

## ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЛИМФАТИЧЕСКИХ УЗЛАХ ПОСЛЕ ИНТЕНСИВНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

Красноруцкая И.С.<sup>1</sup>, Петренко Е.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Национальный государственный университет физической культуры, спорта и здоровья имени П.Ф. Лесгафта, Санкт-Петербург», Санкт-Петербург, e-mail: belka783@mail.ru

Чрезмерные физические нагрузки приводят к истощению функциональных резервов организма, что проявляется прежде всего в структурно-функциональных нарушениях органов иммунной системы. Изучались восстановительные реакции лимфатических узлов белых крыс с разной степенью устойчивости иммунной системы после воздействия интенсивных физических нагрузок (плавание). У адаптирующихся к физическим нагрузкам животных через 2 недели после прекращения нагрузок наблюдается угнетение лимфо- и иммунопоэтической функции лимфатических узлов, протекающее на фоне отчетливо выраженных компенсаторных реакций, которое заканчивается полным восстановлением структуры и функции органов к концу срока наблюдения. У животных, не устойчивых к физическим нагрузкам, на протяжении всего срока наблюдения определяются выраженные изменения структуры и угнетение функции лимфатических узлов, что проявляется в деструктивных изменениях стромальных клеток, повышенной гибели клеток лимфоидного ряда, уменьшении площадей всех функциональных зон узла и численности лимфоидных узелков, угнетении лимфо- и иммунопоэза, нарушении миграционной активности лимфоцитов. Данные изменения достигают своей максимальной выраженности через 2 недели после прекращения нагрузок, и лишь к концу срока наблюдения определяется слабо выраженная тенденция к восстановлению структуры и клеточного состава лимфоузлов. В это же время отмечаются слабо выраженные компенсаторные реакции, заключающиеся в повышении содержания тканевых базофилов, оседающих преимущественно в мягкотных тяжах. Вместе с тем еще сохраняются нарушения структуры стромальных клеток узлов, угнетение пролиферативной активности лимфоидных узелков, повышенная гибель лимфоидных элементов и снижение миграционной активности клеток лимфоидного ряда.

Ключевые слова: лимфатические узлы, физические нагрузки, структурно-функциональные нарушения, восстановительные реакции.

## RECOVERY PROCESSES IN THE LYMPH NODES AFTER INTENSE PHYSICAL LOADS

Krasnorutckaia I.S.<sup>1</sup>, Petrenko E.V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>FGBOU VO «Lesgaft National State University of Physical Education, Sport and Health, St. Petersburg», e-mail: belka783@mail.ru

Excessive physical activity leads to the depletion of the body's functional reserves, which is primarily manifested in structural and functional disorders of the immune system. We studied the recovery reactions of the lymph nodes of white rats with varying degrees of immune system stability after exposure to intense physical exertion (swimming). In animals adapting to physical activity, 2 weeks after the cessation of exercise, suppression of the lympho- and immunopoietic function of the lymph nodes is observed, occurring against the background of clearly expressed compensatory reactions, which ends with a complete restoration of the structure and function of organs by the end of the observation period. In animals that are unstable to physical activity, pronounced changes in the structure and suppression of the function of the lymph nodes are determined throughout the entire observation period, which manifests itself in destructive changes in stromal cells, increased death of lymphoid cells, a decrease in the area of all functional zones of the node and the number of lymphoid nodules, and suppression of lymph nodes. – and immunopoiesis, impaired migratory activity of lymphocytes. These changes reach their maximum severity 2 weeks after the cessation of exercise, and only by the end of the observation period is a weakly expressed tendency to restore the structure and cellular composition of the lymph nodes. At the same time, mild compensatory reactions are noted, consisting in an increase in the content of tissue basophils, which are deposited mainly in the pulp cords. At the same time, disturbances in the structure of stromal cells of the nodes, inhibition of the proliferative activity of lymphoid nodules, increased death of lymphoid elements and a decrease in the migration activity of lymphoid cells still persist.

Keywords: lymph nodes, physical activity, structural and functional disorders, recovery reactions.

Воздействие интенсивных физических нагрузок на организм приводит к существенным изменениям структуры и функции лимфоидных органов [1]. Исследования, проведенные разными авторами, показывают наличие общих закономерностей адаптации органов иммунной системы к физическим нагрузкам [2–4]. В настоящее время принято выделять три типа ответной реакции иммунных органов на физические нагрузки, которые определяются индивидуальными особенностями организма: устойчивый тип, адаптирующийся к физическим нагрузкам тип и неустойчивый тип иммунной системы [5]. При этом адаптирующийся к физическим нагрузкам тип и неустойчивый тип иммунной системы встречаются примерно в одинаковых пропорциях и составляют до 82% случаев; около 18% приходится на устойчивый тип иммунной системы [6]. Восстановительные реакции, протекающие в лимфоидных органах при адаптирующемся типе иммунной системы, хорошо изучены. В первые 2–3 недели после прекращения физических нагрузок отмечается компенсируемая структурно-функциональная неполноценность центральных и периферических лимфоидных органов, проявляющаяся в некотором угнетении лимфо- и иммунопоэза [7]. Затем начинается восстановление структуры и функции лимфоидных органов, происходящее, прежде всего, в центральных органах иммунной системы и несколько позже – в периферических [8]. Особенности восстановительных реакций, протекающих в лимфоидных органах после воздействия физических нагрузок при неустойчивом типе иммунной системы, изучены в меньшей степени. Известно, что чрезмерные физические нагрузки могут привести к истощению функциональных резервов организма [9]. Одним из первых проявлений недостаточной адаптации организма к физическим нагрузкам являются структурно-функциональные нарушения лимфоидных органов. Неполноценность органов иммунной системы может, в свою очередь, привести к нарушениям морфофункциональной организации других систем организма [10, 11]. Таким образом, длительность и степень выраженности структурно-функциональных нарушений, возникающих в иммунных органах под воздействием физических нагрузок возрастающей интенсивности, позволяют судить об адаптационных резервах организма, его способности к срочной и долговременной адаптации. Анализ восстановительных реакций лимфоидных органов на воздействие интенсивных физических нагрузок при разных типах устойчивости иммунной системы отражает особенности реактивности организма.

Целью работы явилось изучение восстановительных реакций лимфатических узлов после воздействия интенсивных физических нагрузок у животных с разной степенью устойчивости иммунной системы.

**Материал и методы исследования.** Работа выполнена на 45 беспородных белых крысах-самцах в возрасте 3 месяцев весом 180–210 г. Животных на протяжении 4 недель

подвергали ежедневным, постепенно возрастающим физическим нагрузкам (плавание). Для эксперимента были отобраны группа крыс, адаптирующихся к физическим нагрузкам, и группа животных, не устойчивых к физическим нагрузкам. Для определения индивидуальной реакции животных на физические нагрузки на протяжении опыта определялись масса тела, поведение животных и содержание лимфоцитов в периферической крови [2]. Изучались брыжеечные лимфатические узлы животных сразу после прекращения эксперимента, через 2 и через 4 недели после окончания опыта. Срединные продольные срезы окрашивали гематоксилин-эозином, азуром II-эозином, по Маллори и Ван-Гизону; изучали клеточный состав лимфоузлов, проводили морфометрию с помощью морфометрической сетки Г.Г. Автандилова и окулярной линейки. Цифровой материал обрабатывали общепринятыми статистическими методиками в модификации Г.С. Катинаса. Электронно-микроскопическое исследование лимфоузлов проводилось на электронном микроскопе JEM-2. Результаты сравнивали с данными контроля.

### Результаты исследования и их обсуждение

У животных, адаптирующихся к физическим нагрузкам, сразу после окончания эксперимента все морфометрические показатели соответствуют контрольным данным. Отмечается небольшое повышение содержания лимфобластов в герминативных центрах и плазмочитов в мягкотных тяжах, но в паракортикальной зоне содержание лимфоцитов соответствует данным контроля, значимого повышения макрофагов также не выявлено. По основным показателям клеточный состав лимфоузлов в данной группе подопытных животных соответствует данным контроля. У животных, не устойчивых к физическим нагрузкам, сразу после прекращения нагрузки наблюдаются снижение численности и размеров лимфоидных узелков и герминативных центров – на 20–25% (табл. 1) и угнетение их лимфопоэтической активности.

Таблица 1

Количество лимфоидных узелков и герминативных центров в брыжеечных лимфатических узлах контрольных крыс и в восстановительном периоде после интенсивных физических нагрузок

Группа крыс	Структурные образования	Конец нагрузок	2 недели восстановительного периода	4 недели восстановительного периода
Контроль	Лимфоидные узелки	16,4±0,5	16,8±0,7	16,9±0,8
	Центры размножения	13,2±0,7	13,7±0,9	13,8±0,6
Адаптирующиеся	Лимфоидные узелки	16,1±0,6	14,3±0,6	16,2±0,9
	Центры размножения	12,8±0,9	10,7±0,8	11,9±0,5

Неустойчивые крысы	Лимфоидные узелки	13,1±0,7	11,8±0,9	13,5±1,1
	Центры размножения	10,1±0,6	7,9±0,8	9,4±0,8

В герминативных центрах на 25–30% снижено содержание больших лимфоцитов, лимфобластов и митозов, а количество макрофагов и дегенерирующих лимфоцитов повышено в 1,3 раза. Повышенное содержание макрофагов на фоне угнетения лимфопоэза связано с усиленной деструкцией и гибелью лимфоцитов, поскольку макрофаги в герминативных центрах лимфоидных узелков выполняют функцию своеобразных мусорщиков, убирая гибнущие лимфоциты или другие чужеродные структуры, оказавшиеся в центрах размножения [10].

В паракортикальной зоне лимфоузлов снижено количество малых лимфоцитов и макрофагов – в 1,1–1,2 раза. Также уменьшено содержание средних лимфоцитов и митозов на 14,2%. На фоне лимфоцитопении стромы узлов обнажена, поэтому содержание ретикулярных клеток возрастает на 15,3%. В тимусе не устойчивых к физическим нагрузкам животных в этот срок было выявлено угнетение лимфопоэза [8], поэтому лимфоцитопения в паракортикальной зоне лимфоузлов является следствием снижения их миграции из тимуса.

В мягкотных тьяжах заметно снижено содержание плазмоцитов – на 27%, и в меньшей степени – содержание малых лимфоцитов, однако уменьшения их количества в промежуточных мозговых синусах не обнаружено, а сами синусы несколько расширены. Видимо, сохранение миграции малых лимфоцитов из лимфоузлов на фоне сниженного лимфопоэза является своеобразной компенсаторной реакцией, направленной на поддержание иммунологической функции организма.

Через 2 недели после прекращения физических нагрузок у адаптирующихся крыс выявлено снижение числа лимфоидных узелков на 15%, герминативных центров – на 22% (табл. 1). Выявляется угнетение лимфопоэтической функции герминативных центров, что проявляется в уменьшении содержания лимфобластов, макрофагов и больших лимфоцитов. В мягкотных тьяжах снижено содержание зрелых плазмоцитов на 22%, что свидетельствует о некотором угнетении иммунопозитической функции лимфоузлов.

В то же время электронно-микроскопическое исследование показывает некоторое повышение электронной плотности цитоплазмы ретикулярных клеток за счет повышения содержания в ней свободных рибосом. В стромальных клетках определяются крупные митохондрии с четкими кристами, развитая эндоплазматическая сеть. Полученные данные свидетельствует о повышении функциональной активности ретикулярных клеток. Ретикулярные клетки играют важную роль в обеспечении лимфо- и иммунопозитической

функции лимфатических образований [12], повышение их функциональной активности предшествует реакциям пролиферации и дифференцировки клеток лимфоидного ряда.

У подопытных крыс обращает на себя внимание повышенное содержание тканевых базофилов (тучных клеток). В лимфоузлах они оседают обычно в капсуле, трабекулах, а также в паракортикальной зоне, где оседают периваскулярно, и в мягкотных тяжах [10]. У адаптирующихся животных в этот срок содержание тканевых базофилов в мягкотных тяжах повышено в 3,5 раза (табл. 2), там они образуют скопления (рис. 1).

Таблица 2

Количество тканевых базофилов в мягкотных тяжах брыжеечных лимфатических узлов контрольных крыс и в восстановительном периоде после интенсивных физических нагрузок

Группа крыс	Конец тренировочного периода	2 недели восстановительного периода	4 недели восстановительного периода
Контрольные животные	0,94±0,14	0,98±0,18	0,92±0,17
Адаптирующиеся к нагрузкам	1,21±0,16	3,64±0,23	2,28±0,14
Не устойчивые к нагрузкам	0,88±0,13	0,73±0,18	1,91±0,22

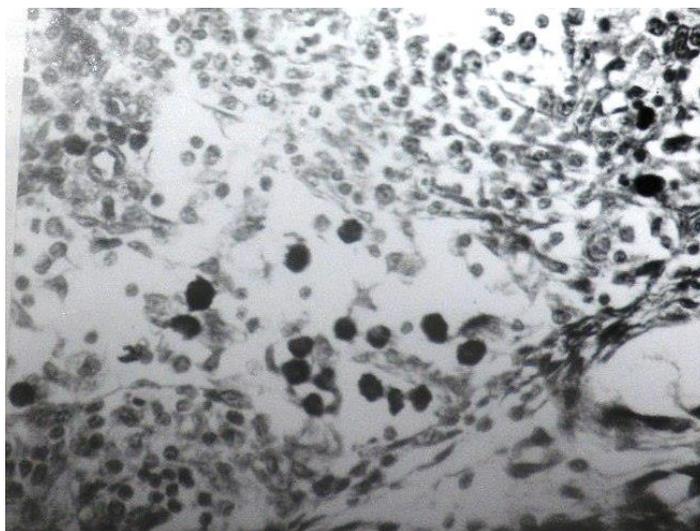


Рис. 1. Тканевые базофилы в мозговом веществе брыжеечного лимфатического узла крысы, адаптирующейся к физическим нагрузкам, через 2 недели после прекращения нагрузок.

Азур II – эозин, об. х 40, ок. х 10

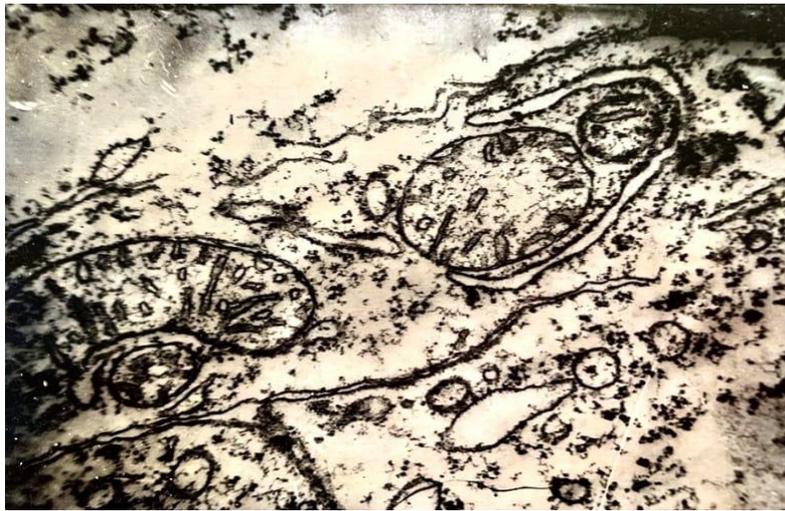
Известно, что тканевые базофилы повышают интенсивность местного кровотока, создавая благоприятную среду для пролиферации и дифференцировки клеток лимфоидного

ряда. Тучные клетки стимулируют активность макрофагов и лимфоцитов [1, 10], стимулируют иммунные реакции, и численность их всегда возрастает в процессе иммунного ответа [11]. Угнетение лимфо- и иммунопоэза, выявленное в лимфатических узлах адаптирующихся крыс в этот срок, стимулирует тучноклеточную реакцию, направленную на повышение функциональной активности ретикулярных клеток лимфоузлов и на восстановление их клеточного состава.

У неустойчивых животных через 2 недели после прекращения эксперимента наблюдается заметное снижение числа и площади лимфоидных узелков и особенно – их герминативных центров (табл. 1). Численность лимфоидных узелков уменьшена на 30%, а центров размножения – на 43%. Герминативные центры встречаются лишь в 65% лимфоидных узелков, тогда как в контроле в брыжеечных узлах они имеются более чем в 80% лимфоидных узелков. В паракортикальной зоне содержание малых лимфоцитов снижено в 1,5 раза, в связи с чем строма узла обнажена. Это свидетельствует о заметном угнетении клеточной миграции лимфоцитов из тимуса, которая становится более выраженной, чем в предыдущий срок исследования. В герминативных центрах лимфоидных узелков заметно снижено содержание больших лимфоцитов, лимфобластов и митозов. На этом фоне значительно возрастает содержание дегенерирующих лимфоцитов, а также макрофагов – в 1,7 раза по сравнению с контролем, поскольку макрофаги поглощают фрагменты погибших клеток.

В связи со значительным снижением функциональной активности герминативных центров количество плазмочитов в мягкотных тяжях в этой группе животных снижено в 2 раза по сравнению с контрольными показателями, уменьшено на 40% и содержание юных плазмочитов в паракортикальной зоне лимфоузлов. Содержание малых лимфоцитов в мягкотных тяжях и мозговых синусах лимфоузлов также снижено. Выявленные изменения свидетельствуют о заметном угнетении лимфопоэтической функции лимфоузлов.

При электронно-микроскопическом исследовании ретикулярных клеток лимфатических узлов неустойчивых крыс выявляются деструктивные изменения (рис. 2), которые проявляются в снижении электронной плотности цитоплазмы и уменьшении содержания в ней свободных рибосом.



*Рис. 2. Стромальная клетка брыжеечного лимфатического узла крысы, не устойчивой к физическим нагрузкам, через 2 недели после прекращения нагрузок. Цитоплазма просветлена, эндоплазматическая сеть расширена, митохондрии набухшие, с разорванными кристами. Ув. х 20000*

Митохондрии набухшие, с разорванными кристами; встречаются митохондрии с поврежденной, разорванной оболочкой. Эндоплазматическая сеть неравномерно расширена, количество рибосом на ней снижено. Ретикулярные клетки лимфатических узлов обеспечивают иммунные реакции, протекающие в этих органах [1, 10], и повреждение их ультраструктуры приводит к выраженному снижению лимфо- и иммунопoэтической функции лимфоузлов [12].

Через 4 недели после прекращения эксперимента в лимфатических узлах животных, адаптирующихся к физическим нагрузкам, количество лимфоидных узелков становится равным контрольным показателям, но количество герминативных центров остается несколько пониженным – на 15% (табл. 1). В паракортикальной зоне содержание малых лимфоцитов повышено в 1,1 раза, что объясняется повышенной миграцией их из тимуса. В тимусе в этот срок интенсивно проходят восстановительные процессы [8]. В герминативных центрах на 5,5% повышено содержание митозов и недостоверно – содержание лимфобластов, а в мягкотных тяжах – содержание плазмоцитов на 5,3%. В промежуточных мозговых синусах увеличено содержание малых лимфоцитов, что говорит об их усиленной миграции, которая обычно сопровождает активные пролиферативные процессы [11].

Содержание тканевых базофилов в мягкотных тяжах по сравнению с предыдущим сроком исследования снижается в 2 раза, но по-прежнему в 2,2 раза превышает данные контроля (табл. 2). Тучные клетки регулируют миграцию лимфоцитов [1, 10], которая возрастает у адаптирующихся животных в этот срок. Таким образом, у адаптирующихся к

физическим нагрузкам животных в этот срок полностью восстанавливаются структура и функция лимфатических узлов и наблюдается некоторая активация лимфопоэза.

У не устойчивых к физическим нагрузкам крыс через 4 недели после прекращения нагрузок возрастает количество лимфоидных узелков и герминативных центров, но не становится равным контрольным показателям: количество лимфоидных узелков остается уменьшенным на 20%, а центров размножения – на 32% (табл. 1). По сравнению с предыдущим сроком исследования возрастает функциональная активность лимфоузлов, но еще не достигает данных контроля: в центрах размножения количество лимфобластов и митозов увеличивается, однако не достигает контрольных показателей, а содержание дегенерирующих лимфоцитов снижается, хотя по-прежнему в 1,5 раза больше контрольных значений. В паракортикальной зоне несколько повышается содержание макрофагов и лимфоцитов, но еще не достигает данных контроля. Начинающееся восстановление функциональной активности центров размножения ведет к увеличению количества плазматических клеток и малых лимфоцитов в мозговом веществе лимфоузлов, но содержание плазмоцитов еще не достигает контрольных показателей и остается заметно пониженным – на 62%.

При изучении ультраструктуры ретикулярных клеток в них заметны восстановительные процессы: в цитоплазме и на эндоплазматической сети возрастает содержание рибосом. В то же время в эндоплазматической сети встречаются расширенные участки; митохондрии набухшие, кристы в них могут терять параллельность, но нарушения их целостности не определяется. В этот срок исследования в мозговом веществе неустойчивых крыс заметно возрастает количество тканевых базофилов – в 2 раза по сравнению с контролем (табл. 2). Такая же компенсаторная реакция наблюдалась со второй недели восстановительного периода у адаптирующихся животных, но была более выраженной. Тучные клетки способствуют реакции пролиферации лимфоцитов, дифференцировке молодых лимфоцитов и плазмоцитов [1, 10]. Биологически активные вещества тканевых базофилов стимулируют местный кровоток, что оказывает благотворное воздействие на метаболизм клеток [11].

Таким образом, у не устойчивых к физическим нагрузкам животных полного восстановления структуры и функции лимфатических узлов на протяжении всего периода наблюдения не выявляется. Через 4 недели после завершения физических нагрузок сохраняются уменьшение площадей всех функциональных зон узла, угнетение лимфо- и иммунопоэза, сопровождающееся дегенеративными изменениями и повышенной гибелью клеток. В то же время определяются некоторые тенденции к восстановлению структуры лимфоузлов и их функциональной активности.

## **Заключение**

Результаты исследования показали, что восстановительные реакции, протекающие в лимфоидных органах после интенсивных физических нагрузок, определяются степенью устойчивости иммунной системы. У животных, адаптирующихся к физическим нагрузкам, сразу после прекращения нагрузок наблюдается некоторое повышение функциональной активности лимфатических узлов, проявляющееся в небольшой активации вторичных лимфоидных узелков. Через 2 недели после прекращения нагрузок у этих животных определяется угнетение лимфо- и иммунопоэза, проявляющееся в снижении количества и площади лимфоидных узелков, угнетении пролиферации клеток лимфоидного ряда, уменьшенном содержании плазмоцитов – на 20–25%. В то же время в лимфоузлах адаптирующихся крыс определяются восстановительные реакции, выраженные в повышении функциональной активности стромальных клеток и тучноклеточной реакции. Миграционная активность лимфоцитов сохранена. Через 4 недели после прекращения эксперимента у адаптирующихся крыс происходит восстановление структуры и функции лимфоузлов, при этом количество герминативных центров в лимфоидных узелках еще остается незначительно сниженным на фоне некоторого увеличения их лимфопоэтической функции и повышенной миграции лимфоцитов. Содержание тканевых базофилов начинает снижаться, но не достигает контрольных показателей, что свидетельствует о сохраняющемся повышении функциональной активности лимфоузлов.

У животных, не устойчивых к физическим нагрузкам, сразу после их прекращения выявляются уменьшение площадей всех функциональных зон узла, снижение численности лимфоидных узелков на 20%, угнетение лимфо- и иммунопоэза на фоне повышенной деструкции клеток лимфоидного ряда. Через 2 недели после прекращения физических нагрузок у этих животных отмечаются максимально выраженные морфофункциональные изменения лимфатических узлов, проявляющиеся в значительном уменьшении количества лимфоидных узелков и особенно – герминативных центров, резком угнетении их функциональной активности, в снижении содержания лимфоцитов в паракортикальной зоне и плазмоцитов в мягкотных тяжах – в 1,5 и 2 раза соответственно. Указанные изменения протекают на фоне заметного увеличения содержания дегенерирующих лимфоцитов и выраженных деструктивных изменений стромальных клеток. Через 4 недели после прекращения физических нагрузок сохраняется уменьшение численности лимфоидных узелков и герминативных центров на 20% и 32% соответственно, сохраняется угнетение лимфо- и иммунопоэза, менее выраженное, чем в предыдущий срок исследования. Сохраняется повреждение ультраструктуры стромальных клеток, менее выраженное, чем в предыдущий срок исследования. На этом фоне наблюдаются восстановительные тенденции,

закрывающиеся в повышении численности тучных клеток и миграционной активности лимфоцитов.

### Список литературы

1. Сапин М.Р., Никитюк Д.Б. Иммунная система, стресс и иммунодефицит. М.: АПП Джангар, 2000. 184 с.
2. 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.
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. Петренко Е.В. Адаптация лимфоидных органов после физических нагрузок // Бюллетень науки и практики. 2019. Т. 5. № 6. С. 68-74.
5. Ткачук М.Г., Дюсенова А.А., Петренко Е.В., Страдина М.С. Конвергенция наук в исследованиях научно-педагогической школы «Функциональная анатомия спортивной деятельности» // Инновационный дискурс развития современной науки: Сборник статей V Международной научно-практической конф-ции. Петрозаводск: МНЦП «Новая наука», 2021. С. 75-80.
6. Ткачук М.Г., Олейник Е.А., Дюсенова А.А. Спортивная морфология: учебник для бакалавров, обучающихся по направлениям подготовки 49.03.01 – Физическая культура, 49.03.02 – Физическая культура для лиц с отклонениями в состоянии здоровья (адаптивная физическая культура), 44.03.01 – Педагогическое образование, 44.03.02 – Психолого-педагогическое образование. СПб.: НГУ им. П.Ф. Лесгафта, Санкт-Петербург, 2019. 290 с.
7. Ткачук М.Г., Страдина М.С. Органы иммунной системы в условиях интенсивных физических нагрузок и в периоде восстановления // Физическая реабилитация в спорте, медицине и адаптивной физической культуре: материалы V Всероссийской научно-практической конференции. СПб.: Министерство спорта РФ, ФГБОУВО НГУ им. П.Ф. Лесгафта, Санкт-Петербург, 2019. С. 336-340.
8. Страдина М.С. Адаптивные и компенсаторные реакции тимуса на интенсивные физические нагрузки // VIII Международный конгресс «Спорт, человек, здоровье»: материалы конгресса. СПб.: издательство Санкт-Петербургского университета, 2017. С. 285-287.
9. Красноруцкая И.С. Исследование морфофункциональных особенностей у юных спортсменов игровых видов спорта: материалы итоговой научно-практической конференции

профессорско-преподавательского состава НГУ имени П.Ф. Лесгафта за 2020 г., посвященной 125-летию Университета. СПб.: НГУ им. П.Ф. Лесгафта, 2021. С. 18-22.

10. Сапин М.Р., Этинген Л.Е. Иммунная система человека. М.: Медицина, 1996. 304 с.

11. Rabson A., Roitt I.M., Delves P.J. Really essential medical immunology / 2th ed. Oxford: Blackwell Publishing Lid., 2005. 296 p.

12. Бородин Ю.И., Горчакова О.В., Горчаков В.Н. Периферические лимфоидные структуры: образование и функция // Морфология. 2016. Т. 150. № 4. С.90-96.