

- общие противопоказания к назначению физиотерапии;
- осумкованные гнойные процессы.

Заключение

Результаты исследований свидетельствуют о том, что физиотерапия с использованием лазерной терапии в комплексном лечении детей с острым гематогенным остеомиелитом способствует положительной динамике течения воспалительного процесса, стимулирует иммунитет, ускоряет заживление ран и сокращает сроки пребывания детей в стационаре.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абаев Ю.К. Хронический рецидивирующий многоочаговый остеомиелит у детей. *Детская хирургия*. 2005; 4: 51–4.
2. Абаев Ю.К. Остеомиелит у недоношенных детей. В кн.: *Гнойно-септические заболевания у детей*. Сборник материалов 2-й Московской городской конференции. М.; 2006: 65–6.
3. Ахунзянов А.А., Гребнев П.Н., Фатыхов Ю.И. и др. Острый гематогенный остеомиелит длинных трубчатых костей у детей. В кн.: *Остеомиелит у детей*. Тезисы докладов Российского симпозиума по детской хирургии с международным участием. Ижевск; 2006: 12–4.
4. Васильева М.Ф. Комплексная физиотерапия остеомиелита у детей. В кн.: *Остеомиелит у детей*. Тезисы докладов Российского симпозиума по детской хирургии с международным участием. Ижевск; 2006: 75–6.
5. Беляев М.К., Прокopenko Ю.Д., Федоров К.К. К вопросу о выборе лечебной тактики при метафизарном остеомиелите у детей. *Детская хирургия*. 2007; 4: 27–9.
6. Коптева Е.В. Комплексная оценка течения воспалительного процесса при гематогенном остеомиелите у детей: Дис. ... канд. мед. наук. М.; 2006.
7. Губов Ю.П., Бландинский В.Ф., Гогин В.Н. Профилактика хронизации первичного гематогенного остеомиелита у детей. В кн.: *Остеомиелит у детей*. Тезисы докладов Российского симпозиума по детской хирургии с международным участием. Ижевск; 2006: 75–6.
8. Машков А.Е., Слесарев В.В., Цуман В.Г. и др. Иммунопатогенез хронизации гематогенного остеомиелита у детей. В кн.: 6-й Российский конгресс: «Современные технологии в педиатрии и детской хирургии». М.; 2007: 276.
9. Москвин С.В., Наседкин А.Н., Осин А.Я., Хан М.А. *Лазерная терапия в педиатрии*. М.–Тверь: ООО «Издательство «Триада»; 2009.

10. Частная физиотерапия: *Учебное пособие* /Под ред. Г.Н. Пономаренко. М.: ОАО «Издательство «Медицина»; 2005.

REFERENCES

1. Abaev Yu. K. Chronic recurrent multifocal osteomyelitis in children. *Detskaya khirurgiya* 2005; 4: 51–4. (in Russian)
2. Abaev Yu. K. Osteomyelitis in premature infants. In: *Purulent-septic Diseases in Children: The 2nd Moscow Local Conference Information Package* [Sbornik materialov 2 Moskovskoy gorodskoy konferentsii]. Moscow; 2006: 65–6. (in Russian)
3. Akhunzyanov A. A., Grebnev P. N., Fatykhov Yu. I. et al. Acute hematogenous osteomyelitis of long bones in children. In: *Osteomyelitis in Children: Abstracts from Reports of Russian Symposium on Pediatric Surgery with International Participation* [Osteomielit u detey. Tezisy dokladov Rossiyskogo simpoziuma po detskoj khirurgii s mezhdunarodnym uchastiem]. Izhevsk; 2006: 12–4. (in Russian)
4. Vasil'yeva M. F. Complex physiotherapy of osteomyelitis in children. In: *Osteomyelitis in Children: Abstracts from Reports of Russian Symposium on Pediatric Surgery with International Participation* [Osteomielit u detey. Tezisy dokladov Rossiyskogo simpoziuma po detskoj khirurgii s mezhdunarodnym uchastiem]. Izhevsk; 2006: 75–6. (in Russian)
5. Belyaev M.K., Prokopenko Yu. D., Fedorov K. K. About the choice of the treatment tactics in metaphyseal osteomyelitis in children. *Detskaya khirurgiya*. 2007; 4: 27–9. (in Russian)
6. Kopteva E. V. Complex Assessment of Inflammatory Process in Hematogenous Osteomyelitis in Children: Dis. Moscow; 2006. (in Russian)
7. Gubov Yu. P., Blandinskiy V. F., Gogin V. N. Prevention of primary hematogenous osteomyelitis in children chronization. In: *Osteomyelitis in Children: Abstracts from Reports of Russian Symposium on Pediatric Surgery with International Participation* [Osteomielit u detey. Tezisy dokladov Rossiyskogo simpoziuma po detskoj khirurgii s mezhdunarodnym uchastiem]. Izhevsk; 2006: 75–6. (in Russian)
8. Mashkov A. E., Slesarev V. V., Tsuman V. G. et al. Immunopathogenesis of hematogenous osteomyelitis in children chronization. In: The 6th Russian Congress “Advanced Technologies in Pediatrics and Pediatric Surgery” [6-th Rossiyskiy kongress “Sovremennyye tekhnologii v pediatrii i detskoj khirurgii”]. Moscow; 2007: 276. (in Russian)
9. Moskvina S. V., Nasedkin A. N., Osin A. Ya., Khan M. A. *Laser Therapy in Pediatrics* [Lazernaya terapiya v pediatrii]. Moscow – Tver’: LLC «Publishing House “Triada”»; 2009. (in Russian)
10. Special Physiotherapy: *Teaching Guide* [Chastnaya fizioterapiya: Uchebnoe posobie]. / Ed. G. N. Ponomarenko. Moscow: JSC «Publishing House “Medicine”»; 2005. (in Russian)

Получена 25 сентября 2015
Принята в печать 15 ноября 2015

© БУЛЯКОВА Н.В., АЗАРОВА В.С., 2016
УДК 615.849.19.03:616.74].015.4.079.6

Булякова Н.В., Азарова В.С.

СОСТОЯНИЕ ТИМУСА И КОСТНОГО МОЗГА У КРЫС ПОСЛЕ ЛАЗЕРНОГО ОБЛУЧЕНИЯ СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦ И ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ НА ОБЛУЧЕННЫХ ЖИВОТНЫХ

ФГБУН «Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова» РАН, 119071, Москва

Исследовали мышцы, тимус и костный мозг у взрослых крыс после лазерного облучения скелетных мышц, а также после физической нагрузки на облученных животных. Опыт-1: обе задние конечности крысы в области проекции икроножных мышц облучали в течение 12 сут инфракрасным лазером (5 сеансов) и He-Ne-лазером (5 сеансов). Каждое животное получило дозу 11,70 – 12,60 Дж/см². Опыт-2: крыс, облученных лазером в таких же дозе и режиме, подвергали физической нагрузке в виде плавания в течение 30 мин. Гистологический, морфометрический, цитологический и цитогенетический анализ показал, что в обеих сериях масса мышц не изменялась. Однако функция тимуса и костного мозга снижалась, а в сочетании с последующей физической нагрузкой подавляющий эффект усиливался. В обоих органах иммунной системы впервые с помощью ана-телофазного метода отмечено увеличение количества клеток с aberrantными митозами. Вывод: для снижения возможных неблагоприятных последствий лазеротерапии скелетных мышц перед физической нагрузкой/тренировкой необходимо определить оптимальную дозу лазерного облучения и разработать щадящий режим лазерного воздействия, что в свою очередь может определяться исходным состоянием организма.

Ключевые слова: *мышцы; тимус; костный мозг; ИК- и He-Ne-лазер; физическая нагрузка; цитогенетический эффект.*

Для цитирования: Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. 2016; 15 (1): 37-42.
DOI: 10.18821/1681-3456-2016-15-1-37-42

Для корреспонденции: Булякова Нелли Васильевна; bulyakova38@mail.ru

Bulyakova N.V., Azarova V.S.

THE STATE OF THE THYMUS AND BONE MARROW IN THE RATS FOLLOWING LASER IRRADIATION OF THE SKELETAL MUSCLES AND PHYSICAL LOAD ON THE IRRADIATED ANIMALS

Federal state budgetary institution of science "A.N. Severtsov Institute of Problems of Ecology and Evolution", Russian Academy of Sciences, 119071, Moscow, Russia

We have evaluated the state of the skeletal muscles, thymus, and bone marrow before and after laser irradiation of the rats and following the physical load on the irradiated animals. In the first experiment, both hind limbs of each rat in the region of projection of gastrocnemius muscles were subjected to 5 sessions of infrared laser irradiation at a dose of 11.70-12/60 J/sq.cm during 12 days with the use of a He-Ne laser. In the second experiment, the similarly irradiated rats were subjected to physical load in the form of swimming during 30 minutes. The histological, morphometric, cytological, and cytogenetic analysis have demonstrated that the muscle mass of the animals involved in the two experiments did not change. At the same time, laser irradiation caused the impairment of the function of the thymus and bone marrow. This effect was even more pronounced when the animals underwent the combined influence of laser irradiation and physical load. The ana-telophase assay revealed a rise in the number of cells with aberrant mitoses in the two organs of the immune system. It is concluded that in order to reduce the possible unfavourable consequences of laser therapy for the skeletal muscles preceding the physical load/training, it is necessary to choose the optimal dose of radiation and develop a sparing regime of laser irradiation taking into consideration the initial state of the organism.

Key words: muscles; thymus; bone marrow; IR- and He-Ne laser; physical load; cytogenetic effect.

For citation: Fizioterapiya, bal'neologiya i reabilitatsiya. 2016; 15 (1): 37-42. (In Russ.). DOI: 10.18821/1681-3456-2016-15-1-37-42

For correspondence: Bulyakova Nelli; bulyakova38@mail.ru

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.
Funding. The study had no sponsorship.

Received 12 October 2015
Accepted 15 November 2015

Введение

В настоящее время для устранения структурно-функциональных нарушений в скелетных мышцах широко применяются лазеры низкой интенсивности, в том числе в спортивной медицине. Воздействие лазерного излучения на мышцы спортсменов до и после тяжелых физических нагрузок ускоряет процессы реабилитации в скелетных мышцах, снижает болевые ощущения, стимулирует микроциркуляцию и ангиогенез, улучшает метаболизм мышечной ткани, снижает утомляемость скелетных мышц, а также повышает их выносливость к физическим нагрузкам [1–4]. По мнению некоторых исследователей, сочетанное воздействие лазерного излучения различных длин волны и дозы на скелетные мышцы может значительно повышать их адаптацию [5].

Вместе с тем установлено, что 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 [6–9]. Как известно, 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, в частности тимус и костный мозг. Так, некоторые исследователи отмечали структурные нарушения в тимусе, селезенке и лимфоузлах крысы после продолжительного воздействия лучей He-Ne-лазера на наружную поверхность бедра [10], ингибирующее воздействие на В-систему иммунитета, подавление активности антителообразования у мышей при облучении крови путем внутривенного введения моноволоконного оптического световода [11], снижение выработки тимусных гормонов [12, 13]. Имеются данные, свидетельствующие об ингибирующем воздействии лазерного излучения на численность мультипотентных мезенхимальных стволовых клеток костного мозга, о снижении эритропоэза и усилении внутрисосудистого гемолиза эритроцитов [14, 15]. Некоторые исследователи отмечали в костном мозге крыс появление полиплоидных клеток, aberrаций хроматидного типа и увеличение ретикулоцитов с микроядрами уже после 3–5 сеансов лазерного об-

лучения бедренной косточки He-Ne-лазерами или инфракрасными (ИК) лазерами [16, 17].

Целью данной работы было оценить реакцию иммунной системы крыс (тимуса и костного мозга) на сочетанное воздействие излучения ИК- и He-Ne-лазеров в течение 2 нед на область проекции икроножных мышц и у облученных в таком же режиме животных после физической нагрузки.

Материал и методы

Эксперимент проведен на 15 беспородных крысах-самцах в возрасте 2 мес. У 10 крыс на обеих задних конечностях сбывали шерсть в области проекции икроножных мышц и в течение 2 нед подвергали 10-кратному лазерному воздействию, чередуя сеансы импульсного ИК- и He-Ne-лазера. На следующий день после воздействия лазерного излучения у 5 крыс взвешивали икроножные мышцы, фиксировали тимус и костный мозг (опыт-1). Другим 5 облученным животным давали физическую нагрузку (плавание в течение 30 мин при комнатной температуре) (опыт-2). В тот же день в течение первых 1 – 1,5 ч после плавания также взвешивали икроножные мышцы, фиксировали тимус и костный мозг крыс. Контроль: необлученные крысы того же возраста до начала эксперимента.

Условия локального воздействия импульсным ИК-лазером (5 сеансов по 3 мин): аппарат ОРИОН-8 (ВНПП «ЖИВА»), длина волны 890 нм, частота следования импульсов 1500 Гц, выходная мощность лазерного излучения 9 Вт, мощность в импульсе 6 мВт, площадь облучения 1,5 см², плотность потока мощности 4 мВт/см², доза за время одной 3-минутной процедуры 0,72 Дж/см², за 5 сеансов – 3,6 Дж/см² на каждую конечность, в сканирующем режиме. Условия локального воздействия лазерным излучением в красном диапазоне (5 сеансов по 3 мин): He-Ne-лазер, установка ОКГ-12 (Россия), длина волны 632,8 нм, лазерный луч был расфокусирован с помощью линзы, диаметр поля облучения 2–2,5 см, плотность мощности составляла 2,5–3 мВт/см², доза за время одной 3-минутной процедуры 0,45–0,54 Дж/см², за 5 сеансов 2,25–2,70 Дж/см² на каждую конечность. В целом каждое животное после облучения обеих задних конечностей двумя видами лазерного излучения перед физической нагрузкой

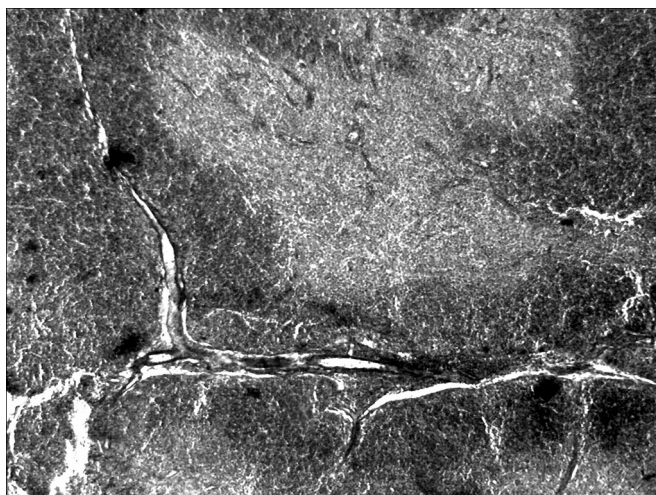


Рис. 1. Тимус крысы через 1 сут после 10 сеансов облучения обеих икроножных мышц ИК- и He-Ne-лазерами (опыт-1). Уменьшение коркового слоя и расширение мозгового слоя. Увеличение количества мелких сосудов и капилляров в сектах и мозговом слое.

Здесь и на рис. 2 окраска железным гематоксилином по Рего и Маллори. Ув. 100.

(опыт-1) и после плавания (опыт-2) получило дозу 11,70–12,60 Дж/см².

О влиянии исследуемых факторов на состояние икроножных мышц судили по изменению их относительной массы (% от массы тела животного). Функциональное состояние органов иммунной системы животных (тимус и костный мозг) проводили с помощью гистологических, цитологических, цитогенетических и морфометрических методов. Тимусы и большеберцовую кость голени фиксировали в смеси Карнуа. При исследовании тимусов определяли их относительную массу (в % от массы тела животного). Готовили гистологические срезы толщиной 7–8 мкм, окрашивали их гематоксилином по Рего и по Маллори. Методом полей с помощью тестовой окулярной сетки и бинокулярной лупы МБС-1 при 25-кратном увеличении определяли количество коркового и мозгового вещества в тимусе. Для этого в 5 гистологических срезах подсчитывали количество точек в корковом и мозговом слое и выражали в % к общему количеству точек, подсчитанных по всему срезу тимуса. С целью оценки митотического индекса (МИ, в %) тимоцитов в корковом и мозговом слое тимуса у каждого животного было подсчитано по 6000–7000 и 2000–2500 клеток соответственно. Определяли также количество лимфоидных клеток, подвергавшихся пикнозу (в %).

Кроме того, в тимусе и костном мозге ана-телофазным методом определяли количество клеток с aberrantными митозами. В тимусе просматривали несколько гистологических срезов. Для анализа костного мозга из большеберцовых косточек извлекали фрагменты костного мозга и промывали в течение 1–2 мин в дистиллированной воде, переносили в краску ацетокармин и во влажной камере держали в холодильнике в течение 3–5 сут. После этого приготавливали временные препараты: небольшой кусочек ткани помещали на предметное стекло в каплю хлоралгидрата, покрывали покровным стеклом и слегка надавливали. От каждого животного анализировали по несколько кусочков костного мозга. При определении хромосомных aberrаций (ХА) учитывали не очень поздние и поздние анафазы и ранние телофазы [18]. Общее количество подсчитанных анафаз-телофаз составляло 180–200 клеток. ХА выражали в % от общего количества ана-телофаз. Для определения клеток с ХА учитывали митозы с мостами, фрагментами, смешанной патологией (мосты и

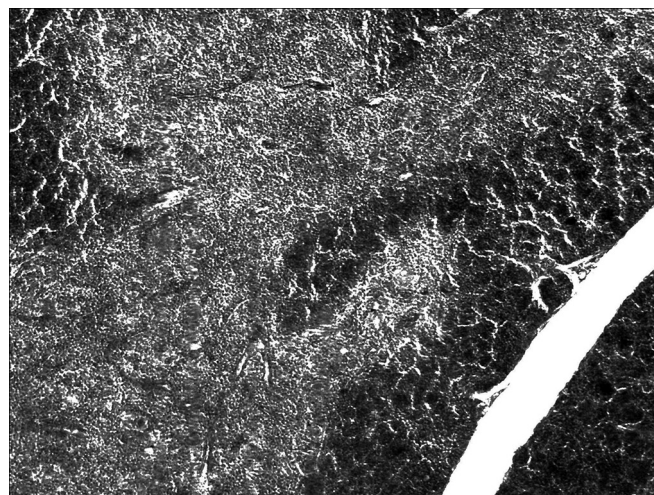


Рис. 2. Тимус крысы после 10 сеансов облучения обеих икроножных мышц ИК- и He-Ne-лазерами и через 1–1,5 ч после плавания (опыт-2). Увеличение количества мозгового вещества, инволюция слоев, рыхлое расположение тимоцитов в корковом слое.

фрагменты), а также мосты со значительно отстающими и слипшимися при расхождении хромосомами.

Количественные данные обрабатывали статистически, и различия средних величин оценивали по критерию Стьюдента. Исследования выполнены с соблюдением Правил проведения работ с использованием экспериментальных животных». Животных выводили из опыта инъекцией больших доз нембутала.

Результаты и обсуждение

Масса икроножных мышц в контроле, а также на следующие сутки после завершения 10-кратного облучения мышц ИК- и He-Ne-лазерами в течение 2 нед (опыт-1) и в течение первых 1,5–2 ч после 30-минутного плавания облученных животных (опыт-2) практически не изменялась и составляла $0,54 \pm 0,01$, $0,54 \pm 0,01$ и $0,55 \pm 0,01\%$ соответственно. Очевидно, это можно объяснить сравнительно коротким периодом тестирования после воздействия изучаемых факторов.

Однако при облучении обеих задних конечностей крысы ИК- и He-Ne-лазерами, которые имеют различную глубину проникновения в ткани, наблюдалась активная реакция органов иммунной системы. Изменения в тимусе и костном мозге происходили уже на ранних сроках после лазерного облучения и плавания.

В тимусе контрольных крыс различались дольки с четкой границей между корковым и мозговым слоем. Корковое вещество занимало большую площадь по сравнению с мозговым. В целом тимоциты в корковом слое лежали плотно. В опыте-1 после завершения 10 сеансов лазерного облучения обеих икроножных мышц у крыс в дольках тимуса сохранялась четкость границ между корковым и мозговым веществом (рис. 1). Заметно снижалось количество коркового вещества и увеличивалось количество мозгового вещества. В некоторых участках тимуса отмечались более рыхлое расположение тимоцитов, частичное разрушение структуры долек, пустоты. Увеличивалось число капилляров и мелких сосудов, особенно в мозговом слое. Встречались единичные дольки, замещенные жировой тканью. Количественные данные, представленные в таблице, указывали на тенденцию к увеличению массы тимуса по сравнению с контролем. Значимо снижалось количество коркового вещества ($84 \pm 1\%$ в контроле и $76 \pm 1\%$ в опыте; $p < 0,01$). В корковом слое на фоне достоверного уменьшения его ширины и тенденции к сниже-

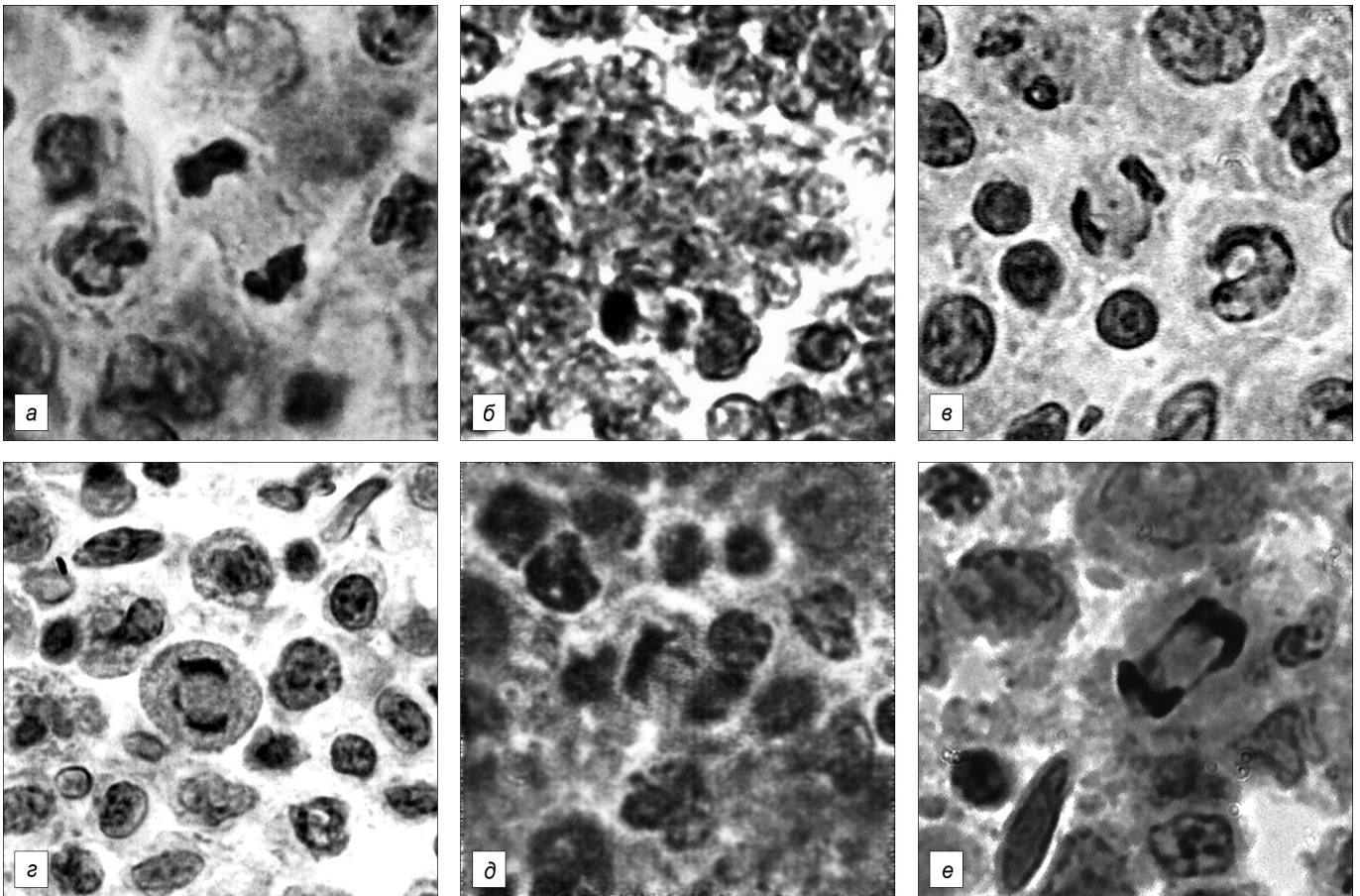


Рис. 3. Варианты ХА, встречающихся в тимусе и костном мозге: нормальная анафаза (а); анафаза с мостом и фрагментом (б); анафаза с фрагментом и отставшей хромосомой (в); анафаза с отставшей хромосомой (г); анафаза со значительно отстающей хромосомой (д); анафаза с 2 мостами (е).

Окраска ацетокармином. Ув. 1000.

нию митотической активности тимоцитов отмечалось достоверное увеличение гибели лимфоцитов ($0,43 \pm 0,09\%$ в контроле и $0,92 \pm 0,18\%$ в опыте; $p < 0,05$). В мозговом слое достоверно увеличивалось только количество лимфоцитов с пикнозом ядер. В опыте-2 физическая нагрузка на облученных лазером крыс также вызывала заметные деструктивные изменения в тимусе. В тимусных дольках уменьшалась ширина коркового слоя за счет увеличения мозгового слоя. Во многих дольках не определялась четкость границ между корковым и мозговым веществом, наблюдалась инволюция слоев (рис. 2). В корковом веществе встречались участки с более рыхлым расположением тимоцитов, пустоты, особенно в апикальной области тимуса. Чаще обнаруживали дольки, замещенные жировой тканью. Данные, представленные в таблице, показывают, что по сравнению с контролем масса тимуса также имела тенденцию к увеличению. При этом в корковом слое уменьшались его ширина и МИ тимоцитов, а в обоих слоях тимуса увеличивалось количество лимфоидных клеток, подвергавшихся пикнозу ($1,08 \pm 0,16\%$ в корковом слое и $0,74 \pm 0,22\%$ в мозговом слое), что было достоверно по сравнению с соответствующими показателями в контроле ($p < 0,02 - 0,01$). В тимусе также отмечалось усиление кровоснабжения, увеличение количества мелких кровеносных сосудов и образование более разветвленной сети капилляров в мозговом слое.

Воздействие ИК- и He-Ne-лазеров в данной дозе и режиме облучения на икроножные мышцы крыс (опыт-1), а также физическая нагрузка на облученных животных (опыт-2) вызывали некоторые цитогенетические измене-

ния в клетках тимуса и костного мозга (рис. 3). В клетках тимуса у контрольных крыс ХА составляли $12 \pm 3\%$, а процентное соотношение нормальных анафаз-телофаз, анафаз-телофаз с мостами и отставшими хромосомами, фрагментами, а также смешанной патологии – 88, 7, 5 и 0 соответственно. У подопытных крыс процент ХА был практически одинаковым, но достоверно выше, чем в контрольной группе животных. Так, в опыте-1 ХА наблюдались в $25 \pm 2\%$ случаев ($p < 0,01$), а соотношение нормальных и aberrантных ана-телофаз составляло 75, 12, 12 и 1%. В опыте-2 количество ХА равнялись $24 \pm 2\%$ ($p < 0,01$), а соотношение нормальных митозов и митозов с соответствующими нарушениями – 76, 12, 10 и 2%.

В клетках костного мозга наблюдалась такая же закономерность. В контроле ХА определялись в $16 \pm 2\%$ ана-телофаз, а соотношение нормальных и aberrантных митозов – 84, 11, 5 и 0%. В опыте-1 количество ХА равнялось $30 \pm 2\%$, что было достоверно выше, чем в контроле ($p < 0,01$). При этом соотношение нормальных и aberrантных митозов было 70, 18, 10 и 2%. В опыте-2 количество митозов с ХА также было достоверно выше, чем в контроле, и равнялось $28 \pm 3\%$ ($p < 0,01$), а соотношение нормальных митозов и митозов с соответствующими нарушениями – 72, 17, 9 и 2%. У контрольных животных в тимусе и костном мозге отмечались в основном aberrантные клетки с одним мостом или слипшимися хромосомами. У подопытных крыс преобладали митозы с 2–3 мостами, значительным отставанием хромосом, а также увеличивалось число ана-телофаз с мостами и фрагментами. Согласно современным представлениям, формиро-

Морфометрические и цитологические показатели состояния тимуса взрослых крыс

Исследуемые параметры	Контроль	Опыт-1 (5 сеансов ИК + 5 сеансов He-Ne-лазера)	Опыт-2 (5 сеансов ИК + 5 сеансов He-Ne-лазера + плавание)
Масса тимуса, % к массе тела)	0,09 ± 0,010	0,12 ± 0,010 (<i>p</i> < 0,1)*	0,11 ± 0,006
Ширина коркового слоя, %	84 ± 1	76 ± 1 (<i>p</i> < 0,01)*	77 ± 2 (<i>p</i> < 0,01)*
МИ тимоцитов в корковом слое, %	7,08 ± 0,23	6,05 ± 0,46	4,77 ± 0,22 (<i>p</i> < 0,01)* (<i>p</i> < 0,05)**
Пикноз лимфоцитов в корковом слое, %	0,43 ± 0,09	0,92 ± 0,18 (<i>p</i> < 0,05)*	1,08 ± 0,16 (<i>p</i> < 0,01)*
Ширина мозгового слоя, %	16 ± 1	24 ± 1 (<i>p</i> < 0,01)*	23 ± 2 (<i>p</i> < 0,01)*
МИ тимоцитов в мозговом слое, %	2,78 ± 0,65	2,88 ± 0,20	3,66 ± 0,13 (<i>p</i> < 0,02)**
Пикноз лимфоцитов в мозговом слое, %	0,26 ± 0,03	0,40 ± 0,02 (<i>p</i> < 0,01)*	0,74 ± 0,22 (<i>p</i> < 0,02)* (<i>p</i> < 0,1)**

Примечание. * – достоверные различия по сравнению с контролем; ** – достоверные различия по сравнению с опытом-1.

вание мостов в анафазе митоза чаще всего обусловлено нарушениями при расхождении хроматид. Мосты свидетельствуют о происшедшей делеции – выпадении участка с центромерой, а отстающие хромосомы являются результатом их повреждений в области кинетохора [19].

Данные гистологического, морфометрического, цитологического и цитогенетического анализа тимуса и костного мозга показали что облучение обеих задних конечностей крыс в области проекции икроножных мышц ИК- и He-Ne-лазерами в изученной дозе и режиме воздействия (11,70 – 12,60 Дж/см², 10 сеансов в течение 2 нед) снижало их функциональную активность, а в сочетании с последующей физической нагрузкой подавляющий эффект усиливался. Наши наблюдения снижения функции тимуса после лазерного воздействия подтверждают результаты, полученные нами ранее при оценке реакции тимуса у предварительно облученных He-Ne-лазером крыс на имплантацию аллогенной мышечной ткани [20], и согласуются с наблюдениями других исследователей [10–13]. Увеличение количества ана-телофаз в клетках костного мозга после лазерного воздействия согласуется с данными, полученными другими исследователями при метафазном анализе цитогенетических нарушений в костном мозге, облученном He-Ne-лазером [16].

Возможные цитогенетические нарушения в клетках тимуса и костного мозга в условиях воздействия ИК- и He-Ne-лазеров на икроножные мышцы и при физической нагрузке на облученных в таком же режиме животных показаны нами впервые. Подобных сообщений в доступной нам литературе мы не встречали. Увеличение в обеих сериях опытов количества лимфоцитов с пикнотическими ядрами как в корковом, так и в мозговом слое тимуса может быть обусловлено повышенным количеством аберрантных митозов. Ослабление функции клеток костного мозга, усиление цитологических нарушений после лазерного облучения и физической нагрузки могут влиять на физиологическую регенерацию скелетной мышечной ткани, снижая активность восстановительных/адаптивных процессов в мышцах, в том числе у спортсменов. Как было недавно установлено, стволовые клетки костного моз-

га принимают участие в этом процессе, непосредственно сливаясь с мышечным волокном [21].

При сравнении данных в опыте-1 и опыте-2 следует отметить, что при физической нагрузке на облученных крыс (опыт-2) пролиферативная активность тимоцитов в корковом слое была достоверно ниже по сравнению с соответствующим показателем у крыс в опыте-1. МИ тимоцитов в мозговом слое был высоким, но число лимфоидных клеток с пикнозом ядер имело тенденцию к увеличению. Поскольку от активности тимоцитов зависит восстановление тимуса [22], можно полагать, что сразу после физической нагрузки тимус у облученных лазером животных становится более ослабленным.

Заключение

Воздействие ИК- и He-Ne-лазеров в изученных дозе и режиме облучения скелетных мышц и последующая физическая нагрузка на облученный лазером организм могут снижать активность иммунной системы. В тимусе и костном мозге с помощью ана-телофазного метода впервые описан цитогенетический эффект лазерных лучей. На основании полученных результатов мы приходим к выводу о том, что в практике спортивной медицины для снижения возможных неблагоприятных последствий лазеротерапии скелетных мышц перед физической нагрузкой/тренировкой необходимо определить оптимальную дозу лазерного облучения и разработать щадящий режим лазерного воздействия, что в свою очередь может определяться исходным состоянием организма.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Евстигнеев А.Р., Аршанский М.В. Опыт использования лазерного излучения в повышении результативности спортсменов. В кн: Материалы Международной научно-практической конференции «Современные средства повышения физической работоспособности спортсменов» / Под ред. Г.Н. Греца, Т.М. Брук. Смоленск: ООО «Принт-Экспресс», СГАФКСТ; 2011: 10–4.
2. Leal Junior E.C., Lopes-Martins R.A., Frigo L., De Marchi T., Rossi R.P., de Godoi V. et al. 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: 524–32.
3. Ferraresi C., de Brito Oliveira T., de Oliveira Zafalon L., de Menezes Reiff R.B., Baldissera V., de Andrade Perez S.E. et al. Effects of low level laser therapy (808 nm) on physical strength training in humans. Lasers Med. Sci. 2011; 26 (3): 349 – 58.
4. de Almeida P., Lopes-Martins R.A., De Marchi T., Tomazoni S.S., Albertini R., Correa J.C. et al. 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.
5. Albuquerque-Pontes G.M., Vieira R.P., Tomazoni S.S., Caires C.O., Nemeth V., Vanin A.A. et al. 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.
6. Nieman D.C. Exercise effects on systemic immunity. Immunol. Cell Biol. 2000; 78: 49–501.
7. MacKinnon L. T. Overtraining effects on immunity and performance in athletes. Immunol. Cell Biol. 2000; 78: 502–9.
8. Таймазов В.А., Цыган В.Н., Мокеева Е.Г. Спорт и иммунитет. СПб: Олимп. СПб.; 2003.
9. Стернин Ю.И., Сизякина Л.П. Особенности состояния иммунной системы при высокой физической активности и применение системной энзимотерапии. Медицинский академический журнал. 2014; 14 (1): 87–92.
10. Харин Г.М. Изменение цитоархитектоники лимфоидных органов при воздействии на организм лазерного излучения. В кн.: Тезисы Международного симпозиума по применению лазеров в хирургии и медицине. М.: ВИНТИ; 1989; ч. 1: 567–9.

11. Федорчук А.Г., Сквивка Л.М. Влияние лазерного облучения крови на некоторые показатели иммунитета у мышей. В кн.: Тезисы Всесоюзной конференции «Действие низкоэнергетического лазерного излучения на кровь». Киев: Наукова думка; 1989: 48–9.
12. Кончугова Т.В., Першин С.Б., Миненков А.А. Иммунная супрессия при локальных воздействиях низкоэнергетическим лазерным излучением инфракрасного диапазона. Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 1992; 3: 57–9.
13. Глушкова О.В., Новоселова Е.Г., Черепков Д.А., Новоселова Т.В., Хренов М.О., Лунин С.М. Эффекты облучения разных участков кожи мышей-опухолонесителей низкоинтенсивным лазерным светом. Биофизика. 2006; 51 (1): 123–5.
14. Чайлахян Р.К., Герасимов Ю.В., Свиридов А.П., Кондюрин А.В., Тамбиев А.Х., Баграташвили В.Н. Действие ИК-лазерного излучения на мультипотентные мезенхимальные стромальные клетки костного мозга крыс *in vivo*. Российский иммунологический журнал. 2009; 3 (3-4): 333–7.
15. Головнева Е.С., Шакиров Н.Н., Кравченко Т.Г., Омеляненко А.Г., Попова И.А. Влияние многократного инфракрасного лазерного облучения зон локализации красного костного мозга на показатели эритроцитарного звена периферической крови. Лазерная медицина. 2013; 4: 33–5.
16. Барилляк И.Р., Лопушан И.В. Цитогенетические последствия гелий-неонового лазерного облучения в клетках костного мозга крыс. Патологическая физиология и экспериментальная терапия. 1981; 3: 50–3.
17. Карипова М.О., Челпанова Е.В., Володина З.С., Бердышев Г.Д. Опосредованное действие лазерных излучений на систему крови млекопитающих. В кн.: Тезисы Всесоюзной конференции «Действие низкоэнергетического лазерного излучения на кровь» Киев: Наукова думка; 1989: 19–22.
18. Прохорова И.М., Фомичева П.Н., Ковалева М.И. Оценка митотоксического и мутагенного действия факторов окружающей среды: Методические указания. Ярославль: ЯрГУ; 2003: 23–6.
19. Калаев В.Н., Карпова С.С. Цитогенетический мониторинг: методы оценки загрязнения окружающей среды и состояния генетического аппарата организма. Воронеж; 2004.
20. Булякова Н.В., Азарова В.С. Морфофункциональные особенности тимуса и мышечных регенератов при воздействии лазерного излучения и аллопластики мышечной ткани взрослого животного в область мышечной травмы. Известия РАН. Серия биологическая. 2009; 1: 18–26.
21. Stromberg A., Jansson M., Fischer H., Rullman E., Hogglund H., Gustafsson T. Bone marrow derived cells in adult skeletal muscle tissue in humans. *Skelet. Muscle*. 2013; 3 (1): 12–5.
22. Бабаева А.Г. Еще раз о морфогенетической или строительной функции лимфоцитов. Вестник Российской академии естественных наук. 2010; 4: 70–4.
- low-level laser therapy in skeletal muscle fatigue in humans: what is better? *Lasers Med. Sci.* 2012; 27 (2): 453–8.
5. Albuquerque-Pontes G.M., Vieira R.P., Tomazoni S.S., Caires C.O., Nemeth V., Vanin A.A. et al. 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.
6. Nieman D. C. Exercise effects on systemic immunity. *Immunol. Cell Biol.* 2000; 78: 496–501.
7. MacKinnon L. T. Overtraining effects on immunity and performance in athletes. *Immunol. Cell Biol.* 2000; 78: 502–9.
8. Taymazov V. A., Tsygan V. N., Mokeeva E. G. *Sport and Immunity. [Sport i immunitet]*. St. Petersburg: Olimp. SPb.; 2003. (in Russian)
9. Sternin Yu. I., Sizyakina L. P. Features of the immune system at high physical activity and the use of systemic enzyme therapy. *Meditsinskiy akademicheskii zhurnal*. 2014; 14 (1): 87–92. (in Russian)
10. Kharin G.M. Change cytoarchitectonics of lymphoid organs under the influence of laser irradiation on the body. In: ... [Tezisy Mezhdunarodnogo simpoziuma po primeneniyu lazerov v khirurgii i meditsine]. Moscow: VINITI; 1989; Ch. 1: 567–9. (in Russian)
11. Fedorchuk A.G., Skivka L.M. Influence of laser irradiation of blood on some indicators of immunity in mice. In: ... [Tezisy Vsesoyuznoy konferentsii «Deystvie nizkoenergeticheskogo lazernogo izlucheniya na krov'»]. Kiev: Naukova dumka; 1989: 48–9. (in Russian)
12. Konchugova T.V., Pershin S.B., Minenkov A.A. Immune suppression after local low-energy infrared laser irradiation. *Voprosy kurortologii, fizioterapii i lechebnoy fizicheskoy kul'tury*. 1992; 3: 57–9. (in Russian)
13. Glushkova O.V., Novoselova E.G., Cherepkov D.A., Novoselova T.V., Khrenov M.O., Lunin S.M. The effects of exposure of different parts of the skin in tumor mice with low-intensity laser light. *Biofizika*. 2006; 51 (1): 123–5. (in Russian)
14. Chaylakhyan R.K., Gerasimov Yu.V., Sviridov A.P., Kondyurin A.V., Tambiev A.Kh., Bagratashvili V.N. The action of IR laser irradiation at multipotent mesenchymal stromal cells of rat bone marrow *in vivo*. *Rossiyskiy immunologicheskii zhurnal*. 2009; 3 (3-4): 333–7. (in Russian)
15. Golovneva E.S., Shakirov N.N., Kravchenko T.G., Omel'yanenko A.G., Popova I.A. The effect of multiple infrared laser irradiation of localization zones of red bone marrow on erythrocyte level indicators of peripheral blood. *Lazernaya meditsina*. 2013; 4: 33–5. (in Russian)
16. Barilyak I.R., Lopushan I.V. Cytogenetic effects of helium-neon laser irradiation in bone marrow cells of rats. *Patologicheskaya fiziologiya i eksperimental'naya terapiya*. 1981; 3: 50–3. (in Russian)
17. Karipova M.O., Chelpanova E.V., Volodina Z.S., Berdyshch G.D. Indirect effects of laser irradiation on the blood system of mammals. In: Abstracts of All-Union Conference "Effect of Low-energy Laser Irradiation on Blood" [Tezisy Vsesoyuznoy konferentsii «Deystvie nizkoenergeticheskogo lazernogo izlucheniya na krov'»]. Kiev: Naukova dumka; 1989: 19–22. (in Russian)
18. Prokhorova I.M., Fomicheva P.N., Kovaleva M.I. Evaluation of Mitotoksicheskoy and Mutagenic Effects of Environmental Factors: Methodical instructions [Ocenka mitotoksicheskogo i mutagenno deystviya faktorov okruzhayushchey sredy: Metodicheskie ukazaniya]. Yaroslavl: YarGU; 2003: 23–6. (in Russian)
19. Kalaev V.N., Karpova S.S. Cytogenetic Monitoring: Methods for Assessing Environmental Pollution and the State of the Genetic System of the Body [Tsitogeneticheskii monitoring: metody otsenki zagryazneniya okruzhayushchey sredy i sostoyaniya geneticheskogo apparata organizma]. Voronezh; 2004. (in Russian)
20. Bulyakova N.V., Azarova V.S. Morphofunctional characteristics of the thymus and muscle regenerates under laser irradiation and alloplasty of adult animal muscle tissue in the area of trauma. *Izvestiya RAN. Seriya biologicheskaya*. 2009; 1: 18–26. (in Russian)
21. Stromberg A., Jansson M., Fischer H., Rullman E., Hogglund H., Gustafsson T. Bone marrow derived cells in adult skeletal muscle tissue in humans. *Skelet. Muscle*. 2013; 3 (1): 12–5.
22. Babaeva A.G. Once again about morphogenetic or the construction lymphocyte function. *Vestnik Rossiyskoy akademii estestvennykh nauk*. 2010; 4: 70 – 4. (in Russian)

REFERENCES

1. Evstigneev A.R., Arshanskiy M.V. Experience in the use laser irradiation in increasing the effectiveness of the athletes. In: International Scientific-practical Conference "Modern Means of Improving the Physical Performance of Athletes". [Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Sovremennye sredstva povysheniya fizicheskoy rabotosposobnosti sportsmenov»] / Eds G.N. Grets, T.M. Bruk). Smolensk: OOO «Print-Ekspres», SGAFKST; 2011: 10–4. (in Russian)
2. Leal Junior E.C., Lopes-Martins R.A., Frigo L., De Marchi T., Rossi R.P., de Godoi V. et al. 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: 524–32.
3. Ferraresi C., de Brito Oliveira T., de Oliveira Zafalon L., de Menezes Reiff R.B., Baldissera V., de Andrade Perez S.E. et al. Effects of low level laser therapy (808 nm) on physical strength training in humans. *Lasers Med. Sci.* 2011; 26 (3): 349–58.
4. de Almeida P., Lopes-Martins R.A., De Marchi T., Tomazoni S.S., Albertini R., Correa J.C. et al. Red (660 nm) and infrared (830 nm)