

6. Цепов Л.М., Орехова Л.Ю., Николаев А.И., Михеева Е.А. Некоторые аспекты этиологии и патогенеза хронических воспалительных генерализованных заболеваний пародонта (обзор литературы). Часть 1. *Пародонтология*. 2010; (2): 2–6.
7. Цепов Л.М., Михеева Е.А., Голева Н.А., Нестерова М.М. Хронический генерализованный пародонтит: ремарки к современным представлениям. *Пародонтология*. 2010; (1): 3–7.
8. Янушевич О.О., Гринин В.М., Почтаренко В.А., Рунова Г.С. *Заболевания пародонта. Современный взгляд на клинико-диагностические и лечебные аспекты*. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2010: 9–20.
3. Belousov N.N. Features of planning of complex treatment of chronic generalized periodontitis. In: *Proceedings of the XV International Conference of maxillofacial surgeons and dentists «New technologies in dentistry» [Materialy XV Mezhdunarodnoy konferentsii chelyustno-litseyevykh khirurgov i stomatologov «Novye tekhnologii v stomatologii»]*. Saint-Petersburg; 2010: 33–4. (in Russian)
4. Ternovoy S.K., Vasil'ev A.Yu., Arzhancev A.P. *Radiation Diagnostics in Dentistry: National Guidance [Luchevaya diagnostika v stomatologii: natsional'noe rukovodstvo]*. Moscow: GEOTAR-Media; 2010. (in Russian)
5. Khaibullina R.R., Gilmutdinova L.T., Gerasimova L.P. Rehabilitation of patients with chronic generalized periodontitis. *Vestnik vosstanovitel'noy meditsiny*. 2016; (5): 53–7. (in Russian)
6. Tsepov L.M., Orekhova L.Yu., Nikolaev A.I., Mikheeva E.A. Some aspects of the etiology and pathogenesis of chronic inflammatory generalized periodontal diseases (Review of literature). Part 1. *Parodontologiya*. 2010; (2): 2–6. (in Russian)
7. Tsepov L.M., Mikheeva E.A., Goleva N.A., Nesterova M.M. Chronic periodontitis: remarks to the modern ideas. *Parodontologiya*. 2010; (1): 3–7. (in Russian)
8. Yanushevich O.O., Grinin V.M., Pochtarenko V.A., Runova G.S. *Periodontal Disease. The Modern View of Clinical, Diagnostic and Therapeutic Aspects [Zabolevaniya parodonta. Sovremennyy vzglyad na kliniko-diagnosticheskie i lechebnye aspekty]*. Moscow: GEOTAR-Media; 2010: 9–20. (in Russian)

REFERENCES

1. Gerasimova L.P., Khaybullina R.R., Gil'mutdinova L.T. Physical therapy technology in the rehabilitation of patients with chronic generalized periodontitis and bruxism. *Meditinskiy vestnik Bashkortostana*. 2015; (4): 56–8. (in Russian)
2. Bobrovnikskiy I.P., Kudryavtsev O.N., Razumov A.N., Mikhaylov V.I., Suprun S.V., Odinets A.G. et al. *Using Gel «Lamifaren» as a Dietary and Preventive Nutrition in Somatic Diseases, Plumbum Intoxication, Immunodeficiency [Ispol'zovanie gelya «Lamifaren» v kachestve dieticheskogo i lechebno-profilakticheskogo pitaniya pri somaticheskikh zabolevaniyakh intoksikatsii svintsom, immunodefitsitnykh sostoyaniyakh]*. Moscow: Meditsina dlya vsekh; 2011. (in Russian)

Поступила 09.12.16

Принята в печать 13.01.17

© БУЛЯКОВА Н.В., АЗАРОВА В.С., 2017

УДК 615.849.19.03:616.74].015.4.079.6

Булякова Н.В., Азарова В.С.

СОСТОЯНИЕ КОСТНОГО МОЗГА КРЫС ПОСЛЕ КОМБИНИРОВАННОГО ЛАЗЕРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ В ИНФРАКРАСНОМ И КРАСНОМ ДИАПАЗОНАХ СВЕТОВОГО СПЕКТРА

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

Исследован эффект комбинированного поочередного воздействия лазеров, излучающих в инфракрасном и красном диапазонах светового спектра, на клетки костного мозга в условиях облучения обеих голени. Длительность процедуры составляла 1 или 3 мин. Ана-телофазным методом показано, что при ежедневном чередовании сеансов лазерного облучения разной интенсивности и глубины проникновения в биологические ткани в делении клеток костного мозга происходят некоторые нарушения. Эффект зависел от интенсивности лазерного облучения. По-видимому, в данном режиме комбинированного поочередного воздействия импульсным инфракрасным лазером (890 нм, 1500 Гц, режим контактный лабильный) и непрерывным красным лазером (632,8 нм, режим облучения дистанционный стабильный) на каждую заднюю конечность животного по 10 процедур в течение 2 нед были превышены терапевтический коридор лазеротерапии и допустимая энергетическая облученность.

Ключевые слова: взрослые крысы; костный мозг; импульсный инфракрасный лазер; непрерывный красный лазер; нарушения митоза; ана-телофазный метод.

Для цитирования: Булякова Н.В., Азарова В.С. Состояние костного мозга крыс после комбинированного лазерного воздействия в инфракрасном и красном диапазонах светового спектра. *Физиотерапия, бальнеология и реабилитация*. 2017; 16(3): 144–148.

DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/1681-3456-2017-16-3-144-148>

Для корреспонденции: Булякова Нелли Васильевна, канд. биол. наук, ст. науч. сотр., лаборатория морфологических адаптаций позвоночных, ФГБУН «Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова» РАН, 119071, г. Москва. E-mail: bulyakova38@mail.ru.

Bulyakova N.V., Azarova V.S.

THE STATE OF BONE MARROW IN THE RATS FOLLOWING THE COMBINED LASER IRRADIATION IN THE INFRARED AND RED WAVELENGTH RANGES OF THE LIGHT SPECTRUM

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

The effect of combined alternating exposure to a laser emitting in the infrared and red wavelength ranges of the light spectrum on the bone marrow cells of the adult rats under conditions of both shin irradiation was investigated. The duration of the irradiation session was varied from 1 to 3 minutes. The ana-telophase method has demonstrated that the alternation of daily laser irradiation sessions of different intensity and depth

of penetration into the biological tissues disturbed the division of bone marrow cells. This effect depended on the intensity of laser irradiation. Apparently, both the therapeutic corridor of laser therapy and the permissible energy irradiation were exceeded in the regime of laser therapy chosen for the present experiment, i.e. the combined alternation of exposure to pulsed infrared laser radiation (890 nm, 1500 Hz, contact labile mode) and continuous red laser radiation (632.8 nm in the remote steady mode) at a rate of 10 procedures per each animal's hindlimb during two weeks.

Key words: *adult rats; bone marrow; pulsed infrared laser; continuous red laser; mitotic disorders; anaphase method.*

For citation: Bulyakova N.V., Azarova V.S. The state of bone marrow in the rats following the combined laser irradiation in the infrared and red wavelength ranges of the light spectrum. *Fizioterapiya, Bal'neologiya i Reabilitatsiya (Russian Journal of the Physical Therapy, Balneotherapy and Rehabilitation)*. 2017; 16 (3): 144-148. (In Russ.)
DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/1681-3456-2017-16-3-144-148>

For correspondence: *Nelly V. Bulyakova*, Federal state budgetary institution of science «A.N.Sevrtsov Institute of Problems of Ecology and Evolution», Russian Academy of Sciences, 119071, Moscow. E-mail: bulyakova38@mail.ru.

Acknowledgments. The study had no sponsorship.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Received 15 January 2017

Accepted 20 March 2017

Лазерное излучение низких интенсивностей широко применяется в области травматологии, спортивной медицины и пластической хирургии для восстановления структурно-функциональных нарушений в органах и тканях, включая скелетную мышечную ткань [1–4]. Для улучшения результатов лазеротерапии иногда применяется комбинированное воздействие лазерами, излучающими в различных областях светового спектра и разных частотных режимах, а также имеющими различную глубину проникновения в биологические ткани, например в инфракрасном и красном диапазонах [2, 5, 6].

При лазеротерапии скелетных мышц локальному воздействию лазерных лучей подвергается костный мозг. Согласно данным литературы, лазерное излучение может оказывать на костный мозг как стимулирующий, так и угнетающий эффект в зависимости от дозы и режима облучения. При сравнительно высоких дозах лазерного облучения (ЛО) некоторые исследователи наблюдали гибель клеток костного мозга, подавление колониеобразующей способности и пролиферативной активности мезенхимных стволовых клеток, а также увеличение ретикулоцитов с микроядрами, появление полиплоидных клеток и aberrаций хроматидного типа уже после 3–5 сеансов ЛО бедренной косточки красным или инфракрасным лазерами [7–11]. Клетки костного мозга, как известно, участвуют в физиологической и посттравматической регенерации мышц, обеспечивают кровотоку [12–14]. В связи с этим исследование функционального состояния костного мозга в условиях лазеротерапии скелетных мышц становится актуальным.

Целью данной работы было определить влияние комбинированного ЛО в инфракрасном и красном диапазонах светового спектра на состояние клеток костного мозга при облучении в различных дозах обеих задних конечностей крыс.

Материал и методы

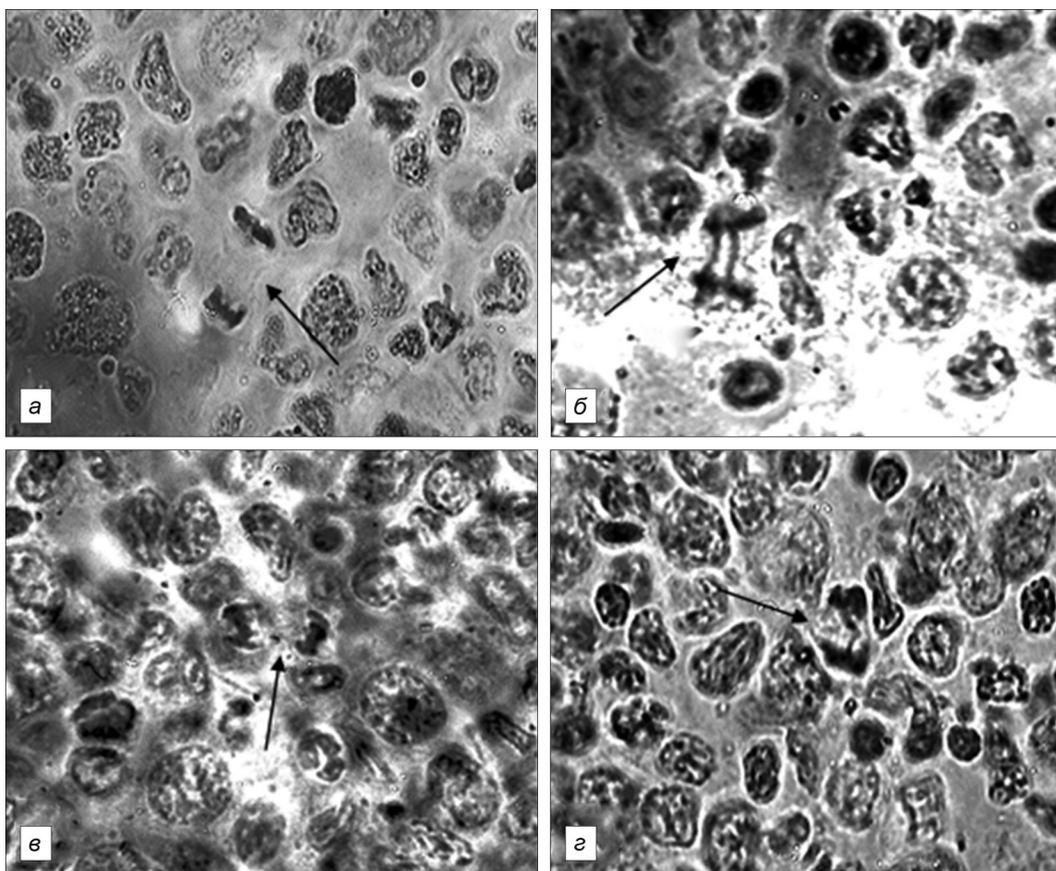
Эксперимент проведен на 15 беспородных крысах-самцах в возрасте 3–4 мес. Животных разделили на 3 группы по 5 крыс в каждой. У подопытных крыс на обеих задних конечностях с дорсальной стороны сбрасывали шерсть и в течение 2 нед каждую голень животного в области проекции икроножных мышц под-

вергали 10-кратному ЛО (5 процедур в инфракрасном диапазоне светового спектра и 5 процедур в красном диапазоне). Процедуры с импульсным инфракрасным лазером и непрерывно излучающим красным лазером ежедневно чередовали. В опыте 1 длительность процедуры составляла 1 мин на каждую конечность крысы, в опыте 2 – соответственно 3 мин. Контроль служили необлученные крысы того же возраста.

Условия 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. Каждую голень крысы с дорсальной поверхности облучали от проксимального конца к дистальному концу и обратно по несколько раз (в зависимости от длительности процедуры). Площадь облучения излучателя на поверхности голени составляла 1,5 см² при каждом контакте в течение 1 с, доза облучения – 0,0008 Дж/см². В опыте 1 при облучении каждой голени животного было по 60 контактов, в опыте 2 – по 180.

Условия воздействия лазером, непрерывно излучающим в красном диапазоне: стационарная установка ОКГ-12 (Россия), длина волны – 632,8 нм, режим облучения дистанционный. На выходе лазерный луч был расфокусирован с помощью линзы, диаметр поля облучения 2–2,5 см, плотность мощности 2,5–3 мВт/см². В опыте 1 доза облучения каждой конечности животного в течение одной процедуры равнялась 0,15–0,18 Дж/см², в опыте 2 – 0,45–0,54 Дж/см².

Экспериментальный материал анализировали на следующий день после завершения курсового ЛО. Большеберцовую кость голени фиксировали в смеси Карнуа. Затем из большеберцовых косточек извлекали фрагменты костного мозга, промывали в течение 1–2 мин в дистиллированной воде, переносили в ацетокармин и во влажной камере держали в холодильнике в течение 3–5 сут. После этого готовили временные препараты: небольшой кусочек ткани помещали на предметное стекло в каплю хлоралгидрата, накрывали покровным стеклом и слегка надавливали. Анализировали по несколько кусочков из каждой голени. Количество клеток с нарушениями митоза определяли в



Варианты ХА (стрелки) в костном мозге: нормальная анафаза (а); анафаза с двумя хромосомными мостами (б); анафаза с хромосомным фрагментом (в); анафаза со слипшимися хромосомами (г).
Окраска ацетокармином, ув. 1000.

костно-мозговой ткани правой и левой большеберцовых косточек ана-телофазным методом, учитывая анафазы и ранние телофазы. Общее количество подсчитанных анафаз – телофаз у животного составляло в среднем 600–700 клеток. Хромосомные aberrации (ХА) выражали в процентах от общего количества ана-телофаз. При определении клеток с ХА учитывали митозы с мостами (не разошедшимися к полюсам митоза) и фрагментами (свободно лежащими небольшими участками хромосом и мелкими хромосомными фрагментами), а также со смешанной патологией (мосты и фрагменты в одной клетке). Митозы с значительно отстающими концами хромосом при расхождении к полюсам («хвосты» разной длины и слипшиеся концы хромосом) рассматривали как прочие нарушения (см. рисунок).

Количественные данные обрабатывали статистически, различия средних величин 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 инъекцией больших доз нембутала.

Результаты

По условиям эксперимента на каждую голень крысы в течение 10 процедур поочередно воздей-

ствовали ЛО разной интенсивности и глубины проникновения в ткани. Результаты количественного анализа клеток костного мозга представлены в таблице. Показано, что у контрольных крыс количество нормальных митозов в клетках костного мозга составляло $74,0 \pm 1,8\%$. Среди митозов с мостами, фрагментами и смешанной патологией на долю мостов приходилось 58%, фрагментов хромосом – 31%, митозов со смешанной патологией – 11%. Преобладали клетки с одним мостом.

Эффект комбинированного воздействия импульсного инфракрасного лазера (890 нм, 1500 Гц) и непрерывного красного лазера (632,8 нм) на клетки костного мозга крыс в условиях облучения обеих голеней (в % от общего количества ана-телофаз)

Параметр	Контроль	Опыт 1	Опыт 2
Нормальные митозы	$74,0 \pm 1,8$	$71,5 \pm 0,7$	$64,3 \pm 2,6^* +$
Митозы с мостами, фрагментами и смешанной патологией	$18,2 \pm 1,9$	$21,8 \pm 0,2$	$27,9 \pm 2,5^* +$
Митозы со слипшимися и отстающими концами хромосом (прочие нарушения)	$7,8 \pm 1,3$	$6,7 \pm 0,9$	$7,8 \pm 1,4$

Примечание. * – $p < 0,05$ по сравнению с контролем; + – $p < 0,05$ по сравнению с опытом 1.

В опыте 1 поочередное воздействие импульсным инфракрасным лазером (890 нм, 1500 Гц, 5 процедур) и непрерывно излучающим красным лазером (632,8 нм, 5 процедур) по 1 мин вызывало в клетках костного мозга лишь тенденцию к увеличению количества митозов с нарушениями по сравнению с контрольными животными. При этом количество анафаз – телофаз с мостами, фрагментами и смешанной патологией составляло 71, 24 и 5% соответственно. Число прочих аберраций (митозов со слипшимися и значительно отстающими концами хромосом при расхождении их к полюсам) практически не изменилось, можно говорить о снижении средней величины данного показателя.

В опыте 2 после 10-кратного воздействия по 3 мин поочередно импульсным инфракрасным лазером (890 нм, 1500 Гц, 5 сеансов) и непрерывно излучающим красным лазером (632,8 нм, 5 сеансов) наблюдалось достоверное увеличение количества aberrантных митозов в клетках костного мозга по сравнению с контрольными крысами. При этом в спектре нарушений количество митозов с мостами, фрагментами и смешанной патологией равнялось 66, 26 и 8% соответственно. Величина прочих аберраций (митозы со слипшимися и значительно отстающими концами хромосом) оставалась на уровне контроля.

Обсуждение

Полученные результаты показали, что комбинированное применение инфракрасного лазера с частотой излучения 1500 Гц и непрерывно излучающего красного лазера в изученном режиме (10 процедур, ежедневное чередование сеансов ЛО разной интенсивности и глубины проникновения в биологические ткани) оказывало дестабилизирующее воздействие на хромосомный аппарат клеток костного мозга. Сравнивая результаты в опыте 1 и опыте 2, можно заметить, что эффект определялся интенсивностью ЛО. В опыте 2 при трехкратном увеличении интенсивности ЛО количество митозов с патологией в клетках костного мозга было достоверно выше, чем в опыте 1 ($p < 0,02$).

Особенности спектра патологий в делящихся клетках костного мозга также указывают на большую эффективность малых доз ЛО при комбинированном применении инфракрасного и красного лазеров в данных условиях эксперимента. В опыте 1 чаще встречались митозы с мостами и реже – с фрагментами и смешанной патологией (мосты и фрагменты в одной клетке) по сравнению с контролем. Считается, что большая частота встречаемости митозов с мостами по сравнению с фрагментами указывает на более высокую активность репарационных систем в клетках [15]. В опыте 2 в спектре патологий aberrантные митозы с мостами встречались сравнительно реже, чем в опыте 1, и среди этих клеток отмечались митозы, содержащие по 3–4 моста.

Число митозов, отнесенных в разряд прочих аберраций (слипшиеся хромосомы и значительно отстающие концы хромосом при расхождении к полюсам митоза), было практически одинаковым в клетках костного мозга в контроле, опыте 1 и опыте 2. Отстающие медленно

подтягивающиеся к полюсам митотического веретена «хвосты» хромосом разной длины возникают в результате того, что к концу анафазы – в начале телофазы мосты обычно чрезмерно растягиваются и быстро рвутся. В этом случае деление клетки постепенно завершается, но распределение хромосомного материала может нарушаться или быть нормальным.

Эффект инфракрасного и красного лазеров был изучен в дозах, традиционно применяемых в клинической практике для восстановления органов и тканей с патологическими изменениями [16]. Наши результаты могут указывать на то, что в данном режиме комбинированного поочередного воздействия импульсного лазера (890 нм, 1500 Гц) и красного непрерывного лазера (632,8 нм) на каждую заднюю конечность по 10 процедур в течение 2 нед были превышены терапевтический коридор лазеротерапии, допустимая энергетическая облученность. Это предположение подтверждается тем, что каждый из этих вариантов ЛО, примененный в дозах и режиме, близких к условиям данного эксперимента, оказывает стимулирующее действие на восстановление клеток костного мозга даже после облучения их ионизирующей радиацией. Так, нами показано снижение хромосомных аберраций в клетках костного мозга при воздействии импульсного инфракрасного лазера на обе голени крыс, локально облученные в дозе 20 Гр [17], а также непрерывно излучающего красного лазера с длиной волны 632,8 нм у крыс, тотально облученных ионизирующей радиацией в дозе 6 Гр [18].

Не исключено, что положительное влияние на клетки костного мозга в условиях комбинированного облучения инфракрасным и красным лазерами выявится позднее. В данном исследовании цитогенетический анализ клеток костного мозга проводили на следующие сутки после завершения курса ЛО. Однако состояние костного мозга, как известно, может постепенно улучшаться за счет элиминации клеток с повреждениями и замещения их активно пролиферирующими стволовыми клетками.

Заключение

Показано, что комбинированное ЛО обеих голеней крыс при ежедневном чередовании импульсного инфракрасного лазера (890 нм, 1500 Гц) и непрерывного красного (632,8 нм) лазера, излучающих в различных областях спектра и разных частотных режимах, а также имеющих различную глубину проникновения в биологические ткани, может вызывать нарушения митотического деления в клетках костного мозга. Очевидно, эффект определяется превышением максимальной дозы ЛО. Эти данные указывают на то, что в ряде случаев при проведении лазерной терапии могут наблюдаться побочные эффекты. Полученные результаты актуальны в связи с тем, что в клинической практике выбор адекватной дозы, щадящего режима лазеротерапии с учетом тяжести заболевания, исходного состояния пациента и системного влияния ЛО на организм в целом до сих пор носит эмпирический характер, и, следовательно, возможны превышения пороговых норм лазерной терапии.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЛИТЕРАТУРА (п.п. 4, 6, 12–14 см. REFERENCES)

- Булякова Н.В., Попова М.Ф., Зубкова С.М., Азарова В.С., Ильясова Ш.Г. *Стимуляция регенерации облученных и необлученных скелетных мышц млекопитающих: Лазерная и тканевая терапия*. М.: Наука; 1995.
- Гейниц А.В., Москвин С.В. *Лазерная терапия в косметологии и дерматологии*. М.-Тверь: Триада; 2010.
- Евстигнеев А.Р., Аршанский М.В. Опыт использования лазерного излучения в повышении результативности спортсменов. В кн.: Грец Г.Н., Брук Т.М. (ред.) *Материалы Международной научно-практической конференции «Современные средства повышения физической работоспособности спортсменов»*. Смоленск: Принт-Экспресс, СГАФКСТ; 2011: 10–4.
- Шептий О.В. *Комбинированные лазерные технологии в восстановительном лечении постакне: дис. ... канд. мед. наук*. М., 2011.
- Семенков В.Ф., Беляков В.К., Лавров В.Ф., Тупикин Г.В. Влияние малоинтенсивного лазерного излучения различных длин волн на костно-мозговые предшественники иммунопоэза. *Биофизика*. 1993; 38(3): 504–6.
- Чайлахян Р.К., Герасимов Ю.В., Свиридов А.П., Кондюрин А.В., Тамбиев А.Х., Баграшвили В.Н. Действие ИК лазерного излучения на мультипотентные мезенхимальные стромальные клетки костного мозга крыс *in vivo*. *Рос. иммунол. журн.* 2009; 3(3–4): 333–7.
- 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.
- Барияк И.Р., Лопушан И.В. Цитогенетические последствия гелий-неонового лазерного облучения в клетках костного мозга крыс. *Пат. физиол. и Экспер. тер.* 1981; (3): 50–3.
- 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.
- Калаев В.Н., Карпова С.С. *Цитогенетический мониторинг: методы оценки загрязнения окружающей среды и состояния генетического аппарата организма*. Воронеж; 2004.
- Москвин С.В., Хадартцев А.А. Лазерный свет – можно ли им навредить? (обзор литературы). *Вестник новых медицинских технологий*. 2016; 23(3): 265–83.
- Зубкова С.М., Булякова Н.В., Михайлик Л.В., Азарова В.С. Цитогенетические изменения в клетках тимуса и костного мозга при воздействии импульсного инфракрасного лазерного излучения на локально облученные механически поврежденные скелетные мышцы крыс. *Доклады АН*. 1998; 359(5): 698–701.
- Булякова Н.В., Азарова В.С. Регенерация икроножных мышц и состояние иммунной системы у облученных крыс при воздействии лучей гелий-неонового лазера. *Известия АН. Серия биол.* 2002; (1): 38–50.
- Evstigneev A.R., Arshanskiy M.V. Experience in the use laser irradiation in increasing the effectiveness of the athletes. In: Grets G.N., Bruk T.M. (eds.) *International scientific-practical conference «Modern means of improving the physical performance of athletes» [Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Sovremennyye sredstva povysheniya fizicheskoy rabotosposobnosti sportsmenov»]*. Smolensk: Print-Express, SGAFKST; 2011: 10–4. (in Russian)
- Alves A.N., Fernandes K.P.S., Deana A.M., Bussadori S.K., Mesquita-Ferrari R.A. Effects of low-level laser therapy on skeletal muscle repair: a systematic review. *Am. J. Phys. Med. Rehabil.* 2014; 93(12):1073–85.
- Shepty O.V. *Combined laser technologies in regenerative treatment of postacne: thesis Cand. Med. Sci. [Kombinirovannyye lazernyye tekhnologii v vosstanovitel'nom lechenii postakne: dis. ... kand. med. nauk.]*. Moscow; 2011. (in Russian)
- 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.
- Semenkov V.F., Belyakov V.K., Lavrov V.F., Tupikin G.V. Effect of low-intensity laser light of different wavelengths on the bone marrow progenitor immunopoiesis. *Biofizika*. 1993. 38(3): 504–6. (in Russian)
- Chailakhyan R.K., Gerasimov Ju.V., Sviridov A.P., Kondyurin A.V., Tambiev A.Kh., Bagratashvili V.N. Effect of IR laser radiation on the multipotent mesenchymal stromal stem cells of rat marrow *in vivo*. *Ros. immunol. zhurn.* 2009; 3(3–4): 333–7. (in Russian)
- Golovneva E.S., Shakirov N.N., Kravchenko T.G., Omelyanenko 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)
- Barilyak I.R., Lopushan I.V. Cytogenetic effects of helium-neon laser irradiation in bone marrow cells of rats. *Pat. fiziol. i eksper. ter.* 1981; (3): 50–3. (in Russian)
- Karipova M.O., Chelpanova E.V., Volodina Z.S., Berdyshev 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)
- Ferrari G., Cusella-De Angelis G., Coletta M., Paolucci E., Stornaiuolo A., Cossu G. et al. Muscle regeneration by bone marrow-derived myogenic progenitors. *Science*. 1998; 279(6): 1528–30.
- Dezawa M., Ishikawa H., Itokazu Y., Yoshihara T., Hoshino M., Takeda S. et al. Bone marrow stromal cells generate muscle cells and repair muscle degeneration. *Science*. 2005; 309(8): 314–17.
- Stromberg A., Jansson M., Fischer H., Rullman E., Hogglund H., Gustafsson T. Bone marrow derived cells in adult skeletal muscle tissue in humans. *Skeletal Muscle*. 2013; 3(1): 12–5.
- Kalaev V.N., Karpova S.S. *Cytogenetic monitoring: methods for assessing environmental pollution and the state of the genetic system of the body [Citogeneticheskiy monitoring: metody otsenki zagryazneniya okruzhayushhey sredy i sostoyaniya geneticheskogo apparata organizma]*. Voronezh: VGU; 2004. (in Russian)
- Moskvin S.V., Khadartsev A.A. Laser light – can by this to do much harm? (literature review). *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy*. 2016; 23(3): 265–283. (in Russian)
- Zubkova S.M., Bulyakova N.V., Mikhailik L.V., Azarova V.S. Cytogenetic changes in rat thymocytes and bone marrow cells in response to pulsed infrared laser irradiation of skeletal muscles locally X-ray-exposed and mechanically damaged. *Doklady Akademii Nauk*. 1998; 359(5): 698–701. (in Russian)
- Bulyakova N.V., Azarova V.S. Regeneration of gastrocnemius muscle and state of immune system in γ -irradiation rats under the influence of He-Ne laser. *Izvestiya Akademii Nauk. Seriya Biol.* 2002; (1): 38–50. (in Russian)

REFERENCES

- Bulyakova N.V., Popova M.F., Zubkova S.M., Azarova V.S., Ilyasova Sh.G. *Stimulation of regeneration in irradiated and non-irradiated skeletal muscles of mammalia: Laser and tissue therapy [Stimulyatsiya regeneratsii obluchennykh i neobluchennykh skeletykh myshits mlekopitayushchikh: Lazernaya i tkanevaya terapiya]*. Moscow: Nauka; 1995. (in Russian)
- Geinits A.V., Moskvin S.V. *Laser therapy in cosmetology and dermatology [Lazernaya terapiya v kosmetologii i dermatologii]*. Moscow-Tver: Triada; 2010. (in Russian)

Поступила 15.01.17

Принята в печать 20.03.17