

Эффективность лазерного воздействия на регенерацию скелетных мышц при различной интенсивности механического повреждения (экспериментальное исследование)

Н.В. Булякова, В.С. Азарова

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

У молодых и взрослых крыс проводили лазеротерапию обеих икроножных мышц, аутотрансплантированных *in situ* в целом или измельченном состоянии. Исследовали также тимус и динамику массы тела как показатель гомеостаза. Установлено, что эффективность импульсного инфракрасного лазерного излучения (890 нм) в отношении регенерации мышц (количество мышечной ткани, реиннервация) определялась степенью повреждения мышц. Однако лазеротерапия улучшала регенерацию мышц даже после крайне тяжелой мышечной травмы, вызванной полным разрушением ее целостности и потерей половины мышечной массы. В регенератах содержалось сравнительно небольшое количество мышечной ткани, но она была функционально активна. У молодых крыс положительный эффект был выше, чем у взрослых. Лазерное излучение влияло на общее состояние организма. У всех животных при обоих видах травмы к моменту завершения лазеротерапии (10 сут) в той или иной степени наблюдалось снижение массы тела, а на 30-е сутки — постепенное увеличение. Как у молодых, так и у взрослых крыс между опытом и контролем на фоне практически одинаковой массы тимуса и количества коркового вещества отмечались различия в пролиферативной активности лимфоидных клеток. Это указывает на незавершенность восстановительных процессов в тимусе.

Ключевые слова: *мышцы; различная степень травмы; лазеротерапия; тимус; масса тела; возраст*

N.V. Bulyakova, V.S. Azarova

THE INFLUENCE OF LASER IRRADIATION ON REGENERATION OF SKELETAL MUSCLES AFTER THEIR MECHANICAL INJURY OF VARIOUS INTENSITY (AN EXPERIMENTAL STUDY)

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

Young and adult rats were subjected to laser irradiation of both gastrocnemius muscles after their *in situ* autotransplantation either intact or after fragmentation. In addition, thymus conditions and body weight dynamics as indicators of homeostasis were studied. It was shown that the effect of pulsed infrared laser radiation at a wavelength of 890 nm on muscle regeneration (the amount of muscular tissue and its re-innervation) depended on the severity of the previous injury. Laser therapy improved muscle regeneration even after a highly severe injury that resulted in the complete destruction of tissue integrity up to the loss of half of muscular mass. Regenerates contained only small amount of muscular tissue, but it retained functional activity. These effects were more pronounced in young rats than in adult ones. Laser radiation just as well influenced general health condition of the animals. All of them experienced the loss of body weight within 10 days after the injury and its gradual increase by day 30. These changes occurred regardless of the severity of the injury. The lymphoid cells of both young and adult rats undergoing laser irradiation and control ones showed different proliferate activities despite practically equal thymus mass and the amount of cortical matter in these animals. It suggests incompleteness of the regeneration processes in the thymus.

Key words: *muscles, injuries of different severity, laser therapy, thymus, body weight, age*

С целью улучшения восстановительных процессов в травмированных тканях широко применяются методы квантовой медицины, в частности лазерное излучение низкой интенсивности [1]. Поиск условий лазерного воздействия, при которых возможно максимальное восстановление структуры и функции поврежденных скелетных мышц, до сих пор остается одной из актуальных проблем в биологии и медицине. После воздействия лазерного излучения на поврежденную мышечную ткань отмечаются снижение перекисного окисления липидов, уменьшение апоптоза мышечных клеток и деструктивных процес-

сов, сокращение течения воспалительного процесса, активация "дремлющих" мышечных клеток-сателлитов, повышение их пролиферативной активности и обменных процессов, стимуляция микроциркуляции и восстановления нервно-мышечных контактов [2—9]. Положительный эффект лазерного излучения на восстановление скелетных мышц как структурально-го органа описан при незначительных разрушениях целостности мышц и различных режимах лазерного облучения [10—14].

Однако, как известно, успех регенерационного процесса в травмированных скелетных мышцах зависит от интенсивности повреждения скелетных мышц [15—17]. Кроме того, лазеротерапия тканей и

Нелли Васильевна Булякова, e-mail: bulyakova38@mail.ru

органов непосредственно в области патологии оказывает влияние на функционально связанные с ней системы организма, в частности иммунную систему. Активация иммунной системы влияет на регенеративные процессы в органах и тканях [18]. Воздействие лазерного излучения может вызывать как стимулирующее, так и угнетающее действие на органы иммунной системы [19—22]. Нами ранее было показано, что положительный эффект лазеротерапии регенерирующих необлученных и облученных (20 Гр) скелетных мышц может сопровождаться длительным сохранением повышенной функциональной нагрузки на тимус [23].

Целью данной работы явилось проведение сравнительного исследования эффективности импульсного высокочастотного инфракрасного лазерного излучения на восстановление скелетных мышц в зависимости от степени их повреждения, а также необходимость оценки динамики показателей массы тела и функционального состояния тимуса как главного органа иммунной системы у молодых и взрослых крыс.

Материалы и методы

Эксперимент проведен на 32 беспородных крысах-самцах двух возрастных групп: активно растущих животных в возрасте 1,2—1,5 мес массой тела 115—130 г (1-я серия) и взрослых крыс в возрасте 10—11 мес массой тела 390—450 г (2-я серия). В каждой возрастной группе регенерация мышц была исследована при двух видах травмы: аутоотрансплантация *in situ* измельченной или целой икроножной мышцы. В первом случае полное разрушение структуры обеих икроножных мышц крысы (мышечные фрагменты составляли 2—3 мм) и последующая аутоотрансплантация только половины мышечной массы. Во втором случае структура икроножных мышц крысы не нарушалась. Перерезали только проксимальное и дистальное сухожилия, а также большеберцовый нерв, входящий в мышцу. При этом наблюдали нарушение кровоснабжения. Мышцу не подшивали.

Крысам контрольной группы после обоих видов травмы икроножных мышц лазеротерапию не проводили. Животным опытной группы после такой же травмы каждую оперированную голень в центральной части облучали инфракрасным лазером (метод контактный, стабильный) на 2, 3, 5, 7 и 9-й дни суммарно в дозе 1,2 Дж/см² (по 1 мин на каждую конечность). Животных оперировали под нембуталовым наркозом. После операции на икроножных мышцах кроющую мышцу и кожу зашивали послойно хирургическим шелком.

Лазеротерапию осуществляли с помощью аппарата ОРИОН-8 (ВНПП "ЖИВА"), Параметры воздействия импульсным инфракрасным лазером: длина волны 890 нм, частота следования импульсов 1500 Гц, мощность в импульсе 9 Вт, площадь облучения 1,5 см², плотность энергии за время одной процедуры 0,24 Дж/см². Исследования выполнены с соблюдением "Правил проведения работ с использованием экспериментальных животных". Животных выводили из опыта инъекцией больших доз нембутала.

Мышечные регенераты и тимусы изучали с помощью гистологических, цитологических и морфометрических методов через 30 сут после операции, когда уже можно судить о тенденции регенерационного процесса. Исследуемые органы фиксировали в смеси Карнуа, срезы толщиной 7—8 мкм окрашивали железным гематоксилином по Рего с докраской по Маллори. Определяли относительную массу восстановленных мышц (процент от массы тела). Для определения

количества мышечной и соединительной ткани в регенератах измеряли площадь, занимаемую этими тканями на трех гистологических срезах, проходящих на разных уровнях регенерата, и выражали ее в процентах от площади гистологического среза.

Для анализа функциональной активности регенератов их вырезали и сразу же определяли способность к сокращению при раздражении электрическим током (аппарат ЭСЛ-2, Россия) большеберцового нерва или при прямом воздействии на регенерат. Это позволяло оценить степень восстановления сократительной функции: возможность проведения импульса через нерв или только формирование функционально активных нервно-мышечных контактов [15]. Анализировали динамику изменения массы тела животных после завершения лазеротерапии травмированных мышц (на 10-е сутки) и к концу эксперимента (на 30-е сутки после травмы). Измеряли величину относительной массы тимуса (процент от массы тела). Используя так называемый метод полей с помощью тестовой окулярной сетки и бинокулярной лупы МБС-1 при увеличении в 25 раз в пяти гистологических срезах, подсчитывали количество точек в корковом и мозговом слоях и выражали в проценте от общего количества точек, подсчитанных по всему срезу тимуса. Для определения митотического индекса тимоцитов у каждого животного в корковом слое тимуса было просчитано по 6000—7000 клеток. Количественные данные обрабатывали статистически и различия средних величин оценивали по критерию Стьюдента.

Результаты и обсуждение

Аутоотрансплантированная измельченная мышечная ткань регенерирует, и на 30-е сутки в ложе удаленной мышцы у молодых и взрослых крыс как в контроле, так и в опыте образуется мышечно-соединительнотканый орган, структура которого значительно отличается от мышцы до операции. Образование латеральной и медиальной головок не происходило. В ложе удаленной мышцы наблюдались тяжи коллагеновых волокон с многочисленными активно делящимися фибробластами. Тяжи располагались продольно и формировали подобие каркаса. Между ними видны пучки узких регенерирующих поперечно полосатых мышечных волокон (рис. 1, а).

После лазеротерапии участки регенерирующей мышечной ткани встречались по всей длине регенератов, в то время как в контрольных регенератах — преимущественно в проксимальной области. С проксимального края отмечалась короткая мышечная культя (1—1,5 мм), которая всегда остается при извлечении икроножной мышцы в момент операции. У молодых крыс в не леченных и леченных лазером 30-суточных регенератах она хорошо сохранялась и по краю можно наблюдать небольшое отрастание мышечных волокон. У взрослых крыс к этому сроку регенерации также отмечался некоторый рост мышечных волокон по краю короткой проксимальной культи, но после воздействия лазера в ней половина и более мышечной ткани подвергалась склеротизации и жировому перерождению. В условиях аутоотрансплантации целой мышцы процесс восстановления был более полным. В 30-суточных регенератах различались латеральная и медиальная головки икроножной мышцы. Наряду с некоторым увеличением количества соединительной ткани в структуре регенератов, расширением септ и гиперемией крупных

коркового вещества у исследуемых молодых животных составляла в контрольной группе $84 \pm 1\%$ после измельчения и $82 \pm 1\%$ после аутотрансплантации целой мышцы, в основной группе — 86 ± 2 и $81 \pm 1\%$ соответственно. Лимфоидные клетки в корковом слое располагались плотно. И только после лазеротерапии измельченных икроножных мышц в корковом веществе тимуса иногда наблюдалась аплазия (места запустений, без лимфоцитов), а митотический индекс тимоцитов снижался до $9,33 \pm 0,37\%$, в то время как в контроле он был равен $16,95 \pm 2,01\%$ ($p < 0,01$).

У взрослых крыс в контроле и опыте при обоих видах травмы относительная масса тимуса также не различалась и находилась в пределах $0,03$ — $0,04\%$. Тимус и тимусные дольки были мельче, чем у молодых животных. Между дольками видны более широкие прослойки соединительной ткани с крупными сосудами. Встречались нарушения четкости границ между корковым и мозговым веществом, иногда инверсия слоев. Лимфоидные клетки в корковом слое расположены более рыхло. Наблюдалась аплазия органа. Количество коркового вещества составляло в контроле $65 \pm 2\%$ после измельчения мышц и $71 \pm 1\%$ после трансплантации целой мышцы, в опыте — 67 ± 2 и $72 \pm 3\%$ соответственно. Пролиферативная активность лимфоидных клеток в корковом веществе после лазеротерапии измельченных мышц увеличивалась до $8,11 \pm 0,58\%$, что достоверно ($p < 0,01$) превышало результаты в контрольной группе — $5,66 \pm 0,69\%$. Следует отметить, что после лазеротерапии целых мышц митотический индекс снижался более существенно (до $7,33 \pm 0,50\%$; $p < 0,01$) по сравнению с группой контроля ($10,73 \pm 0,13\%$).

Влияние лазеротерапии на посттравматическую регенерацию скелетных мышц было изучено в условиях повреждения различной степени тяжести: при аутотрансплантации *in situ* целой икроножной мышцы (с неповрежденной структурой) и после крайне тяжелой мышечной травмы (полное измельчение мышцы и аутотрансплантация *in situ* только половины мышечной массы). При аутотрансплантации целой мышцы количество мышечной ткани в регенератах и их сократительная активность были выше, чем при трансплантации измельченной мышцы. Наблюдаемые различия, прежде всего, объясняются особенностями регенерации мышц в этих условиях травмы. Как было установлено ранее [15, 16], при аутотрансплантации целой мышцы часть мышечной ткани на периферии мышцы может переживать состояние ишемии и сохранять свою жизнеспособность. Функционально активные нервно-мышечные контакты формируются как заново, так и в местах старых нервно-мышечных блюшек. Микроциркуляторная функция может также формироваться заново и быть восстановлена в некоторых старых участках капиллярной сети. При аутотрансплантации измельченной мышцы полностью разрушается ее соединительнотканная основа, представленная эпимизием, перимизием и эндомизием. Формирование мышечных волокон, их реваскуляризация и реиннервация происходят заново.

Эффективность лазеротерапии также определялась степенью повреждения скелетных мышц.

В аутотрансплантатах целой икроножной мышцы у молодых и взрослых крыс отмечалась тенденция к увеличению содержания мышечной ткани по сравнению с контролем. После проведенной лазеротерапии измельченных мышц у молодых крыс увеличение содержания мышечной ткани в регенератах статистически достоверно не изменялось, а у взрослых животных даже несколько (на 7%) снижалось.

Однако даже после крайне тяжелой травмы мышцы, вызванной полным разрушением ее целостности, излучение инфракрасного лазера стимулировало иннервацию регенерирующей измельченной мышечной ткани и способствовало восстановлению мышцы как сократительного органа. У молодых и взрослых крыс существенно увеличивалось количество регенератов, сокращающихся по всей длине как при стимуляции через большеберцовый нерв, так и при прямом воздействии на мышцы. Последнее свидетельствует о формировании в регенерирующей ткани нервно-мышечных контактов, уже готовых к проведению нервного импульса [15]. Сокращение по всей длине регенерата топографически совпадало с расположением регенерирующей мышечной ткани. Стимулирующий эффект лазерного излучения на регенерацию периферических аксонов и восстановление сократительной функции мышц ранее был описан в литературе [24, 25].

Сила сокращения 30-суточных регенератов, восстановленных из измельченной мышцы, была сравнительно слабой как у молодых, так и у взрослых крыс. Однако функцию восстановленных после травмы мышц можно улучшить. Из многочисленных клинических исследований известно, что для улучшения сократительной активности восстановленных после травмы мышц необходима дальнейшая разработка их функции, например методами физиотерапии и лечебной физкультуры.

Данных о восстановлении функции поврежденных мышц с помощью импульсного инфракрасного лазерного излучения (890 нм) при относительно низком содержании регенерирующей мышечной ткани в доступной литературе не встречалось. Ранее подобный эффект был описан нами при воздействии излучения He-Ne лазера (632,8 нм) на аутотрансплантационные измельченные икроножные мышцы новорожденных и старых крыс [26].

Вместе с тем лазеротерапия травмированных скелетных мышц оказывала влияние на гомеостаз, структурно-функциональную стабильность организма. В проведенном нами экспериментальном исследовании к моменту завершения курсового воздействия лазеротерапии у молодых и взрослых крыс при обоих видах травмы наблюдалось в той или иной степени временное снижение массы тела. По-видимому, в этот период происходит наложение эффекта от хирургического стресса и от действия лазерного излучения как внешнего фактора. После окончания курса лазеротерапии масса тела животных постепенно увеличивалась, наиболее интенсивно у молодых крыс. В то же время следует отметить сохранение реактивных изменений в структуре тимуса, а также достоверное повышение или снижение митотического

индекса в лимфоидных клетках тимуса, что свидетельствует о миграции тимоцитов в область травмы облученных лазером мышц [18].

Заключение

Результаты исследования показали, что с помощью лазеротерапии можно улучшить морфофункциональные параметры регенерирующих мышц даже после крайне тяжелой мышечной травмы, вызванной полным разрушением ее целостности (измельчение) и потерей половины мышечной массы. Несмотря на сравнительно небольшое количество мышечной ткани в регенератах измельченной мышцы, лазерное воздействие способствовало улучшению их функции. У молодых крыс положительный эффект был выше, чем у взрослых. Наблюдаемое снижение массы тела животных к моменту завершения лазеротерапии травмированных мышц было временным, и в дальнейшем у всех животных при обоих видах травмы наблюдалось постепенное наращивание массы тела, а в тимусе сохранялись реактивные изменения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зубкова С.М. Биофизические основы лазерной терапии. Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. 2009; 1: 3—9.
2. Зубкова С.М. Биологическое действие электромагнитных полей оптического и микроволнового диапазонов: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Обнинск; 1991.
3. Козлов В.И. Морфологическая характеристика расстройств микроциркуляций и их коррекция при лазеротерапии. В кн.: Козлов В.И., Байбеков И.М., ред. Морфологические основы низкоинтенсивной лазеротерапии. Ташкент: Изд-во им. Ибн Сины; 1991; 63—100.
4. Самойлов Н.Г., Козлов В.И. Структурные изменения нервно-мышечного аппарата под влиянием низкоинтенсивного лазерного излучения. В кн.: Козлов В.И., Байбеков И.М., ред. Морфологические основы низкоинтенсивной лазеротерапии. Ташкент: Изд-во им. Ибн Сины; 1991; 183—205.
5. Вьялко В.В., Берглезов М.А., Угнивенко В.И. Низкоэнергетические лазеры в травматологии и ортопедии. М.: РИЯД; 1998.
6. Shefer G., Partridge T.A., Heslop L., Gross J.G., Oron U., Halevy O. Low-level laser irradiation promotes the survival and cell cycle entry of skeletal muscle satellite cells. *J. Cell Sci.* 2002; 115 (7): 1461—9.
7. Avni D., Levkovitz S., Maltz L., Oron U. Protection of skeletal muscles from ischemic injury: low-level laser therapy increases antioxidant activity. *Photomed. Laser Surg.* 2005; 23 (3): 273—7.
8. Silveira P.C., Silva L.A., Fraga D.B., Freitas T.P., Streck E.L., Pinho R. Evaluation of mitochondrial respiratory chain activity in muscle healing by low-level laser therapy. *J. Photochem. Photobiol. B.* 2009; 95 (2): 89—92.
9. Luo L., Sun Z., Zhang L., Li X., Dong Y., Liu T.C. Effects of low-level laser therapy on ROS homeostasis and expression of IGF-1 and TGF- β 1 in skeletal muscle during the repair process. *Lasers Med. Sci.* 2013; 28 (3): 725—34.
10. Doin-Silva R., Baranauskas V., Rodrigues-Simioni L., da Cruz-Höfling M.A. The ability of low level laser therapy to prevent muscle tissue damage induced by snake venom. *Photochem. Photobiol.* 2009; 85 (1): 63—9.
11. Nakano J., Kataoka H., Sakamoto J., Origuchi T., Okita M., Yoshimura T. Low-level laser irradiation promotes the recovery of atrophied gastrocnemius skeletal muscle in rats. *Exp. Physiol.* 2009; 94 (9): 1005—15.
12. Lakyova L., Toporcer T., Tomeckova V., Sabo J., Radonak J. Low-level laser therapy for protection against skeletal muscle damage after ischemia-reperfusion injury in rat hind limbs. *Lasers Surg. Med.* 2010; 42 (9): 665—72.
13. Assis L., Moretti A.I., Abrahao T.B., de Souza H.P., Hamblin M.R., Parizotto N.A. Low-level laser therapy (808 nm) contributes to muscle regeneration and prevents fibrosis in rat tibialis anterior muscle after cryolesion. *Lasers Med. Sci.* 2013; 28 (3): 947—55.

14. Dawood M.S., Al-Salihi A.R., Qasim A.W. Laser therapy of muscle injuries. *Lasers Med. Sci.* 2013; 28: 735—42.
15. Женевская Р.П. Нервно-трофическая регуляция пластической активности мышечной ткани. М.: Наука; 1974.
16. Lefaucheur J.P., Sebille A. The cellular events of injured muscle regeneration depend on the nature of the injury. *Neuromusc. Disord.* 1995; 5 (6): 501—9.
17. Бабаева А.Г. Еще раз о морфогенетической или строительной функции лимфоцитов. Вестник Российской академии естественных наук. 2010; 4: 70—4.
18. Харин Г.М. Изменение citoархитектоники 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.
19. Кочугова Т.В., Перишин С.Б., Миненков А.А. Иммунная супрессия при локальных воздействиях низкоэнергетическим лазерным излучением инфракрасного диапазона. Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физкультуры. 1992; 3: 57—9.
20. Глушкова О.В., Новоселова Е.Г., Черепков Д.А., Новоселова Т.В., Хренов М.О., Лукин С.М. Эффекты облучения разных участков кожи мышей-опухоленосителей низкоинтенсивным лазерным светом. *Биофизика.* 2006; 51 (1): 123—5.
21. Бугаева И.О. Влияние низкоинтенсивного лазерного излучения на органы иммуногенеза: Автореф. дис. ... д-ра мед. наук. Саратов; 2006.
22. Булякова Н.В., Зубкова С.М., Азарова В.С. Регенерация скелетных мышц и реакция иммунной системы млекопитающих при лазерном и радиационном облучении. М.: Товарищество научных изданий КМК; 2010.
23. Карлсон Б.М. Регенерация. М.: Наука; 1986.
24. Rochkind S., Drory V., Alon M., Nissan M., Ouaknine G.E. Laser phototherapy (780 nm), a new modality in treatment of long-term incomplete peripheral nerve injury: a randomized double-blind placebo-controlled study. *Photomed. Laser Surg.* 2007; 25 (5): 436—42.
25. Shen C.C., Yang Y.C., Liu B.S. Large-area irradiated low-level laser effect in a biodegradable nerve guide conduit on neural regeneration of peripheral nerve injury in rats. *Injury.* 2011; 42 (8): 803—13.
26. 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.

REFERENCES

1. Zubkova S.M. Biophysical basis of laser therapy. *Fizioterapija, bal'neologija i reabilitacija.* 2009; 1: 3—9 (in Russian).
2. Zubkova S.M. Biological effects of electromagnetic fields of optical and microwave ranges: Avtoref. dis. ... d-ra biol. nauk. Obninsk; 1991 (in Russian).
3. Kozlov V.I. Morphological characteristics of microcirculation disorders and their correction in laser therapy. V kn.: Morphological bases of low-level laser therapy. Kozlov V.I., Bajbekov I.M., red. Tashkent: Izd-vo im. Ibn Siny; 1991; 63—100 (in Russian).
4. Samojlov N.G., Kozlov V.I. V kn.: Morphological bases of low-level laser therapy. Kozlov V.I., Bajbekov I.M., red. Tashkent: Izd-vo im. Ibn Siny; 1991; 183—205 (in Russian).
5. Vjal'ko V.V., Berglezov M.A., Ugnivenko V.I. Low-energy lasers in traumatology and orthopedics. М.: RIJaD; 1998 (in Russian).
6. Shefer G., Partridge T.A., Heslop L., Gross J.G., Oron U., Halevy O. Low-level laser irradiation promotes the survival and cell cycle entry of skeletal muscle satellite cells. *J. Cell Sci.* 2002; 115 (7): 1461—9.
7. Avni D., Levkovitz S., Maltz L., Oron U. Protection of skeletal muscles from ischemic injury: low-level laser therapy increases antioxidant activity. *Photomed. Laser Surg.* 2005; 23 (3): 273—7.
8. Silveira P.C., Silva L.A., Fraga D.B., Freitas T.P., Streck E.L., Pinho R. Evaluation of mitochondrial respiratory chain activity in muscle healing by low-level laser therapy. *J. Photochem. Photobiol. B.* 2009; 95 (2): 89—92.
9. Luo L., Sun Z., Zhang L., Li X., Dong Y., Liu T.C. Effects of low-level laser therapy on ROS homeostasis and expression of IGF-1 and TGF- β 1 in skeletal muscle during the repair process. *Lasers Med. Sci.* 2013; 28 (3): 725—34.
10. Doin-Silva R., Baranauskas V., Rodrigues-Simioni L., da Cruz-Höfling M.A. The ability of low level laser therapy to prevent muscle tissue damage induced by snake venom. *Photochem. Photobiol.* 2009; 85 (1): 63—9.

11. Nakano J., Kataoka H., Sakamoto J., Origuchi T., Okita M., Yoshimura T. Low-level laser irradiation promotes the recovery of atrophied gastrocnemius skeletal muscle in rats. *Exp. Physiol.* 2009; 94 (9): 1005—15.
12. Lakyova L., Toporcer T., Tomeckova V., Sabo J., Radonak J. Low-level laser therapy for protection against skeletal muscle damage after ischemia-reperfusion injury in rat hind limbs. *Lasers Surg. Med.* 2010; 42 (9): 665—72.
13. Assis L., Moretti A.I., Abrahao T.B., de Souza H.P., Hamblin M.R., Parizotto N.A. Low-level laser therapy (808 nm) contributes to muscle regeneration and prevents fibrosis in rat tibialis anterior muscle after cryolesion. *Lasers Med. Sci.* 2013; 28 (3): 947—55.
14. Dawood M.S., Al-Salihi A.R., Qasim A.W. Laser therapy of muscle injuries. *Lasers Med. Sci.* 2013; 28: 735—42.
15. Zhenevskaja R.P. Neuro-trophic regulation of plastic activity of muscle tissue. M.: Nauka; 1974 (in Russian).
16. Lefaucheur J.P., Sebille A. The cellular events of injured muscle regeneration depend on the nature of the injury. *Neuromusc. Disord.* 1995; 5 (6): 501—9.
17. Babaeva A.G. Once more about morphogenetic or constructive function of lymphocytes. *Vestnik Rossiyskoy akademii estestvennykh nauk.* 2010; 4: 70—4 (in Russian).
18. Harin G.M. Change cytoarchitectonics lymphoid organs when exposed to laser radiation body. V kn.: Abstracts of the International Symposium on the Application of Lasers in Surgery and Medicine. M.: VINITI; 1989, ch. 1: 567—9 (in Russian).
19. Konchugova T.V., Pershin S.B., Minenkov A.A. Immune suppression by local impacts low-energy infrared laser radiation. *Voprosy kurortologii, fizioterapii i lechebnoj fizicheskoy kultury.* 1992; 3: 57—9 (in Russian).
20. Glushkova O.V., Novoselova E.G., Cherepkov D.A., Novoselova T.V., Hrenov M.O., Lunin S.M. The effects of exposure of different parts of the skin tumor-bearing mice with low intensity laser light. *Biofizika.* 2006; 51 (1): 123—5 (in Russian).
21. Bugaeva I.O. Effect of low-intensity laser radiation on the organs of immunogenesis: Avtoref. dis. ... d-ra med. nauk. Saratov; 2006 (in Russian).
22. Bulyakova N.V., Zubkova S.M., Azarova V.S. The skeletal muscle regeneration and the reaction of immune system of mammals under laser and ionizing radiation. M.: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK; 2010 (in Russian).
23. Karlson B.M. Regeneration. M.: Nauka; 1986 (in Russian).
24. Rochkind S., Drory V., Alon M., Nissan M., Ouaknine G.E. Laser phototherapy (780 nm), a new modality in treatment of long-term incomplete peripheral nerve injury: a randomized double-blind placebo-controlled study. *Photomed. Laser Surg.* 2007; 25 (5): 436—42.
25. Shen C.C., Yang Y.C., Liu B.S. Large-area irradiated low-level laser effect in a biodegradable nerve guide conduit on neural regeneration of peripheral nerve injury in rats. *Injury.* 2011; 42 (8): 803—13.
26. Bulyakova N.V., Popova M.F., Zubkova S.M., Azarova V.S., Il'yasova Sh.G. Stimulation regeneration of irradiated and non-irradiated mammalian skeletal muscles. *Laser and tissue therapy.* M.: Nauka; 1995 (in Russian).

Поступила 04.09.13

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2013

УДК 615.849.19.03:616.216.1-002-053.2].036.8

Сравнительная эффективность методик лазеротерапии у детей с верхнечелюстными синуситами

М.Ю. Герасименко¹, А.Г. Хрыкова², К.С. Ларионов¹, В.С. Ильин¹, Н.О. Мартынова¹

¹ГБУЗ МО Московский областной научно-исследовательский клинический институт (МОНКИ) им. М.Ф. Владимирского, 129110, г. Москва, Россия; ²ГБОУ ВПО Ярославская государственная медицинская академия Минздрава России, 150000, г. Ярославль, Россия

Проведено сравнительное изучение эффективности различных методик низкоинтенсивной лазеротерапии при лечении детей с острым синуситом и обострением хронического верхнечелюстного синусита. Исследуемую группу составили 30 детей в возрасте от 7 до 10 лет. Пациенты получали лазерную терапию, специальную лечебную дыхательную гимнастику и обучались физиологическому носовому дыханию. Лазерное излучение проводилось на 4 поля — на область проекции верхнечелюстных пазух, небных миндалин по 3 мин на поле, на курс 8—10 процедур. Использовали портативные лазерные аппараты "Изель-2" и "Орион-8". Существенное улучшение выявлено у 27 (92%) детей. После курса комплексной терапии восстановилась функция носового дыхания, купировался болевой синдром и воспалительный компонент, восстановилась дренажная функция полости носа и слуховой трубы, объективно улучшился слух. Данными клинических исследований доказано определенное преимущество лазеротерапии с воздействием в импульсном режиме по сравнению с непрерывным режимом при лечении детей с острым и хроническим синуситом.

Ключевые слова: лазеротерапия; лазерные аппараты; лечебная дыхательная гимнастика; верхнечелюстной синусит; дети

M.Yu. Gerasimenko¹, A.G. Khrykova², K.S. Larionov¹, V.S. Ilyin¹, N.O. Martynova¹

COMPARATIVE EFFECTIVENESS OF THE LASER THERAPY TECHNIQUES FOR THE TREATMENT OF THE CHILDREN PRESENTING WITH MAXILLARY SINUSITIS

¹State budgetary healthcare institution "M.F. Vladimirsky Moscow Regional Research Clinical Institute", Moscow; ²State budgetary educational institution of higher professional education "Yaroslavl State Medical Academy", Russian Ministry of Health, Yaroslavl

This comparative study was designed to estimate the effectiveness of different modalities of low-intensity laser therapy for the treatment of the children presenting with acute maxillary sinusitis or exacerbation of its chronic form. The study included 30 children at the age from 7 to 10 years. They were treated by laser therapy, performed special breathing exercises, and were taught physiological nasal breathing. Laser radiation