых возрастают, так же, как и интенсивность пролиферативных процессов в них. Однако содержание плазмочитов в мягкотных тяжах лимфоузлов подопытных крыс повышается незначительно, что свидетельствует о нарушении Т-регуляции иммунопоэза. Скопление лимфоцитов в синусах лимфатического узла свидетельствует о нарастающей миграции их из органа.

Через 4 недели после воздействия инфразвука в лимфатических узлах наблюдается угасание лимфо- и иммунопоэтических функций на фоне явлений фиброза, явившегося результатом длительного нарушения транспорта лимфы и венозного застоя. Длительный отек и застой венозной крови приводит к явлениям декомпенсации — утолщению капсулы и стромальных элементов лимфоузла, сдавлению его синусов и кровеносных сосудов, нарушению миграции лимфоцитов. Это сопровождается дегенеративными процессами в паренхиме узла и опустошением В-зон. Сходные изменения наблюдались в иммунных органах после длительного воздействия интенсивных физических нагрузок у крыс, недостаточно адаптированным к физическим нагрузкам [11].

Список литературы:

1. Ткачук М. Г., Страдина М. С., Петренко Е. В. Органы иммунной системы при физических нагрузках и в восстановительном периоде // Структурные преобразования органов и тканей в норме и при воздействии антропогенных факторов: материалы Международной научной конференции, посвященной 80-летию Р. И. Асфандиярова. Астрахань. 2017. С. 159-160.
2. Петренко Е. В. Адаптация лимфоидных органов при восстановлении после физических нагрузок // Бюллетень науки и практики. 2019. Т. 5. №6. С. 68-74. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/43/10>
3. Страдина М. С. Морфология адаптивных реакций органов иммунной системы и печени на интенсивные физические нагрузки // Научно-педагогические школы университета. Научные труды. Ежегодник. СПб.: НГУ им. П. Ф. Лесгафта, 2015. С. 60-64.
4. Petrenko V. M. About mechanics of influence of infrasound on living organism // Journal of Biomedical Systems & Emerging Technologies. 2018. V. 5. №2. P. 120-123.
5. Петренко В. М. Лимфатический узел как лимфангион. Saarbrücken: LAP, 2016. 84 с.
6. Ткачук М. Г., Петренко Е. В. Восстановление лимфоидных органов и показателей периферической крови после интенсивных физических нагрузок // Научно-педагогические школы университета. Научные труды. Ежегодник. СПб: НГУ им. П. Ф. Лесгафта, 2016. С. 55-60.
7. Вихрук Т. И. Особенности конструкции паховых лимфатических узлов белых крыс в норме и под влиянием динамических нагрузок // Архив анатомии, гистологии и эмбриологии. 1980. Т. 78. №2. С. 25-29.

8. Петренко В. М. Структурные основы активного лимфотока в лимфатическом узле // Актуальные проблемы современной морфологии. СПб: СПбГМА им. И. И. Мечникова; ДЕАН, 2008. С. 24-90.
9. Петренко, Е. В. Компенсаторные реакции лимфатических узлов после интенсивных физических нагрузок // Спорт, человек, здоровье: Материалы VIII Международного конгресса. СПб: Изд-во Санкт-Петербургского университета, 2017. С. 281-283.
10. Сапин М. Р., Этинген Л. Е. Иммунная система человека. М.: Медицина, 1996. 304 с.
11. Вихрук Т. И. Изменения структуры и клеточного состава паховых лимфатических узлов белых крыс под влиянием динамической и статической нагрузок // Архив анатомии, гистологии и эмбриологии. 1981. Т. 80. №5. С. 23-30.
12. Сапин М. Р., Никитюк Д. Б. Иммунная система, стресс и иммунодефицит. М.: АПП Джангар, 2000. 184 с.
13. Сапин М. Р. Лимфатическая система и ее роль в иммунных процессах // Морфология. 2007. Т. 131. №1. С. 18-22.
14. Сапин, М. Р., Борзяк Э. И. Внеорганные пути транспорта лимфы. М.: Медицина, 1982. 264 с.

References:

1. Tkachuk, M. G., Stradina, M. S., & Petrenko, E. V. (2017). Organs of the immune system during exercise and in the recovery period. In: *Structural transformations of organs and tissues in the norm and under the influence of anthropogenic factors. Materials of the International scientific conference dedicated to the 80th anniversary of R. I. Asfandiyarov*. Ed. by L. A. Utochkin, B. T. Kurdwanow. Astrakhan, Leon, 159-160. (in Russian).
2. Petrenko, E. (2019). Adaptation of Lymphoid Organs During Recovery After Physical Exercises. *Bulletin of Science and Practice*, 5(6), 68-74. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/43/10> (in Russian).
3. Stradina, M. S. (2015). Morphology of adaptive reactions of the immune system and liver to intense physical activity. In: *Scientific and pedagogical schools of the University. Proceedings. Yearbook. St. Petersburg, NSU. P. F. Lesgaft*, 60-64. (in Russian).
4. Petrenko, V. M. (2018). About mechanics of influence of infrasound on living organism. *Journal of Biomedical Systems & Emerging Technologies*, 5(2), 120-123. (in Russian).
5. Petrenko, V. M. (2016). Lymph node as lymphangion. Saarbrücken, LAP, 84. (in Russian).
6. Tkachuk, M. G., & Petrenko, E. V. (2016). Recovery of lymphoid organs and peripheral blood parameters after intensive physical activity. *Scientific and pedagogical schools of the University. Proceedings. Yearbook. St. Petersburg, NSU. P. F. Lesgaft*, 55-60. (in Russian).
7. Vikhruk, T. I. (1980). Features of the design of inguinal lymph nodes of white rats in normal and under the influence of dynamic loads. *Archive of anatomy, histology and embryology*, 78(2), 25-29. (in Russian).
8. Petrenko, V. M. (2008). Structural bases of active lymph flow in lymph node. In: *Actual problems of modern morphology. St. Petersburg, SPbGMA. I. I. Mechnikova, DEAN*, 24-90. (in Russian).
9. Petrenko, E. V. (2017). Compensatory reactions of lymph nodes after intense physical activity. In: *Sport, people, health. Proceedings of the VIII international Congress. St. Petersburg, Publishing house of St. Petersburg University*, 281-283. (in Russian).
10. Sapin, M. R., & Etingen, L. E. (1996). The Human Immune system. Moscow. (in Russian).

11. Vikhruk, T. I. (1981). Changes in the structure and cellular composition of inguinal lymph nodes of white rats under the influence of dynamic and static loads. *Archive of anatomy, histology and embryology*, 80(5), 23-30. (in Russian).
12. Sapin, M. R., & Nikityuk, D. B. (2000). Immune system, stress and immunodeficiency. Moscow, 184. (in Russian).
13. Sapin, M. R. (2007). Lymphatic system and its role in immune processes. *Morphology*, 131(1), 18-22. (in Russian).
14. Sapin, M. R., & Borzyak, E. I. (1982). Extra-Organ lymph transport pathways. Moscow, 264. (in Russian).

Работа поступила
в редакцию 11.12.2019 г.

Принята к публикации
16.12.2019 г.

Ссылка для цитирования:

Петренко Е. В. Строение лимфатического узла при воздействии физических нагрузок и инфразвука // Бюллетень науки и практики. 2020. Т. 6. №1. С. 35-42. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/50/05>

Cite as (APA):

Petrenko, E. (2019). The Structure of the Lymph Node at Influence of Physical Loads and Infrasound. *Bulletin of Science and Practice*, 6(1), 35-42. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/50/05> (in Russian).