

DOI: 10.17238/ISSN2223-2524.2019.1.65

УДК: 575.224.23:612.419:599.323.4:57.084.1:615.849.19

Цитогенетические нарушения в клетках тимуса как возможный побочный эффект при комбинированной лазеротерапии скелетных мышц (экспериментальное исследование)

Н.В. Булякова, В.С. Азарова

*ФГБУН Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова,
Российская академия наук, г. Москва, Россия*

РЕЗЮМЕ

Цель исследования: анализ функционального состояния тимуса в условиях курсового воздействия лазерного излучения на мышцы голени взрослых крыс. **Материалы и методы:** на 25 животных определяли массу тимуса, пролиферативную активность (митотический индекс, МИ) и возможный цитогенетический эффект (хромосомные aberrации – ХА) на клетки тимуса. Условия облучения: импульсное инфракрасное (890 нм, 1500 Гц, выходная мощность 8 Вт) и непрерывное красное (632.8 нм) лазерное излучение. Проведено 5 серий опытов: изучение тимусов у контрольных крыс с необлученными голенями (1-я серия); у крыс через сутки (2-я серия) или месяц (3-я серия) после завершения комбинированного лазерного облучения обеих голеней, по 5 экспозиций с ежедневным чередованием; через сутки после воздействия только импульсного инфракрасного (4-я серия, 5 экспозиций) или только красного (5-я серия, 5 экспозиций) лазерного излучения с интервалами 1-2 суток. Хромосомные aberrации определяли ана-телофазным методом. **Результаты:** во 2-й серии наблюдалась тенденция к снижению массы тимуса, уменьшению коркового вещества и увеличению ХА ($P<0.01$). МИ тимоцитов практически не изменялся. В 3-й серии выявлена тенденция к увеличению массы тимуса и ширины коркового слоя. МИ был более низким ($P<0.1$). Количество ХА снижалось ($P<0.01$) и приближалось к контролю. В 4-й серии исследованные показатели практически не изменялись по сравнению с контролем. Можно отметить только незначительное увеличение ХА. В 5-й серии отмечалось увеличение массы тимуса ($P<0.01$) и снижение ХА ($P<0.01$). Структура тимуса и МИ тимоцитов не отличались от контроля. **Выводы:** при комбинированном интенсивном лазерном облучении скелетных мышц могут происходить нарушения в хромосомном аппарате клеток тимуса (ХА), по-видимому, как результат превышения допустимой терапевтической нормы. В дальнейшем происходит постепенное восстановление. При более щадящем режиме лазеротерапии скелетных мышц цитогенетический эффект (ХА) после инфракрасного лазерного облучения не увеличивался, после воздействия красного лазерного излучения наблюдался стимулирующий эффект, снижение количества спонтанных ХА в тимусе.

Ключевые слова: тимус, мышцы, импульсное инфракрасное и красное лазерное излучение, цитологический и цитогенетический эффект, лабораторные крысы, ана-телофазный метод

Для цитирования: Булякова Н.В., Азарова В.С. Цитогенетические нарушения в клетках тимуса как возможный побочный эффект при комбинированной лазеротерапии скелетных мышц (экспериментальное исследование) // Спортивная медицина: наука и практика. 2019. Т.9, №1. С. 65-72. DOI: 10.17238/ISSN2223-2524.2019.1.65.

Cytogenetic abnormalities in thymus cells as a possible side effect of combined skeletal muscle laser therapy (experimental study)

Nelly V. Bulyakova, Valentina S. Azarova

A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Moscow, Russia

ABSTRACT

Objective: the functional analysis of the thymus during a course of laser therapy of the calf muscles of adult rats. **Materials and methods:** thymus mass, proliferative activity (mitotic index, MI) and possible cytogenetic effect on thymus cells (chromosome aberrations – CA) were studied on 25 adult rats. Irradiation conditions: pulsed infrared (890 nm, 1500 Hz, output power 8 W) and continuous red (632.8 nm) laser radiation. 5 series of experiments were carried out: study of thymus in control rats with non-irradiated legs (1st series); 1 day (2nd series) or 1 month (3rd series) after completion of combined laser irradiation of both calves (5 exposures with daily alternation); 1 day after exposure to only infrared (4th series, 5 exposures) or only red laser radiation (5th series, 5 exposures) with 1-2 day intervals. Chromosomal aberrations were determined by the ana-telophase method. **Results:** a thymus weight reduction tendency, reduction of the cortex and increased CA were observed in the 2nd series ($P<0.01$). MI of thymocytes did not change. The 3rd series showed the increasing thymus mass tendency and increasing of the width of the cortical layer. MI was lower ($P<0.1$);

CA decreased ($P < 0.01$) and approached to control. The studied parameters of the 4th series were practically unchanged in comparison with the control. Only non-considerable increase of CA could be noted. The 5th series showed the increase of the thymus mass ($P < 0.01$) and decrease of CA ($P < 0.01$). The structure of thymus and MI thymocytes did not differ from control. **Conclusions:** the destabilization of the chromosome apparatus of thymus cells and the appearance of CA may occur during combined intensive laser irradiation of skeletal muscles, apparently, as a result of exceedance of the permissible therapeutic norm. There is a gradual recovery in the following. After only infrared laser irradiation, the cytogenetic effect (CA) did not increase, after exposure to red laser radiation, a stimulating effect was observed including reduction of the number of spontaneous CA in the thymus.

Key words: thymus, muscles, infrared and red lasers, cytological and cytogenetic effects, rats, ana-telophase method

For citation: Bulyakova NV, Azarova VS. Cytogenetic abnormalities in thymus cells as a possible side effect of combined skeletal muscle laser therapy (experimental study). *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2019;9(1):65-72. Russian. DOI: 10.17238/ISSN2223-2524.2019.1.65.

1.1 Введение

В настоящее время в спортивной медицине широко применяются лазеры низкой интенсивности. Воздействие лазерного излучения на мышцы спортсменов перед тренировкой или после соревнований ускоряет процесс восстановления, улучшает биохимические показатели крови и мышечной ткани, позволяет быстро повысить выносливость к физическим нагрузкам и восстановить физическую работоспособность скелетных мышц [1-5]. Для реабилитации чаще всего применяются лазеры, излучающие в красном и инфракрасном диапазонах светового спектра. По мнению некоторых исследователей, комбинированное воздействие красного и инфракрасного лазерного облучения может значительно повышать эффективность лазеротерапии [6].

При этом воздействие лазерного излучения на периферические органы и ткани оказывает системный эффект на организм в целом, включая иммунную систему. Установлено, что лазерные лучи в зависимости от области облучения, длины волны, дозы и режима воздействия могут оказывать как стимулирующее, так и угнетающее действие на органы иммунной системы [7]. Показаны структурные нарушения в тимусе крысы после продолжительного воздействия лучей He-Ne лазера на проекцию бедренной вены [8]. Облучение брюшной стенки в эпигастральной области интактных крыс инфракрасными лучами вызывало структурно-функциональные изменения в тимусе, общая направленность которых свидетельствовала о повышении активности иммунной системы [9].

Вопрос о дестабилизации генома клеток тимуса и нарушениях в структуре хромосом дискутируется. Полагают, что воздействие низкоинтенсивного лазерного излучения в терапевтических дозах не обладает мутагенным эффектом, но может влиять на генную активность, что выражается в активации или снижении активности отдельных геномных локусов [10, 11]. Отмечались также изменения в состоянии хроматина ядер лимфоцитов, когда участки ДНК освобождаются от связи с гистонами, что способствует усилению репликационной и транскрипционной активности в лимфоидных клетках [9]. Некоторые исследователи предлагают рассматривать появление новых качественных и количественных изменений в биологических тканях после лазерного воздействия не как результат истинных мутаций, а как следствие ненаследуемых эпигенетических модифика-

ций [12]. Появляющиеся новые качественные и количественные признаки некоторое время сохраняются, но в дальнейшем постепенно нивелируются.

Данных о цитогенетических нарушениях в тимусе как о возможном побочном эффекте системного влияния лазеротерапии скелетных мышц мы не встречали. Однако проблема актуальна в связи с тем, что, с одной стороны, выбор оптимальной дозы лазеротерапии скелетных мышц во многом имеет эмпирический характер. Имеющиеся в литературе экспериментальные данные и наблюдения в клинической практике получены при воздействии различных лазерных установок, при различных спектрах лазерного излучения, различных дозах, режимах и тактике лечения, и трудно поддаются обобщению. Возможны передозировки энергетического облучения, превышение терапевтического коридора лазерного воздействия и снижение функции тимуса как побочный результат системного эффекта лазеротерапии. С другой стороны, увеличение объема тренировок, а также предельных физических нагрузок и стрессовых воздействий в период спортивных соревнований вызывает «спортивный иммунодефицит», что выражается в снижении защитных сил организма к инфекциям и подавлении функции некоторых показателей иммунитета [13-15].

Цель исследования – оценить состояние центрального органа иммунной системы (тимуса) в результате системного влияния курсового лазерного облучения икроножных мышц животных импульсным инфракрасным и непрерывным красным излучением при комбинированном или отдельном режиме воздействия.

1.2 Материалы и методы

Проведено 5 серий опытов на 25 крысах-самцах в возрасте 3-4 месяцев. На обеих голени животного с дорзальной стороны сбрасывали шерстный покров, затем обе голени подвергались лазерному воздействию. В 1-й серии были исследованы тимусы у необлученных крыс (контроль). Во 2-й серии тимусы были исследованы через сутки после завершения 10-кратного облучения в течение двух недель (за исключением выходных) с ежедневным чередованием воздействия импульсного инфракрасного и непрерывного красного лазерного излучения (в течение 1-ой недели было дано 3 сеанса ИК облучения и 2 сеанса в красном диапазоне излучения; в течение 2-ой недели было дано 3 сеанса в красном диа-

пазоне излучения и 2 сеанса инфракрасного облучения (ИК) облучения). В 3-й серии тимусы были исследованы через месяц после завершения курсового лазерного облучения в таком же режиме воздействия, как и во 2-й серии. В 4-й серии в течение двух недель проведено 5-кратное облучение только ИК лазером (в течение 1-ой недели было дано 3 сеанса импульсного ИК лазерного облучения, в течение 2-ой недели – 2 сеанса). В 5-й серии в течение двух недель проведено 5-кратное облучение только He-Ne лазером, режим облучения и интервалы такие же, как в 4-й серии.

Условия локального воздействия импульсным инфракрасным лазером: аппарат «ОРИОН-5» (ВНПП «ЖИВА»), длина волны 890 нм, частота следования импульсов – 1500 Гц, выходная импульсная мощность лазера – 8 Вт. Режим облучения контактный лабильный. Длительность каждой процедуры равнялась 3 мин. Каждую голень крысы с дорзальной поверхности в области проекции большеберцовой и малоберцовой косточек облучали от проксимального конца к дистальному концу и обратно (в течение 3 мин по 180 контактов-полей). Площадь облучения и продолжительность облучения при каждом из 180 контактов излучателя с поверхностью голени составляли 0,4 см² в течение 1 сек. При этом доза облучения при каждом контакте равнялась 0,003 Дж/см².

Условия воздействия лазером, непрерывно излучающим в красном диапазоне: стационарная установка ОКГ-12 (Россия), длина волны 632,8 нм, режим облучения дистанционный стабильный. На выходе лазерный луч был расфокусирован с помощью линзы, диаметр поля облучения 2-2,5 см, плотность мощности составляла 2,5-3 мВт/см². Доза облучения каждой конечности животного в течение 3 минут – 0,45-0,54 Дж/см².

Анализ тимуса проведен гистологическим, цитологическим и цитогенетическим методами. Тимусы фиксировали в смеси Карнуа, парафиновые срезы толщиной 7-8 мкм окрашивали железным гематоксилином по Рего и Маллори. С каждого тимуса приготавливали по 36-48 гистологических срезов. Затем от каждого животного исследовали по 6 срезов, лежащих на разной глубине тимуса, примерно, на 6 уровнях.

Для цитологического анализа (оценки митотического индекса тимоцитов – МИ) в корковом слое тимусов у каждого животного на 6 уровнях подсчитывали количество митозов (профазы, метафазы, анафазы и телофазы) в 10 произвольно выбранных полях зрения (6000-7000 клеток) и выражали в %. Цитогенетический анализ клеток тимуса (количество митозов с хромосомными aberrациями, ХА) проведен с помощью ана-телофазного метода. В тимусе каждого животного на 6 уровнях подсчитывали 500-600 поздних анафаз и ранних телофаз. При определении клеток с хромосомными aberrациями (ХА) учитывали митозы с мостами и со значительно отстающими при расхождении к полюсам хромосомами («хвосты»), а также свободно лежащими

хромосомными фрагментами и смешанной патологией (мосты и фрагменты в одной клетке) и выражали в % от общего количества просчитанных анафаз-телофаз (рис. 1). Цитогенетический анализ клеток тимуса (количество митозов с хромосомными aberrациями, ХА) проведен с помощью ана-телофазного метода. По наличию фрагментов и мостов в aberrантных митозах данный метод позволяет регистрировать делеции (утрата участков хромосом в момент их разрыва) и транслокации (перенос участка хромосомы на другую хромосому) [16]. Для оценки функционального состояния тимуса определяли также относительную массу органа (% от массы тела животного), что является показателем гомеостаза организма.

Анализ гистологических препаратов проводили с помощью микроскопа «Motic DMBA-310 с видеокамерой». Статистическую обработку полученных данных, а именно, значимость различий средних величин между группами оценивали с использованием t-критерия Стьюдента. Исследования выполнены с соблюдением «Правил проведения работ с использованием экспериментальных животных». Крысы получали стандартный гранулированный комбикорм и воду в свободном доступе. Животных выводили из опыта передозировкой наркоза. Получено разрешение Комиссии по биоэтике на проведение экспериментальных исследований № 13 от 30 ноября 2017 г.

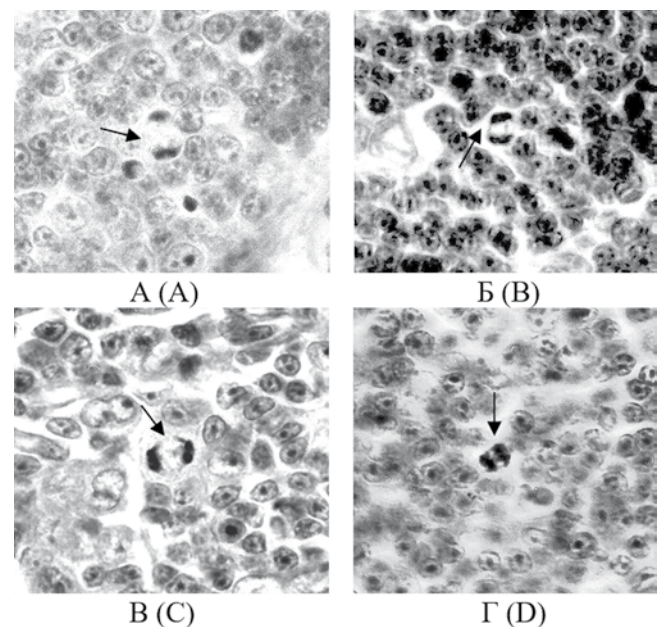


Рис. 1. Типы хромосомных aberrаций, встречающихся в клетках тимуса. А – нормальная анафаза. Б – анафаза с 2-мя мостами. В – анафаза с фрагментом и отстающей хромосомой. Г – анафаза с 3-мя мостами. Окраска гематоксилином по Рего. Ув. 1000

Fig. 1. Types of chromosomal aberrations found in the thymus. А – normal anaphase. В – anaphase with 2 bridges. С – anaphase with fragment and laggard. D – anaphase with 3 bridges. Hematoxylin staining by Rego. x1000

1.3 Результаты и их обсуждение

Полученные данные показали, что интенсивное комбинированное лазерное облучение обеих голени крысы ИК и He-Ne лазерами оказывало влияние на структуру и функцию тимуса.

У контрольных крыс (1-я серия) масса тимуса составляла $0,07 \pm 0,00\%$. В тимусных дольках ширина коркового и мозгового слоев была, примерно, 50/50, лимфоидные клетки располагались плотно, между корковым и мозговым веществом отмечались четкие границы (рис. 2А). МИ тимоцитов равнялся $22,4 \pm 0,4\%$. Количество спонтанных хромосомных aberrаций (ХА) – $18,7 \pm 0,2\%$.

Через сутки после завершения курсового комбинированного воздействия лазерного излучения (2-я серия) наблюдалась тенденция к снижению массы тимуса. В большинстве долек ширина коркового слоя заметно уменьшалась по сравнению с мозговым слоем (рис. 2Б). Встречались места более рыхлого расположения лимфоцитов. В просветах кровеносных сосудов отмечались нейтрофилы и лимфоциты. МИ тимоцитов еще не отличался от контроля. При этом увеличивалось количество митозов с ХА (до $29,4 \pm 2,0\%$, $p < 0,01$).

Через месяц после завершения курсового комбинированного воздействия лазерного излучения на обе голени крыс (3-я серия) функциональное состояние тимуса постепенно восстанавливалось. Отмечалась тенденция к увеличению массы тимуса. Гистологическая структура тимуса существенно не отличалась от структуры тимуса контрольных крыс. Количество ХА снижалось по сравнению с соответствующим показателем во 2-й серии ($18,7 \pm 1,6$, $p < 0,01$) и уже не отличалось от контроля. При этом МИ тимоцитов был ниже, чем в контроле ($p < 0,1$). Возможно, это объясняется тем, что в период лазеротерапии (на протяжении 10 суток) МИ поддерживался на уровне контроля, а после завершения интенсивного комбинированного лазерного облучения происходит некоторое снижение митотической активности и замед-

ление вступления клеток тимуса в митотический цикл, по крайней мере, в течение последующего месяца.

Данные 2-й и 3-й серий опытов получены в условиях комбинированного воздействия лазерного излучения на обе голени крыс. Выбранный алгоритм интенсивного комбинированного лазерного облучения (ежедневное чередование сеансов импульсного инфракрасного и непрерывного красного излучения в течение двух недель, импульсный или непрерывный режим излучения, разная длина волны, различная глубина проникновения в биологические ткани, облучение сравнительно больших участков поверхности кожи) оказывал различный системный эффект на состояние тимуса. Через сутки уже отмечалось значимое усиление цитогенетического эффекта. Данные 3-й серии показывают, что в течение последующего месяца после комбинированного облучения функциональное состояние тимуса постепенно восстанавливается. Тимоциты с цитогенетическими нарушениями в дальнейшем, по-видимому, нивелируются. Наши предположения подтверждаются данными литературы. Известно, что соматические клетки с хромосомными aberrациями, возникающими в результате мутагенного воздействия в постнатальном периоде, подвергаются эффективному отбору и элиминации [17, 18]. Со временем количество тимоцитов восстанавливается за счет деления неповрежденных клеток.

Однако отмеченный в данной работе системный эффект в условиях интенсивной комбинированной лазеротерапии скелетных мышц импульсным инфракрасным и непрерывным красным лазерным излучением может временно снижать функциональную активность тимуса, вызывать аплазию органа и угнетать иммунную систему, в том числе и сопротивляемость организма к воздействию неблагоприятных внешних факторов. Цитогенетический эффект лазерного облучения скелетных мышц голени у крыс может усиливаться в клетках тимуса при последующей физической нагрузке, например, после плавания [19].

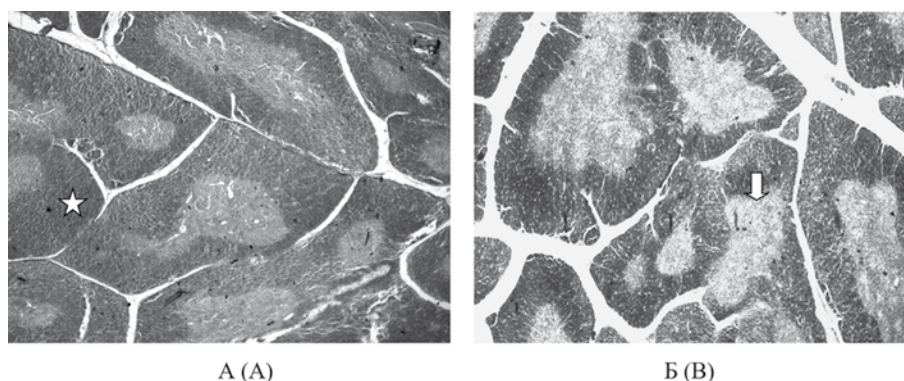


Рис. 2. Гистологическая структура тимуса. А. Тимус контрольных крыс. В дольках тимуса больше коркового вещества (темно-окрашенное, звездочка). Б. Тимус крыс после комбинированной лазеротерапии скелетных мышц. В дольках тимуса больше мозгового вещества (светло-окрашенное, стрелка). Окраска гематоксилином по Pero. Ув. x40

Pic. 2. Histological structure of rat thymus. A. Thymus of control rats. Cortical substance prevails in the thymus lobules (dark-colored, asterisk). B. Thymus of rats after combined skeletal muscle laser therapy. Thymus lobules have more medulla substance (light-colored, arrow). Hematoxylin staining by Rego. x40

Для оценки системного влияния каждого из двух видов лазерного облучения обеих голени животного на состояние тимуса были исследованы изменения массы тимуса, цитологический и цитогенетический эффект в условиях воздействия только одного вида облучения в том же режиме, что и в условиях комбинированного. В 4-й серии через сутки после завершения курсового воздействия импульсного инфракрасного лазерного излучения на обе голени крыс масса тимуса и МИ тимоцитов не отличались значимо от соответствующих показателей у животных 2-й, 3-й и контрольной серий. В структуре тимуса отмечались четкие границы между корковым и мозговым слоями, в корковом веществе иногда наблюдались небольшие участки с аплазией органа, но в целом, лимфоидные клетки располагались сравнительно плотно. При этом частота встречаемости митозов с ХА была ниже, чем в этот же срок наблюдения после комбинированного воздействия двух видов лазерного излучения (сравнить $29,4 \pm 2,0\%$ и $19,6 \pm 0,5\%$, $p < 0,01$) и приближалась к контролю.

Через сутки после курсового воздействия только непрерывного красного лазерного излучения на обе голени

крыс (5-я серия) положительный эффект системного влияния лазеротерапии скелетных мышц на тимус был более выражен. Увеличивалась масса тимуса ($0,14 \pm 0,01\%$, $p < 0,01$). Гистологическая структура тимуса практически не отличалась от контроля. Границы между корковым и мозговым веществом четкие, лимфоидные клетки в корковом слое тимуса располагались сравнительно плотно. Пролиферативная активность тимоцитов (МИ) находилась на уровне контроля. При этом частота встречаемости митозов с ХА снижалась ($14,0 \pm 0,9\%$, $p < 0,01$) по сравнению с комбинированным воздействием обоих видов лазерного излучения, а также с контролем.

Достоверно низкая частота встречаемости клеток с ХА по сравнению с контролем позволяет предположить, что излучение He-Ne-лазера в данной дозе и режиме облучения скелетных мышц улучшало исходное состояние тимуса и способствовало снижению количества клеток со спонтанными аберрациями.

Полученные результаты говорят о том, что в данных экспериментальных условиях лазеротерапии скелетных мышц крыс угнетающий эффект системного влияния на состояние тимуса наблюдался только при комбини-

Таблица

Функциональное состояние тимуса после курсового воздействия импульсного инфракрасного и непрерывного красного лазерного излучения на обе голени крысы в различных режимах

Table

The functional state of the thymus after the course of pulsed infrared and continuous red laser radiation on both tibiae of the rat in various regimes

Исследуемые параметры/ investigated options	1-я серия: контроль/ 1 st series: control (n=5)	2-я серия: через сутки после ИК+He-Ne лазерного облучения/ 2 nd series: one day after IK+He-Ne laser irradiation (n=5)	3-я серия: через месяц после ИК+He-Ne лазерного облучения/ 3 rd series: one month after IK+He-Ne laser irradiation (n=5)	4-я серия: через сутки после ИК лазерного облучения/ 4 th series: one day after IK laser irradiation (n=5)	5-я серия: через сутки после He-Ne лазерного облучения/ 5 th series: one day after He-Ne laser irradiation (n=5)
Масса тимуса/ thymus weight,%	0.07±0.00	0.06±0.01	0.08±0.01	0.07±0.004	0.14±0.01 *p<0.01 ** p<0.01 *** p<0.01
Митотический индекс (МИ) тимоцитов/ mitotic index (MI) of thy-mocytes, ‰	22.4±0.4	21.9±0.5	19.6±1.5 * p<0.1	22.4±1.1	22.8±1.0
ХА в тимоцитах/ chromosomal aberrations (CA) in thymocytes,%	18.7±0.2	29.4±2.0 * p<0.01	18.7±1.6 ** p<0.01	19.6±0.5 ** p<0.01	14.0±0.3 *p<0.01 ** p<0.01 *** p<0.01

Примечание: * – достоверные различия по сравнению с контролем

* – significant differences compared to control

** – достоверные различия по сравнению со 2-й серией

** – significant differences compared with the 2nd series

*** – достоверные различия по сравнению с 4-й серией

*** – significant differences compared to the 4th series

n – количество животных/number of animals

рованном воздействии импульсного инфракрасного и непрерывного красного лазерного излучения. При лазеротерапии скелетных мышц в условиях интенсивного комбинированного воздействия обеих голени крыс, по-видимому, происходит превышение терапевтического коридора лазеротерапии и возникновение цитогенетических нарушений в геноме клеток тимуса как побочный эффект системного влияния лазеротерапии.

Сравнительный анализ результатов лазеротерапии скелетных мышц каждым из примененных видов лазерного излучения (4-я и 5-я серии) показал, что при той же площади облучения обеих голени, но более щадящем режиме (меньшее число 3-минутных экспозиций, более продолжительные интервалы 1-2 суток), усиление цитогенетического эффекта не наблюдалось. Более того, после воздействия непрерывного красного лазерного излучения на скелетные мышцы был отмечен даже оздоравливающий эффект на состояние тимуса и достоверное уменьшение количества спонтанных аберраций в тимусе.

Опосредованное системное действие лазерного излучения низких интенсивностей при воздействии на периферические органы и ткани происходит через кровь [20]. При облучении участков кожного покрова повышается уровень цитокинов в кровеносном русле, происходит активация иммунокомпетентных клеток кожи [9, 21]. При передозировке лазерного излучения могут возникать локальные повреждения структурно-функциональных единиц в системе микроциркуляции [22]. Кроме того, при облучении скелетных мышц задних конечностей крысы лазерному облучению подвергается костный мозг, состояние которого может влиять на состояние тимуса.

Список литературы

1. Павлов С.Е., Разумов А.Н., Павлов А.С. Лазерная стимуляция в медико-биологическом обеспечении подготовки квалифицированных спортсменов. М.: Спорт, 2017. 216 с.
2. Oliveira HA, Antonio EL, Silva FA, de Tarso P, de Carvalho C, Feliciano R, Yoshizaki A, de Souza Vieira S, de Melo BL, Pinto Leal-Junior EC, Labat R, Bocalini DS, Silva Junior JA, José P, Tucci F, Serra AJ. Protective effects of photobiomodulation against resistance exercise-induced muscle damage and inflammation in rats // Journal of Sports Sciences. 2018. Vol.36, №11. P. 1-9. DOI: 10.1080/02640414.2018.1457419.
3. Pinto Leal-Junior EC, Lopes-Martins RA, Frigo L, De Marchi T, Rossi RP, de Godoi V, Tmazoni SS, Silva DP, Basso M, Filho PL, de Valls Corsetti F, Iversen VV, Bjordal JM. Effects of low-level laser therapy (LLLT) in the development of exercise-induced skeletal muscle fatigue and changes in biochemical markers related to post-exercise recovery // J Orthop. Sports Phys. Ther. 2010. Vol.40, №8. P. 524-32. DOI: 10.2519/jospt.2010.3294.
4. Ferraresi C, de Brito Oliveira T, de Oliveira Zafalon L, de Menezes Reiff RB, Baldissera V, de Andrade Perez SE, Matheucci Júnior E, Parizotto NA. Effects of low level laser therapy (808 nm) on physical strength training in humans // Lasers Med. Sci. 2011. Vol.26, №3. P. 349-58. DOI: 10.1007/s10103-010-0855-0.

Как известно, предшественники клеток тимуса находятся в костном мозге. Проникая в тимус, предшественники Т-лимфоцитов пролиферируют и подвергаются дифференцировке. Ранее мы показали довольно высокое количество клеток костного мозга с ХА через сутки после комбинированного воздействия импульсным инфракрасным и непрерывным красным лазерным излучением на обе голени крыс в таком же режиме, как в данном экспериментальном исследовании [23].

1.4 Выводы

В условиях интенсивного комбинированного воздействия импульсного инфракрасного и непрерывного красного лазерного излучения на скелетные мышцы обеих голени животного возможно превышение терапевтического коридора лазеротерапии и возникновение цитогенетических нарушений в геноме клеток тимуса как побочный эффект системного влияния лазеротерапии мышц. После завершения комбинированного облучения мышц голени происходит постепенное восстановление функции тимуса. Применение только одного из двух видов лазерного излучения способствует улучшению состояния тимуса и снижению количества митозов со спонтанными хромосомными аберрациями.

При разработке стратегии лазеротерапии скелетных мышц у спортсменов с помощью комбинированного воздействия импульсного инфракрасного и непрерывного красного лазерного излучения необходимо, очевидно, принимать во внимание возможность цитогенетических повреждений в клетках тимуса как побочный эффект системного влияния лазеротерапии мышц при передозировке.

References

1. Pavlov SE, Razumov AN, Pavlov AS. Laser stimulation in biomedical providing of training of qualified athletes. Moscow, Sport, 2017. 216 p. Russian.
2. Oliveira HA, Antonio EL, Silva FA, de Tarso P, de Carvalho C, Feliciano R, Yoshizaki A, de Souza Vieira S, de Melo BL, Pinto Leal-Junior EC, Labat R, Bocalini DS, Silva Junior JA, José P, Tucci F, Serra AJ. Protective effects of photobiomodulation against resistance exercise-induced muscle damage and inflammation in rats. Journal of Sports Sciences. 2018;36(11):1-9. DOI: 10.1080/02640414.2018.1457419.
3. Pinto Leal-Junior EC, Lopes-Martins RA, Frigo L, De Marchi T, Rossi RP, de Godoi V, Tmazoni SS, Silva DP, Basso M, Filho PL, de Valls Corsetti F, Iversen VV, Bjordal JM. Effects of low-level laser therapy (LLLT) in the development of exercise-induced skeletal muscle fatigue and changes in biochemical markers related to post-exercise recovery. J Orthop. Sports Phys. Ther. 2010;40(8):524-32. DOI: 10.2519/jospt.2010.3294.
4. Ferraresi C, de Brito Oliveira T, de Oliveira Zafalon L, de Menezes Reiff RB, Baldissera V, de Andrade Perez SE, Matheucci Júnior E, Parizotto NA. Effects of low level laser therapy (808 nm) on physical strength training in humans. Lasers Med. Sci. 2011;26(3): 349-58. DOI: 10.1007/s10103-010-0855-0.

5. **Albuquerque-Pontes GM, Vieira RP, Tomazoni SS, Cai-res CO, Nemeth V, Vanin AA, Santos LA, Pinto HD, Marcos RL, Bjordal JM, de Carvalho Pde T, Leal-Junior EC.** Effect of pre-irradiation with different doses, wavelengths, and application intervals of low-level laser therapy on cytochrome c oxidase activity in intact skeletal muscle of rats // *Lasers Med. Sci.* 2015. Vol.30, №1. P. 59-66. DOI: 10.1007/s10103-014-1616-2.
6. **Almeida P, Lopes-Martins RA, De Marchi T, Tomazoni SS, Albertini R, Correa JC, Rossi RP, Machado GP, da Silva DP, Bjordal JM, Leal Junior EC.** Red (660 nm) and infrared (830 nm) low-level laser therapy in skeletal muscle fatigue in humans: what is better? // *Lasers Med Sci.* 2012. Vol.27, №2. P. 453-8. DOI: 10.1007/s10103-011-0957-3.
7. **Huang YY, Chen AC, Carroll JD, Hamblin MR.** Biphasic dose response in low level light therapy // *Dose Response.* 2009. Vol.7, №4. P. 358-83. DOI: 10.2203/dose-response.09-027.
8. **Асташов В.В., Козлов В.И., Бородин Ю.И., Анцырева Ю.А., Зайко О.А.** Структура тимуса при воздействии чрезкожного лазерного облучения крови с различной длиной волны // *Морфология.* 2017. Т.151, №3. С. 22-7.
9. **Бугаева И.О.** Влияние низкоинтенсивного инфракрасного лазерного излучения на органы иммунной системы: Дисс. докт. мед. наук. Саратовский государственный мед ун-т. Саратов, 2006. 285 с.
10. **Silva Sergio LP, da Silva Marciano R, Castanheira Polignano GA, Guimaraes OR, Geller M, de Paoli F, Adenilson de Souza da Fonseca.** Evaluation of DNA damage induced by therapeutic low-level red laser // *J Clin Exp Dermatol.* 2013. Vol.4, №1. DOI: 10.4172/2155-9554.1000166.
11. **Rodrigues NC, Brunelli R, Selistre-de-Aranjo HS, Renno ACM.** Low-level laser therapy (LLLT) (660nm) alters gene expression during muscle healing in rats // *J. photochemistry and photobiology. B, Biology.* 2013. №120. P. 29-35. DOI: 10.1016/j.jphotobiol.2013.01.002.
12. **Будаговский А.** Обладает ли низкоинтенсивное лазерное излучение мутагенным действием? // *Фотоника.* 2013. Т.38, №2. С. 114-27.
13. **MacKinnon LT.** Special feature for the Olympics: effects of exercise on the immune system: overtraining effects on immunity and performance in athletes // *Immunol Cell Biol.* 2000. Vol.78, №5. P. 502-9. DOI: 10.1111/j.1440-1711.2000.t01-7-x.
14. **Гаврилова Е.К.** Стрессорный иммунодефицит у спортсменов. М.: Советский спорт, 2009. 192 с.
15. **Стернин Ю.И., Сизякина Л.П.** Особенности состояния иммунной системы при высокой физической активности и применение системной энзимотерапии // *Медицинский Академический журнал.* 2014. Т.14, №1. С. 87-92.
16. **Проخورова И.М., Фомичева П.Н., Ковалева М.И.** Генетика человека. Ч.2. Генетическая токсикология: методические указания. Ярославль: Ярославский ГУ, 2007. 64 с.
17. **Кузин С.М.** Критерии и факторы отбора мутагенных клеток с цитогенетическими нарушениями в обновляющихся тканях организма // *Медицинская генетика.* 2005. Т.4, №5. С. 213.
18. **Петров В.М., Баргенева С.С., Нугис В.Ю.** Динамика частоты хромосомных aberrаций в лимфоцитах периферической крови человека после острого облучения // *Радиация. Радиэкология.* 2009. Т.49, №4. С. 412-8.
19. **Булякова Н.В., Азарова В.С.** Состояние тимуса и костного мозга у крыс после лазерного облучения скелетных мышц и физической нагрузки на облученных животных // *Физиотерапия, бальнеология и реабилитация.* 2016. Т.15, №1. С. 37-42. DOI: 10.18821/1681-3456-2016-1.
5. **Albuquerque-Pontes GM, Vieira RP, Tomazoni SS, Cai-res CO, Nemeth V, Vanin AA, Santos LA, Pinto HD, Marcos RL, Bjordal JM, de Carvalho Pde T, Leal-Junior EC.** Effect of pre-irradiation with different doses, wavelengths, and application intervals of low-level laser therapy on cytochrome c oxidase activity in intact skeletal muscle of rats. *Lasers Med. Sci.* 2015;30(1):59-66. DOI: 10.1007/s10103-014-1616-2.
6. **Almeida P, Lopes-Martins RA, De Marchi T, Tomazoni SS, Albertini R, Correa JC, Rossi RP, Machado GP, da Silva DP, Bjordal JM, Leal Junior EC.** Red (660 nm) and infrared (830 nm) low-level laser therapy in skeletal muscle fatigue in humans: what is better? *Lasers Med Sci.* 2012;27(2):453-8. DOI: 10.1007/s10103-011-0957-3.
7. **Huang YY, Chen AC, Carroll JD, Hamblin MR.** Biphasic dose response in low level light therapy. *Dose Response.* 2009;7(4):358-83. DOI: 10.2203/dose-response.09-027.
8. **Astashov VV, Kozlov VI, Borodin YuI, Antsyreva YA, Zayko OA.** Thymus structure after percutaneous exposure of blood to laser irradiation of different wave length. *Morfologiya.* 2017;151(3):22-7. Russian.
9. **Bugayeva IO.** Influence of low-intensity infrared laser radiation on the organs of the immune system. *Dissertatsiya doktora meditsinskih nauk. Saratovskiy Gosudarstvennyy Meditsinskiy Universitet. Saratov, 2006. 285 p. Russian.*
10. **Silva Sergio LP, da Silva Marciano R, Castanheira Polignano GA, Guimaraes OR, Geller M, de Paoli F, Adenilson de Souza da Fonseca.** Evaluation of DNA damage induced by therapeutic low-level red laser. *J Clin Exp Dermatol.* 2013;4(1). DOI: 10.4172/2155-9554.1000166.
11. **Rodrigues NC, Brunelli R, Selistre-de-Aranjo HS, Renno ACM.** Low-level laser therapy (LLLT) (660nm) alters gene expression during muscle healing in rats. *J. photochemistry and photobiology. B, Biology.* 2013;120:29-35. DOI: 10.1016/j.jphotobiol.2013.01.002.
12. **Budagovsky A.** Does low-intensity laser radiation have a mutagenic effect? *Fotonika.* 2013;38(2):114-27. Russian.
13. **MacKinnon LT.** Special feature for the Olympics: effects of exercise on the immune system: overtraining effects on immunity and performance in athletes. *Immunol Cell Biol.* 2000;78(5):502-9. DOI: 10.1111/j.1440-1711.2000.t01-7-x.
14. **Gavrilova EK.** Stressing immunodeficiency in athletes. *Moscow, Sovetsky Sport, 2009. 192 p. Russian.*
15. **Sternin YuI, Sizyakina LP.** Features of the state of the immune system under high physical activity and application of systemic enzyme therapy. *Meditsinskiy Akademicheskiy zhurnal.* 2014;14(1):87-92. Russian.
16. **Prokhorova IM, Fomicheva PN, Kovaleva MI.** Human genetics. Pt. 2. Genetic toxicology: guidelines. *Yaroslavl, Yaroslavskiy Gosudarstvennyy Universitet, 2007. 64 p. Russian.*
17. **Kuzin SM.** Criteria and factors for the selection of mutagenic cells with cytogenetic disorders in the renewing tissues of the body. *Meditsinskaya genetika.* 2005;4(5):213. Russian.
18. **Petrov VM, Barteneva SS, Nugis VYu.** Dynamics of the frequency of chromosomal aberrations in human peripheral blood lymphocytes after acute irradiation. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya.* 2009;49(4):412-8. Russian.
19. **Bulyakova NV, Azarova VS.** The state of the thymus and bone marrow in rats after laser irradiation of skeletal muscles and physical activity in irradiated animals. *Fizioterapiya, balneologiya i reabilitatsiya.* 2016;15(1):37-42. DOI: 10.18821/1681-3456-2016-1. Russian.

20. Москвин С.В., Кончугова Т.В., Хадарцев А.А. Основные терапевтические методики лазерного осветивания крови // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 2017. Т.94, №5. С. 10-7. DOI: 10.17116/kurort201794510-17.

21. Жеваго Н.А., Самойлова К.А., Оболенская К.Д., Соколов Д.И. Изменение содержания цитокинов в периферической крови добровольцев после облучения полихроматическим видимым и инфракрасным светом // Цитология. 2005. Т.47, №5. С. 446-59.

22. Козлов В.И. Морфофункциональная характеристика расстройств микроциркуляции и их коррекция при лазеротерапии // Морфологические основы низкоинтенсивной лазеротерапии. Ташкент: Изд-во им. Ибн Сины, 1991. С. 63-100.

23. Булякова Н.В., Азарова В.С. Цитогенетические нарушения в клетках костного мозга как возможный побочный эффект лазеротерапии (экспериментальное исследование) // Радиационная биология. Радиоэкология. 2018. Т.58, №1. С. 45-52. DOI: 10.7868/50869803118010058.

20. Moskvina SV, Konchugova TV, Khadartsev AA. The commonest therapeutic methods for laser irradiation of blood. Voprosy kurortologii, fizioterapii i lechebnoi fizicheskoi kultury. 2017;94(5): 10-7. DOI: 10.17116/kurort201794510-17. Russian.

21. Zhevago NA, Samoylova KA, Obolensky KD, Sokolov DI. Change in the content of cytokines in the peripheral blood of volunteers after irradiation with polychromatic visible and infrared light. Tsitology. 2005;47(5):446-59. Russian.

22. Kozlov VI. Morphofunctional characteristics of microcirculation disorders and their correction in laser therapy. Morfologicheskiye osnovy nizkointensivnoy lazeroterapii. Tashkent, Izdatelstvo im. Ibn Siny, 1991. P. 63-100. Russian.

23. Bulyakova NV, Azarova VS. Cytogenetic disorders in bone marrow cells as a possible side effect of laser therapy (experimental study). Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya. 2018;58(1):45-52. DOI: 10.7868/50869803118010058. Russian.

Информация об авторах:

Булякова Нелли Васильевна, старший научный сотрудник лаборатории экологии и функциональной морфологии высших позвоночных ФГБУН Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, к.б.н. ORCID ID: 0000-0003-1851-327X (+7 (905) 500-91-04, bulyakova38@mail.ru)

Азарова Валентина Сергеевна, ведущий инженер лаборатории экологии и функциональной морфологии высших позвоночных ФГБУН Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН. ORCID ID: 0000-0001-6490-0890

Information about the authors:

Nelly V. Bulyakova, Ph.D. (Biology), Senior Researcher of the Laboratory for Ecology and Functional Morphology of the Higher Vertebrates of the A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution. ORCID ID: 0000-0003-1851-327X (+7 (905) 500-91-04, bulyakova38@mail.ru)

Valentina S. Azarova, Leading Engineer of the Laboratory for Ecology and Functional Morphology of the Higher Vertebrates of the A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution. ORCID ID: 0000-0001-6490-0890

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest

Поступила в редакцию: 28.01.2019

Принята к публикации: 14.02.2019

Received: 28 January 2019

Accepted: 14 February 2019

Серия «Библиотека журнала «Спортивная медицина: наука и практика»



Тесты с дозируемой физической нагрузкой в спортивной медицине

Ландырь А.П., Ачкасов Е.Е., Медведев И.Б.

В книге даются рекомендации по проведению тестов с дозированной субмаксимальной и максимальной физической нагрузкой на велоэргометрах, движущейся дорожке, гребном эргометре и при выполнении степ-теста для спортсменов разных видов спорта и разного уровня спортивного мастерства, а также занимающихся оздоровительной физической культурой. Приводятся примеры расчета и оценки определяемых функциональных показателей и даются практические рекомендации по проведению заключительной оценки результатов выполненного теста.

Книга рассчитана на спортивных врачей, тренеров и спортсменов для получения информации об особенностях адаптации организма к дозированным физическим нагрузкам и лучшего понимания результатов проведенного обследования.

Книгу можно заказать на сайте издательства «Спорт»: <http://www.olimppress.ru/>