

## АДАПТАЦИЯ ЛИМФОИДНЫХ ОРГАНОВ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ПОСЛЕ ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

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

## ADAPTATION OF LYMPHOID ORGANS DURING RECOVERY AFTER PHYSICAL EXERCISES

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

**Аннотация.** Изучались периферические лимфоидные органы белых крыс, адаптирующихся к физическим нагрузкам, в восстановительном периоде после прекращения нагрузок. Результаты сравнивались с данными авторов, изучавших тимус при восстановлении после физических нагрузок. Установлено, что адаптивные реакции в центральных и периферических лимфоидных органах протекают односторонне. Через 2 недели после прекращения нагрузок выявляется структурно-функциональная неполноценность лимфоидных органов, заметно выраженная в лимфатических узлах. В органах наблюдаются инволюционные изменения, угнетение лимфопоэза и деструкция клеток лимфоидного ряда. В этот же срок определяется нарушение проницаемости сосудов в лимфоидных органах. На фоне лимфоцитопении протекают восстановительные реакции, которые начинаются на второй неделе восстановительного периода. Через 4 недели после прекращения физических нагрузок наблюдается заметное восстановление структуры и функции лимфоидных органов, однако полного восстановления клеточного состава лимфатических узлов еще не происходит. Структурно-функциональная неполноценность лимфоидных органов сопровождается компенсаторными реакциями, которые проявляются в увеличении содержания тканевых базофилов в лимфоузлах и сохраняются на протяжении всего срока наблюдения.

**Abstract.** The peripheral lymphoid organs of white rats adapting to physical loads in the recovery period after the termination of loads were studied. The results were compared with the data of the authors who studied the thymus during recovery from physical exertion. It was found that adaptive reactions in the central and peripheral lymphoid organs are unidirectional. 2 weeks after the termination of the loads, structural and functional inferiority of lymphoid organs, more pronounced in the lymph nodes, is revealed. In the organs, there are involutional changes, inhibition of lymphopoiesis and destruction of lymphoid cells. In the same period is determined by the violation of the permeability of blood vessels in the lymphoid organs. Against the background of lymphocytopenia, restorative reactions occur, which begin at the second week of the recovery period. After 4 weeks after the termination of physical activity, there is a noticeable restoration of the structure and function of lymphoid organs, but a complete restoration of the cellular composition of the lymph nodes does not yet occur. Structural and functional inferiority of

lymphoid organs is accompanied by compensatory reactions, which are manifested in an increase in the content of tissue basophils in the lymph nodes and persist throughout the period of observation.

Ключевые слова: лимфоидные органы, физические нагрузки, восстановительный период.

Keywords: lymphoid organs, physical loads, recovery reactions.

### *Введение*

Известно, что физические нагрузки вызывают структурно-функциональную недостаточность лимфоидных органов, выраженность которой зависит от адаптированности к физическим нагрузкам [1]. Сравнение адаптивных реакций, протекающих в различных лимфоидных органах в восстановительном периоде после интенсивного тренировочного процесса позволяет определить общие закономерности адаптации этих органов к физическим нагрузкам. Адаптация к физическим нагрузкам зависит от индивидуальной реакции организма на физические нагрузки. Принято выделять три основных типа ответной реакции иммунной системы на физические нагрузки: устойчивый тип, адаптирующийся к нагрузкам тип и неустойчивый тип. Известно, что устойчивый к физическим нагрузкам тип иммунной системы встречается достаточно редко – менее чем в 1/5 случаев [1]. Адаптирующийся к физическим нагрузкам и неустойчивый к нагрузкам типы иммунной системы встречаются у большинства людей примерно в равных пропорциях. Активные тренировки при неустойчивом типе иммунной системы обычно сопровождаются выраженной структурно-функциональной недостаточностью иммунных органов [2], что ведет к отказу от интенсивных физических нагрузок. Поэтому у большинства людей, активно занимающихся спортом, вероятнее всего встречается адаптирующийся к физическим нагрузкам тип иммунной системы. Адаптивные реакции в центральных органах иммунной системы (тимус) хорошо изучены и описаны в литературе. Из периферических органов активно исследовалась селезенка [3, 4], и в меньшей степени изучалась такая важная и многочисленная группа периферических иммунных органов, как лимфатические узлы.

### *Материал и методы исследования*

Изучались периферические лимфоидные органы беспородных белых крыс на протяжении восстановительного периода после физических нагрузок; результат сравнивался с данными, полученными при исследовании центральных иммунных органов. Работа выполнена на 45 белых крысах-самцах, адаптирующихся к физическим нагрузкам. Животных подвергали ежедневным, постепенно возрастающим физическим нагрузкам (плавание) в течении месяца. По индивидуальной реакции на физические нагрузки подопытные крысы были разделены на 3 группы: животные, устойчивые к нагрузкам, адаптирующиеся к ним и неустойчивые к физическим нагрузкам. Индивидуальную реакцию животных на физические нагрузки определяли по еженедельной оценке динамики массы тела, поведению во время опыта и содержанию лимфоцитов в крови. Известно, что имеется корреляционная зависимость между содержанием лимфоцитов в крови и структурой лимфоидных органов [5]. Для проведения эксперимента были отобраны животные, адаптирующиеся к физическим нагрузкам.

Исследовались брыжеечные лимфатические узлы животных в период восстановления после интенсивных физических нагрузок. Многочисленные лимфатические узлы, лежащие по ходу лимфатических сосудов, задерживают и нейтрализуют антигены, прошедшие через

лимфоидные образования слизистых оболочек и поступившие в лимфу. Брыжеечные лимфатические узлы являются одной из наиболее значительных групп периферических иммунных органов [6]. Препараты брыжечных лимфатических узлов исследовали сразу после прекращения физических нагрузок, через 2 и 4 недели восстановительного периода. Проводили морфометрическое, гистологическое и электронно-микроскопическое исследование брыжечных лимфатических узлов. Подсчет клеточных элементов проводили на продольных срединных срезах органов на единице площади. Результаты сравнивали с данными контроля.

#### *Результаты исследования и их обсуждение*

Результаты исследования показали, что у адаптирующихся к физическим нагрузкам животных в лимфатических узлах протекают восстановительные процессы на протяжении всего срока наблюдения. Сразу после завершения эксперимента морфометрические показатели лимфатических узлов меняются незначительно. Выявляется некоторая активация герминативных центров лимфоидных узелков: в этих зонах несколько повышенено содержание лимфобластов, больших лимфоцитов и макрофагов (на 5-7%). В мякотных тяжах незначительно увеличено количество плазмоцитов — на 6,2%. Данные изменения клеточного состава лимфоузлов свидетельствуют о некотором повышении их функциональной активности. Это согласуется с данными авторов, изучавших тимус в восстановительном периоде после физических нагрузок: клеточный состав органа в этот период также свидетельствовал о незначительно возросшей функциональной активности, что проявлялось в повышении лимфобластов и митозов в коре органа [7].

Через 2 недели после прекращения тренировок в лимфоузлах экспериментальных животных снижено количество лимфоидных фолликулов и герминативных центров в 1,6 и 1,1 раза соответственно. Достоверно уменьшена площадь всех функциональных зон узла. В центрах размножения снижено количество лимфобластов, больших лимфоцитов и митозов на 18,6%, 7,9% и 12,5% соответственно, а в паракортикальной зоне — содержание малых лимфоцитов и макрофагов на 12,6 % и 5,2 % по сравнению с данными контроля. В этот период в тимусе описывается угнетение лимфопоэза, проявляющееся в снижении массы тимуса и площади его коркового вещества, утолщении межклеточных перегородок и повышенном содержании в них жировой ткани, а также в снижении числа всех клеток лимфоидного ряда и обнажение стромальных элементов органа. Кроме того, во всех зонах органа авторы наблюдали значительное увеличение содержания дегенерирующих лимфоцитов (в коре в 5,8 раза и в 4 раза в мозговом веществе) [4].

В работах М.Г. Ткачук отмечается, что у подопытных крыс в мозговом веществе тимуса в этот срок заметно повышенено количество тимических телец и плазматических клеток [4, 5], что должно быть связано с выявленными дистрофическими изменениями органа и гибелю его клеток. Количество и величина тимических телец возрастает при повышенной гибели клеток, в том числе — лимфоцитов в тимусе, а также при развитии инволюционных изменений в органе [8]. Увеличенное содержание тимических телец коррелирует с увеличением дегенерирующих лимфоцитов и выявленными явлениями инволюции тимуса (увеличение соединительной и жировой ткани органа и снижение площади его долек).

Плазмоциты, выявленные М. Г. Ткачук в этот срок тимусе подопытных крыс, локализуются преимущественно в мозговом веществе, где содержание зрелых плазмоцитов составило 3%, а юных форм — 1,8% [4]. В норме содержание плазмоцитов в тимусе составляет менее 1 % [8]. Плазмоциты в тимусе образуются из В-лимфоцитов, проникающих в тимус через сосуды мозгового вещества. Появление плазмоцитов в тимусе должно

свидетельствовать о повышенной проницаемости сосудов органа [1]. Кроме того, на фоне значительной лимфоцитопении увеличение числа и доли плазмоцитов может быть компенсаторной реакцией на структурно-функциональную неполноценность органа. Плазмоциты защищают тимус от антигенов, проникающих через поврежденный гематотимический барьер. Нарушение гематотимического барьера возникает в результате деструкции клеток тимуса и повышения проницаемости сосудов органа.

Снижение лимфоцитопозза в тимусе ведет к лимфоцитопении в паракортикальной зоне лимфоузлов, т.к. здесь располагаются посткапиллярные венулы, через которые происходит миграция Т-лимфоцитов [6]. На фоне лимфоцитопении обнажается строма лимфоузлов, поэтому содержание ретикулярных клеток в них несколько возрастает. В мякотных тяжах число плазмоцитов снижено в 1,2 раза, что свидетельствует о структурно-функциональной неполноценности лимфатических узлов [8].

При электронно-микроскопическом исследовании ретикулярных клеток в их цитоплазме выявлено повышенное содержание свободных рибосом, хорошо развитая эндоплазматическая сеть и комплекс Гольджи, крупные митохондрии с четкими кристами. Такая картина характерна для зрелых, активно функционирующих ретикулярных клеток. Стромальные клетки играют важную роль в поддержании иммунной и лимфопоэтической функции лимфоузлов [8]. Повышение функциональной активности стромальных клеток свидетельствует об активно протекающих восстановительных процессах в лимфоузлах. В эпителиоретикулоцитах тимуса в этот период также описываются аналогичные изменения ультраструктуры, свидетельствующие об активации синтетических процессов, обнаруживается большое количество интердигитирующих клеток [7].

Эпителиоретикулоциты тимуса управляют процессами пролиферации и дифференцировки лимфоцитов, их разрушения и взаимодействия [8]. Повышение синтетической активности стромальных клеток лимфоидных органов создает в них микроокружение, необходимое для восстановления клеточного состава. В мозговом веществе лимфатических узлов определяется заметное повышение числа и доли тканевых базофилов (тучных клеток) — в 3,5 раза. Здесь тучные клетки часто образуют скопления [10]. Количество тучных клеток повышенено и в глубоких зонах коркового вещества, где они располагаются периваскулярно. Кроме того, тканевые базофилы оседают в трабекулах, капсуле и в синусах лимфатических узлов.

Тканевые базофилы влияют на микроокружение клеток лимфоидного ряда, создавая благоприятную среду для размножения и дифференцировки лимфоцитов. Они оказывают влияние на формирование иммунного ответа — численность их всегда возрастает в начальные фазы иммунного ответа [8]. Тканевые базофилы секрецируют биологически активные вещества, которые повышают интенсивность местного кровотока, стимулируют функциональную активность макрофагов и способствуют проявлению хемотаксиса у лимфоцитов [8]. Поскольку в лимфоузлах выявлена структурно-функциональная неполноценность, повышение содержания тучных клеток способствует восстановлению клеточного состава лимфоузлов.

Через 4 недели после прекращения физических нагрузок морфометрические показатели лимфатических узлов подопытных животных соответствуют данным контроля. По сравнению с предыдущим сроком исследования повысилось количество лимфоидных фолликулов и герминативных центров и возросли их размеры. В герминативных центрах лимфоузлов содержание лимфобластов и больших лимфоцитов сравнялось с контрольными показателями, а число митозов превышает данные контроля на 5,3%. В паракортикальной зоне в 1,1 раза повышенено содержание малых лимфоцитов, что связано не только с активной

пролиферацией лимфоидных клеток в лимфатическом узле, но и с повышенной миграцией их из тимуса. В этот срок в подкапсулльной зоне тимуса активно проходят пролиферативные процессы [3]: повышенено содержание лимфобластов и больших лимфоцитов, увеличено количество митозов в коре. В мозговом веществе тимуса в конце восстановительного периода число митозов и дегенерирующих лимфоцитов уменьшается и достигает контрольных показателей. Повышенное количество митозов, которое определялось в мозговом веществе тимуса в предыдущий срок исследования, компенсировало структурно-функциональную неполноценность органа (в предыдущий срок исследования в тимусе отмечались явления лимфоцитарного истощения). Через 4 недели после эксперимента в тимусе протекают активные восстановительные реакции, происходит восстановление структуры органа, процессы клеточной пролиферации протекают естественным образом (в подкапсулльной зоне), поэтому количество клеток с фигурами митоза в мозговом веществе органа снижается до контрольных значений [7].

В мякотных тяжах лимфоузлов возросло число плазматических клеток и превышает данные контроля на 5,3%, а содержание юных плазмоцитов в паракортикальной зоне повышенено на 3,8%. В промежуточных мозговых синусах несколько увеличено содержание малых лимфоцитов, что свидетельствует о повышенной миграции молодых лимфоцитов из узла. Содержание тканевых базофилов в мякотных тяжах снизилось почти в 2 раза по сравнению с предыдущим сроком исследования, но по-прежнему превышает контрольные показатели в 2,2 раза. Считают, что тканевые базофилы направляют миграцию клеток лейкоцитарного ряда, в том числе лимфоцитов [8]. В этот срок у подопытных крыс наблюдается повышение миграции малых лимфоцитов из узла в мозговые синусы, и осевшие в мозговом веществе тучные клетки, вероятно, содействуют этому процессу.

По данным М. Г. Ткачук, в тимусе в этот срок по-прежнему сохраняется повышенная проницаемость сосудов тимуса, и содержание плазматических клеток в глубоких зонах коры и в мозговом веществе не изменилось по сравнению с предыдущим сроком исследования [4, 5]. Плазматические клетки защищают орган от антигенов, проникающих через гематотимический барьер. Увеличение количества плазмоцитов является результатом сохраняющегося нарушения проницаемости сосудов органа [8].

### *Заключение*

Таким образом, у крыс, адаптирующихся к физическим нагрузкам, в восстановительном периоде наблюдаются односторонние реакции центральных и периферических лимфоидных органов. Через 2 недели после прекращения физических нагрузок определяются инволюционные изменения тимуса и угнетение активности всех функциональных зон лимфоузлов, в лимфоидных органах выражена лимфоцитопения и деструкция клеток лимфоидного ряда. На фоне лимфоцитопении наблюдаются восстановительные процессы, которые в тимусе начинаются несколько раньше, чем в лимфоузлах. Через 4 недели после прекращения нагрузок восстанавливается структура всех функциональных зон лимфоидных органов и активируется лимфопоэз, однако полного восстановления еще не происходит.

Через 2 недели после прекращения нагрузок в лимфоидных органах определяется повышение проницаемости сосудов, которое проявляется в увеличении содержания плазмоцитов в тимусе и тканевых базофилов в лимфоузлах. Повышенное содержание этих клеток в лимфоидных органах можно расценить как компенсаторные реакции данных органов на структурно-функциональную неполноценность. Плазмоцитарная реакция в

тимусе и тучноклеточная в лимфоузлах выявляются на протяжении всего срока наблюдения, что свидетельствует о сохранении повышенной проницаемости сосудов.

*Список литературы:*

1. Сапин М. Р., Никитюк Д. Б. Иммунная система, стресс и иммунодефицит. М.: АПП Джангар. 2000. 184 с.
2. Ткачук М. Г., Страдина М. С., Петренко Е. В. Восстановление тимуса после физических нагрузок в условиях иммунокоррекции // Олимпийский спорт и спорт для всех: XX Международный конгресс: Материалы конгресса. СПб. 2016. Ч. 2. С. 156-159.
3. Страдина М. С. Морфология адаптивных реакций органов иммунной системы и печени на интенсивные физические нагрузки // Научно-педагогические школы университета. Научные труды. Ежегодник. 2015. С. 60-64.
4. Ткачук М. Г. Изменения тимуса и селезенки в условиях реадаптации после физических нагрузок // Российские морфологические ведомости. 2001. № 1-2. С. 92-93.
5. Ткачук М. Г., Петренко Е. В. Восстановление лимфоидных органов и показателей периферической крови после интенсивных физических нагрузок // Научно-педагогические школы университета. Научные труды. Ежегодник 2016. С. 55-60.
6. Бородин Ю. И., Горчакова О. В., Горчаков В. Н. Периферические лимфоидные структуры: образование и функция // Морфология. 2016. Т. 150. № 4. С. 90-96.
7. Страдина М. С. Адаптивные и компенсаторные реакции тимуса на интенсивные физические нагрузки // Спорт, человек, здоровье: VIII Международный конгресс. СПб, 2017. С. 285-287.
8. Сапин М. Р., Этинген Л. Е. Иммунная система человека. М.: Медицина. 1996. 304 с.
9. Сапин М. Р. Лимфатическая система и её роль в иммунных процессах // Морфология. 2007. Т. 131. № 1. С. 18-22.
10. Петренко Е. В. Компенсаторные реакции лимфатических узлов после интенсивных физических нагрузок // Спорт, человек, здоровье: VIII Международный конгресс. СПб. 2017. С. 281-283.

*References:*

1. Sapin, M. R., & Nikityuk, D. B. (2000). Immunnaya sistema, stress i immunodefitsit. Moscow, APP Dzhangar. 184.
2. Tkachuk, M. G., Stradina, M. S., & Petrenko, E. V. (2016). Timus's recovery after physical activities in the conditions of immunocorrection [Vosstanovlenie timusa posle fizicheskikh nagruzok v usloviyakh immunokorreksii]. In *Olympic sport and sport for all. XX international Congress. December 16–18, 2016, St.-Petersburg, Russia: proceedings [in 2 parts.] Part 2. SPb., Publishing house of Polytechnic University*, 2. 156-159.
3. Stradina, M. S. (2015). Morfologiya adaptivnykh reaktsii organov immunnoi sistemy i pecheni na intensivnye fizicheskie nagruzki. In *Nauchno-pedagogicheskie shkoly universiteta. Nauchnye trudy. Ezhegodnik*, 60-64.
4. Tkachuk, M. G. (2001). Izmeneniya timusa i selezenki v usloviyakh readaptatsii posle fizicheskikh nagruzok. *Rossiiskie morfologicheskie vedomosti*, (1-2). 92-93.
5. Tkachuk, M. G., & Petrenko, E. V. (2016). Vosstanovlenie limfoidnykh organov i pokazatelei perifericheskoi krovi posle intensivnykh fizicheskikh nagruzok. In *Nauchno-pedagogicheskie shkoly universiteta. Nauchnye trudy. Ezhegodnik*, 55-60.

6. Borodin, Yu. I., Gorchakova, O. V., & Gorchakov, V. N. (2016). Peripheral lymphoid structures: formation and function [Perifericheskie limfoidnye struktury: obrazovanie i funktsiya]. *Morphology*, 150(4). 90-96.
7. Stradina, M. S. (2017). Adaptivnye i kompensatornye reaktsii timusa na intensivnye fizicheskie nagruzki. In *Sport, chelovek, zdorov'e: VIII Mezhdunarodnyi kongress. SPb*, 285-287.
8. Sapin, M. R., & Etingen, L. E. (1996). Immunnaya sistema cheloveka. *Moscow. Meditsina*. 304.
9. Sapin, M. R. (2007). Lymphatic system and its significance in immune processes [Limfaticeskaya sistema i ee rol' v immunnykh protsessakh]. *Morfologiya*, 131(1). 18-22.
10. Petrenko, E. V. (2017). Kompensatornye reaktsii limfaticeskikh uzlov posle intensivnykh fizicheskikh nagruzok. In *Sport, chelovek, zdorov'e: VIII Mezhdunarodnyi kongress. SPb*. 281-283.

Работа поступила  
в редакцию 11.05.2019 г.

Принята к публикации  
15.05.2019 г.

*Ссылка для цитирования:*

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>

*Cite as (APA):*

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).