

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

DOI: <http://dx.doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-8-479-483>

УДК 616.8:615.849.19

© Коллектив авторов, 2019

Малькова Н.Ю.^{1,2}, Гребеньков С.В.², Кочетова О.А.^{1,2}**Использование низкоинтенсивного лазерного излучения в лечении профессиональных заболеваний периферической нервной системы**¹ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора, 2-я Советская ул., 4, Санкт-Петербург, Россия, 191036;²ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, ул. Кирочная, 41, Санкт-Петербург, Россия, 191015

Введение. Лазерное излучение, открытое еще в середине XX века, активно используется в современной медицине. Наряду с эффектами высокоэнергетических лазеров все большее внимание исследователей привлекают методы низкоинтенсивной лазерной терапии при различных заболеваниях периферической нервной системы. В то же время работ, в которых оценивалась бы эффективность действия низкоинтенсивного лазерного излучения при профессиональных заболеваниях нервной системы, крайне мало.

Цель исследования — поиск информации о современном понимании механизмов действия низкоинтенсивного лазерного излучения и его использовании в терапии профессиональных заболеваний нервной системы в российских и зарубежных научных литературных источниках.

Материалы и методы. В статье представлен обзор доступных научных российских и зарубежных литературных источников. Поиск и отбор источников осуществлялся с использованием открытых баз данных PubMed и РИНЦ.

Результаты. Низкоинтенсивная лазерная терапия оказывает противовоспалительный, анальгетический, иммунокорригирующий и рефлексогенный эффекты. В клинике профессиональных болезней описаны случаи успешного применения низкоинтенсивного лазерного излучения при лечении вибрационной болезни, корешковых и мышечно-тонических синдромов, синдрома запястного канала. В то же время работы, в которых оценивалось бы влияние низкоинтенсивного лазерного излучения на динамику профессиональной полиневропатии верхних конечностей, отсутствуют.

Выводы. Биологический эффект низкоинтенсивного лазерного излучения сложен и многогранен. Низкоинтенсивная лазерная терапия обладает широким спектром действия на различные звенья патогенеза, является распространенным методом лечения заболеваний периферической нервной системы, в том числе профессиональной этиологии. Актуальной является задача обоснования и разработки методики применения низкоинтенсивного лазерного излучения для лечения пациентов с профессиональными полинейропатиями верхних конечностей (как самого распространенного профессионального заболевания периферической нервной системы) и оценки ее эффективности в ходе динамического наблюдения.

Ключевые слова: низкоинтенсивная лазерная терапия; низкоинтенсивное лазерное излучение; профессиональные заболевания периферической нервной системы; профессиональная полинейропатия верхних конечностей

Для цитирования: Малькова Н.Ю., Гребеньков С.В., Кочетова О.А. Использование низкоинтенсивного лазерного излучения в лечении профессиональных заболеваний периферической нервной системы. *Мед. труда и пром. экол.* 2019; 59 (8). <http://dx.doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-8-473-478>

Для корреспонденции: Малькова Наталья Юрьевна, гл. науч. сотр. отдела комплексной гигиенической оценки физических факторов ФБУН «СЗНЦГОЗ» Роспотребнадзора; проф. каф. гигиены условий воспитания, обучения, труда и радиационной гигиены ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России, д-р биол. наук. E-mail: lasergmal@mail.ru.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Natalia Yu. Mal'kova^{1,2}, Sergey V. Grebenkov², Olga A. Kochetova^{1,2}**The use of low-intensity laser radiation in the treatment of occupational diseases of the peripheral nervous system**¹North-West Public Health Research Center, 4, 2nd Sovetskaja st., St. Petersburg, Russia, 191036;²North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, 41, Kirochnaya str., St. Petersburg, Russia, 191015

Introduction. Laser radiation, discovered in the mid-twentieth century, is actively used in modern medicine. Along with the effects of high-energy lasers, researchers are attracting more and more attention to the methods of low-intensity laser therapy in the treatment of various diseases of the peripheral nervous system. At the same time, there are very few works in which the effectiveness of low-intensity laser radiation action in occupational diseases of the nervous system would be assessed.

The aim of study was searching for information on the modern understanding of the mechanisms of action of low-intensity laser radiation and on its use in the treatment of occupational diseases of the nervous system in Russian and foreign scientific literature.

Materials and methods: The article presents an overview of available scientific Russian and foreign literary sources. Search and selection of sources was carried out using open databases PubMed and RSCI.

Results. Low-intensity laser therapy has anti-inflammatory, analgesic, immunocorrective and reflexogenic effects. There are described cases of successful application of low-intensity laser radiation in the treatment of vibration disease, radicular and muscular tonic syndromes, carpal tunnel syndrome. At the same time, there are no works in which the influence of low-intensity laser radiation on the dynamics of professional polyneuropathy of the upper limbs would be assessed.

Conclusions: *The biological effect of low-intensity laser radiation is complex and many-sided. Low-intensity laser therapy has a wide spectrum of action on various pathogenesis pathways, it is a common method of treating diseases of the peripheral nervous system, including professional aetiology. The urgent task is to substantiate and develop a technique for using low-intensity laser radiation to treat patients with professional polyneuropathies of the upper limbs (as the most common occupational disease of the peripheral nervous system) and to evaluate its effectiveness during dynamic observation.*

Key words: *low-intensity laser therapy; low-intensity laser radiation; occupational diseases of the peripheral nervous system; professional polyneuropathy of the upper limbs*

For citation: Malkova N.Yu., Grebenkov S.V., Kochetova O.A. The use of low-intensity laser radiation in the treatment of occupational diseases of the peripheral nervous system. *Med. truda i prom. ekol.* 2019; 59 (8). <http://dx.doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-8-473-478>

For correspondence: *Natalia Yu. Malkova*, chief researcher of the Department of complex hygienic assessment of the physical factors of the North-West Public Health Research Center, professor of hygiene conditions of education, training, labour and radiation hygiene department of the North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Dr. of Sci. (Biol.). E-mail: lasergmal@mail.ru

Funding: The study had no funding.

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

Введение. Лазерное излучение было открыто в 60-х годах XX века. С той поры описаны самые разнообразные его эффекты: от деструктивных, разрушающих клетки тканей, активно использующихся в современной хирургии, до лечебных эффектов низкоинтенсивной лазерной терапии (НИЛТ) [1,2]. Интерес к НИЛТ на сегодняшний день обусловлен преобладанием дорожки лекарственных препаратов на фармакологическом рынке, к которым человеческий организм может быть резистентен (актуальна проблема резистентности бактерий к антибиотикам и противомикробным препаратам), повышенной чувствительностью пациентов к лекарственным препаратам, а также их побочными эффектами [3]. В таких условиях низкоинтенсивное лазерное излучение (НИЛИ) представляет собой альтернативу традиционной медикаментозной терапии или может рассматриваться как метод, усиливающий ее терапевтические эффекты без увеличения дозы лекарственных препаратов и, соответственно, без появления или усугубления побочных эффектов. Происходит это благодаря широкому спектру показаний НИЛИ к применению, ограниченному списку противопоказаний и практически полному отсутствию тяжелых побочных эффектов. Существует множество исследований, посвященных изучению влияния НИЛИ при лечении различных заболеваний, но работ, в которых оценивалась бы эффективность действия НИЛИ при профессиональных заболеваниях нервной системы, крайне мало.

Цель исследования — поиск информации о современном понимании механизмов действия НИЛИ и об использовании НИЛИ в терапии профессиональных заболеваний периферической нервной системы в современных российских и зарубежных научных литературных источниках.

Материалы и методы. В статье представлен обзор доступных научных российских и зарубежных литературных источников. Поиск и отбор источников осуществлялся с использованием открытых баз данных PubMed и РИНЦ.

Результаты. Механизм действия НИЛИ на клеточном уровне сводится к феномену «фотобиостимуляции» и «фотобиомодуляции» [4]: т. е. способности особым нетермическим и недеструктивным путем вызывать изменения функционирования клетки. При этом начальным пусковым моментом биологического действия НИЛИ является не фотобиологическое действие, а локальный нагрев [3]. Именно этот локальный нагрев вызывает высвобождение ионов кальция из внутриклеточного депо, что приводит к распространению в цитозоле клетки «волн» повышенной концентрации

ионов кальция, запускающих кальций-зависимые процессы [2,3,5], и возбуждению активности в митохондриях, где происходит захват фотона через систему цитохром С-оксидазы, что способствует повышению образования свободных форм кислорода [3,5,6]. Также в ходе действия лазерного облучения происходит повышение синтеза АТФ до 150 % [7], повышение мембранного потенциала митохондрий [8]. Недавно было показано, что НИЛТ через образование свободных форм кислорода приводит к активации нуклеарного фактора каппа В, который в свою очередь является фактором транскрипции, регулирующим экспрессию различных генов [9]. Конечным звеном событий является синтез новых ДНК и РНК, ферментов и белков, стимулирующих процессы пролиферации и репарации в различных клетках [4], восстановление целостности липидов клеточной мембраны [5].

Уникальность действия НИЛИ заключается в том, что через одни и те же молекулярные механизмы НИЛИ может способствовать как усилению процессов пролиферации, так и развитию апоптоза [2–5]. Высокие дозы НИЛИ могут индуцировать развитие апоптоза (запрограммированной гибели клеток) — этот типовой патологический процесс обусловлен повышенной выработкой свободных форм кислорода, о которой уже упоминалось ранее [10]. В отличие от некроза апоптоз протекает без выраженного иммунодефицита, в ДНК образуются межнуклеосомные разрывы ДНК, синтез белков теплового шока, других специальных белков, активируется эндонуклеаза, конденсируется и фрагментируется цитоплазма, конденсация, аутофагия митохондрий, мембраны клеток долго остаются стабильными. Нет перифокального отека, воспаления, демаркации, формируются апоптотные тельца, которые постепенно фагоцитируются [11]. Апоптоз является в данной ситуации защитным механизмом — при утрате такой способности неограниченно пролиферирующий клон клеток в организме может привести к онкологическим заболеваниям [12].

НИЛТ способствует процессам ангиогенеза (образования новых сосудов) — это было показано в работе Сигу с соавт. [13]. Было продемонстрировано стимулирующее действие НИЛТ (во всех использованных комбинациях лазерного излучения) на васкуляризацию.

Одно из самых распространенных показаний для назначения НИЛИ — болевые синдромы. В систематическом обзоре Bjordal и соавторы [14] собрали исследования, в которых демонстрировалась эффективность НИЛИ при различных острых и хронических болевых синдромах. НИ-

ЛИ меняет ход процессов воспаления путем уменьшения выработки простагландина E₂, фактора некроза опухолей, интерлейкина-1 (ИЛ-1), активатора плазминогена и пр. Эти механизмы объясняют противоотечный эффект НИЛИ, усиление микроциркуляции, процессов апоптоза (что уменьшает зону экссудации и некроза). Подобные эффекты оказались неспецифическими — они реализовывались в случае самых разных заболеваний: ревматоидного артрита, остеоартрита, уменьшали боли в пояснице и шее, в плечевых суставах. Общим для всех этих заболеваний являлся механизм действия НИЛИ на высвобождение эндогенных эндорфинов [15].

Исследование воздействия НИЛИ на сосудистую стенку показало, что интраваскулярная НИЛИ значительно снижала уровень провоспалительных медиаторов (ИЛ-1β, ИЛ-6) и повышала уровень противовоспалительного ИЛ-10 [4,14].

Помимо непосредственного воздействия на пораженный орган или ткань было доказано рефлексогенное влияние НИЛИ на различные системы органов [16].

Исходя из понимания механизмов действия НИЛИ, можно сформулировать показания и противопоказания к применению данного метода терапии. Показаниями к применению НИЛТ в неврологии являются: болевые синдромы нейрогенного и органического характера, нарушение микроциркуляции, сенсбилизация организма к лекарствам, аллергические реакции, стимуляция регенеративных процессов в тканях, рефлексотерапия [2–4,16]. Стоит обратить внимание, что все эти патологические процессы имеют место в клинике профессиональных заболеваний периферической нервной системы, поэтому применение НИЛИ при лечении этих состояний представляется оправданным [17].

Противопоказания к применению НИЛИ [2–4]: злокачественные новообразования; эпилепсия; беременность на всех сроках; повышенная чувствительность и индивидуальная непереносимость НИЛИ; тромбоз вен малого таза или глубоких вен нижних конечностей, декомпенсированный осложненный сахарный диабет.

На долю лазерной терапии по разным данным приходится от 10 до 50% всех физиотерапевтических методик [2,3], которые используются при лечении пациентов с самыми разными заболеваниями, в том числе и заболеваниями периферической нервной системы. Известно, что НИЛИ положительно влияет на нейродегенеративные процессы в нервных волокнах, способствует уменьшению скорости развития и степени выраженности дистрофических, некробиотических и некротических изменений [16,17].

Что касается терапии профессиональных заболеваний нервной системы, то существуют работы, посвященные использованию НИЛИ при вибрационной болезни [18,19]. В этих работах основное внимание уделялось изучению действия НИЛИ на микроциркуляцию, реологические свойства крови. Применялся гелий-неоновый лазер (мощность 20 мВт, 1,5–2 минуты на область кистей рук и предплечий). Подобное лечение приводило к уменьшению жалоб пациентов, улучшению их состояния на фоне снижения тонуса крупных и мелких артерий, увеличения амплитуды пульсовой кривой, улучшения кровоснабжения кистей рук и предплечий, что косвенно позволяет судить и о благоприятном влиянии НИЛИ на выраженность характерного для вибрационной болезни и полинейропатического синдрома верхних конечностей.

НИЛТ используется для лечения пациентов с болевыми корешковыми и мышечно-тоническими синдромами

в комплексе с медикаментозной терапией, лечебной физкультурой и массажем. В случае данных заболеваний как профессиональной, так и непрофессиональной этиологии НИЛИ действует на основные звенья патогенеза и оказывает противовоспалительное, обезболивающее и противоотечное действия. Такие эффекты аналогичны действию нестероидных противовоспалительных средств (НПВС), применение которых является стандартом в лечении болевых синдромов [20]. Действуя аналогичным образом, НИЛИ позволяет уменьшать дозы НПВС и избегать характерных для этой фармакологической группы побочных эффектов [2,3].

Работ, в которых бы освещались вопросы применения НИЛИ для лечения профессиональных полинейропатий верхних конечностей, связанных с физическими перегрузками и функциональным перенапряжением мышц конечностей, в российской и зарубежной научной литературе обнаружено не было. Но есть данные о положительном эффекте НИЛТ при лечении травматического повреждения нервов верхних и нижних конечностей (закрытые переломы, вывихи, раны) — использование НИЛИ в комплексе лечебных мероприятий у таких больных способствовало значительному регрессу двигательных, чувствительных, сосудистых расстройств, предупреждало развитие дистрофических изменений в конечностях [21]. При лечении диабетической полинейропатии верхних и нижних конечностей НИЛИ также активно используют в качестве симптоматического средства, отдавая при этом приоритет этиологической терапии. НИЛТ улучшает функциональное состояние периферических нервных волокон, уменьшает выраженность болевого синдрома [22].

Положительный эффект от терапии НИЛИ при синдроме запястного канала [23,24] заключается в уменьшении болевого синдрома, улучшении качества жизни, но при этом статистически значимых различий в показателях при электронейромиографическом исследовании выявлено не было.

Существуют также работы, посвященные вопросам профилактики профессиональных заболеваний с использованием НИЛИ: методики профилактики с использованием НИЛИ разработаны в отношении вибрационной болезни, заболеваний суставов верхних и нижних конечностей, полинейропатии верхних конечностей от действия комплекса ВПФ (физические перегрузки, локальная вибрация, неблагоприятный микроклимат) [26,27].

Обсуждение. В целом весь спектр эффектов от применения НИЛИ можно свести к следующему [2–4]:

1. Противовоспалительный эффект достигается путем усиления микроциркуляции, изменения соотношения уровней простагландинов, стабилизации осмотического давления, что в совокупности приводит к уменьшению воспалительного отека.
2. Анальгетический эффект обеспечивается за счет активации метаболизма нейронов, повышения уровня эндорфинов, повышения порога болевой чувствительности.
3. Аккумуляция АТФ, активация клеточного метаболизма, повышение уровня пролиферации фибробластов, синтез белков и коллагена, образование капилляров стимулируют репаративные процессы.
4. Иммуный ответ стимулируется путем повышения пролиферации иммунокомпетентных клеток, ускорения созревания этих клеток, повышения продукции иммуноглобулинов.

5. Рефлексогенный эффект оказывается при раздражении нервных окончаний, возбуждении нейронов в специализированных нервных центрах.

НИЛИ успешно справляется с хроническим болевым синдромом профессиональной этиологии [27–30]. Вполне логичным будет предположение, что все эти эффекты будут реализовываться в случае профессиональных заболеваний периферической нервной системы в целом и профессиональной полинейропатии верхних конечностей [17,31,32]. Помимо всех описанных механизмов было также обнаружено, что НИЛИ успешно используется в лечении астено-депрессивного синдрома в том числе при отсутствии эффектов от терапии антидепрессантами, что повышает качество жизни таких пациентов [33]. Роль астено-депрессивного синдрома в развитии и хронизации болевого синдрома известна давно, воздействие на этот путь патогенеза также способствует более эффективному купированию боли у пациентов.

Выводы:

1. Биологический эффект НИЛИ сложен и многогранен. НИЛТ обладает широким спектром действия на различные звенья патогенеза, является распространенным методом лечения заболеваний периферической нервной системы, в том числе профессиональной этиологии.

2. Для лечения пациентов с профессиональными полинейропатиями конечностей и оценки его эффективности в ходе динамического наблюдения актуальны задачи обоснования и разработки методики применения НИЛИ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гамалея Н.Ф. *Лазеры в эксперименте и клинике*. М.: Медицина, 1972.
- Илларионов В.Е. *Теория и практика лазерной терапии*. М.: Либроком, 2010.
- Москвин С.В. *Основы лазерной терапии*. Серия «Эффективная лазерная терапия». Т. 1. М., Тверь: ООО «Триада»; 2016.
- Moshkovska T, Mayberry J. It's time to test low level laser therapy in Great Britain. *Postgrad med J*. 2005; 81: 436–441. DOI: 10.1136/pgmj.2004.027755.
- Rola P, Doroszko A, Derkacz A. The use of low-level energy laser radiation in basic and clinical research. *Adv Clin Exp Med*. 2014; 23(5): 835–42. DOI: 10.17219/acem/37263.
- Chung H, Dai T, Sharma SK, Huang YY, Carroll JD, Hamblin MR. The nuts and bolts of low-level laser (light) therapy. *Ann Biomed Eng*. 2011; 40(2): 516–533. DOI:10.1007/s10439-011-0454-7.
- Cheng N et al. The effects of electric currents on ATP generation, protein synthesis, and membrane transport in rat skin. *Clin Orthop*. 1982; 171: 264–72.
- Karu N et al. Irradiation with He-Ne laser increases ATP level in cells cultivated in vitro. *J Photochem Photobiol*. 1995; 27: 219–223.
- Chen A. et al. Low-level laser therapy Activates NF-κB via generation of reactive oxygen species in mouse embryonic fibroblasts. *PLoS One*. 2011; 6: e22453.
- Gao X, Xing D. Molecular mechanisms of cell proliferation induced by low power laser irradiation. *J Biomed Sci*. 2009; 16: 4.
- Xu X, Lai Y, Hua ZC. Apoptosis and apoptotic body: disease message and therapeutic target potentials. *Biosci Rep*. 2019;39(1): BSR20180992. DOI:10.1042/BSR20180992.
- Рева И.В. и др. Апоптоз в канцерогенезе. *Успехи современного естествознания*. 2015;2:103–110.
- Cury V. et al. Low-level laser therapy increases angiogenesis in a model of ischemic skin flap in rats mediated by VEGF, HIF-1α and MMP-2. *J Photochem Photobiol B*. 2013; 125: 164–70.
- Bjordan J et al. Low level laser therapy increases angiogenesis in a model of ischemic skin flap in rats mediated by VEGF, HIF-1α and MMP-2. *J Photochem Photobiol B*. 2013; 125:164–170.
- Tam G. Low power laser therapy and analgesic action. *J Clin Laser Med Surg*. 1999; 17:29–33.
- Кочетков А.В., Москвин С.В., Карнеев А.Н. *Лазерная терапия в неврологии*. Тверь: Триада; 2012.
- Кочетова О.А., Малькова Н.Ю. Возможности применения низкоинтенсивной лазерной терапии в лечении профессиональных заболеваний периферической нервной системы (обзор литературы). *Мед. труда и пром. экол.* 2013; 8: 37–39.
- Богданов С.С., Мартынов А.И., Мускатиньев В.В., Фидуров Я.Н. Изменение периферического кровообращения у больных вибрационной болезнью под влиянием лечения гелий-неоновым лазером. В кн. «*Материалы конф. «Применение лазеров в медицине»*». М.; 1985:12–13.
- Рудакова И.Е., Тарасова Л.А., Иванова Л.А. Изучение комплекса объективных и субъективных показателей у больных вибрационной болезнью при лечении методом внутривенного лазерного облучения крови (ВЛОК). В кн. «*Тезисы докладов научной конференции «Актуальные вопросы гигиены труда, профессиональной патологии и медицинского обеспечения трудящихся промышленных предприятий на современном этапе развития хозяйственного комплекса Донбасса»*». Донецк; 1985: 24–27.
- Яхно Н.Н., ред. *Боль: руководство для врачей и студентов*. М.: МЕДпресс-информ; 2009.
- Гильмутдинова Л.Т., Шарипова Э.Ш. Применение комплексного лечения при травмах конечностей, осложненных повреждением нервов. *Лазерная медицина*. 2007; 11(2): 7–13.
- Khamseh ME et al. Diabetic distal symmetric polyneuropathy: effect of low-intensity laser therapy. *Lasers Med Sci*. 2011 Nov; 26(6):831–5. DOI: 10.1007/s10103-011-0977-z.
- Chang WD, Wu JH, Jiang JA, Yeh CY, Tsai CT. Carpal tunnel syndrome treated with a diode laser: a controlled treatment of the transverse carpal ligament. *Photomed Laser Surg*. 2008;26(6):551–7. DOI: 10.1089/pho.2007.2234.
- Bartkowiak Z, Elik M, Zgorzalewicz-Stachowiak M, Romanowski L. The Effects of Nerve and Tendon Gliding Exercises Combined with Low-level Laser or Ultrasound Therapy in Carpal Tunnel Syndrome. *Indian J Orthop*. 2019; 53(2): 347–352. DOI: 10.4103/ortho. IJOrtho_45_17.
- Малькова Н.Ю., Ушкова И.Н. Способ профилактики заболеваний верхних конечностей от локальной вибрации и/или физических нагрузок: пат. 2207171 Рос. Федерация; 7 А 61 N 5/067.
- Малькова Н.Ю., Ушкова И.Н., Чернушевич Н.И. Способ профилактики заболеваний верхних конечностей при различных видах физической нагрузки: пат. 2409399 Рос. Федерация; МПК А61 N 5/067 (2006.01).
- Gigo-Benato D, Geuna S, Rochkind S. Phototherapy for enhancing peripheral nerve repair: a review of the literature. *Muscle Nerve*. 2005; 31: 694–701.
- Allameh M, et al. Comparative Evaluation of the Efficacy of Laser Therapy and Fibroblastic Growth Factor Injection on Mucosal Wound Healing in Rat Experimental Model. *J Lasers Med Sci*. 2018; 9 (3): 194–9. DOI:10.15171/jlms.2018.35.
- Traverzim MADS, Makabe S, Silva DFT, Pavani C, Bussadori SK, Fernandes KSP et al. Effect of led photobiomodulation on analgesia during labor: Study protocol for a randomized clinical trial. *Medicine (Baltimore)*; 97 (25): e11120. DOI:10.1097/MD.0000000000011120.
- Rosso MP et al. Photobiomodulation Therapy (PBMT) in Peripheral Nerve Regeneration: A Systematic Review. *Bioengineering (Basel)*. 2018; 5(2): 44. DOI:10.3390/bioengineering5020044.

31. Измеров Н.Ф. ред. *Профессиональная патология: национальное руководство*. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2011.

32. Кочетова О.А., Куприна Н.И., Малькова Н.Ю., Шилов В.В. Профессиональные полиневропатии верхних конечностей — современные подходы к диагностике, лечению и профилактике. *Мед. труда и пром. экол.* 2018; 3: 6–9.

33. Жуков В.В., Кожин А.А., Мрыхин В.В. Низкоинтенсивная лазерная терапия больных с астено-депрессивным синдромом. *Лазерная медицина*. 2016; 20 (2): 28–31.

REFERENCES

1. Gamaleya N.F. *Lasers in the experiment and clinic*. Moscow: Meditsina; 1972 (in Russian).

2. Illarionov V.Ye. *Theory and practice of laser therapy*. Moscow: Librokom, 2010. (in Russian).

3. Moskvina S.V. *Basics of laser therapy*. Series «Effective laser therapy». V. 1. Moscow; Tver: ООО «Triada»; 2016 (in Russian).

4. Moshkovska T., Mayberry J. It's time to test low level laser therapy in Great Britain. *Postgrad med J*. 2005; 81: 436–441. DOI: 10.1136/pgmj.2004.027755.

5. Rola P., Doroszko A., Derkacz A. The use of low-level energy laser radiation in basic and clinical research. *Adv Clin Exp Med*. 2014; 23(5): 835–42. DOI: 10.17219/acem/37263.

6. Chung H, Dai T, Sharma SK, Huang YY, Carroll JD, Hamblin MR. The nuts and bolts of low-level laser (light) therapy. *Ann Biomed Eng*. 2011; 40(2): 516–533. DOI:10.1007/s10439-011-0454-7.

7. Cheng N et al. The effects of electric currents on ATP generation, protein synthesis, and membrane transport in rat skin. *Clin Orthop*. 1982; 171: 264–72.

8. Karu N et al. Irradiation with He-Ne laser increases ATP level in cells cultivated in vitro. *J Photochem Photobiol*. 1995; 27: 219–223.

9. Chen A et al. Low-level laser therapy Activates NF-κB via generation of reactive oxygen species in mouse embryonic fibroblasts. *PLoS One*. 2011; 6: e22453.

10. Gao X, Xing D. Molecular mechanisms of cell proliferation induced by low power laser irradiation. *J Biomed Sci*. 2009; 16: 4.

11. Xu X et al. Apoptosis and apoptotic body: disease message and therapeutic target potentials. *Biosci Rep*. 2019;39(1): BSR20180992. Published 2019 Jan 18. DOI:10.1042/BSR20180992.

12. Reva I.V. et al. Apoptosis in carcinogenesis. *Uspekhi sovremennoy yestestvoznaniya*. 2015; 2: 103–110. (in Russian)

13. Cury V et al. Low-level laser therapy increases angiogenesis in a model of ischemic skin flap in rats mediated by VEGF, HIF-1α and MMP-2. *J Photochem Photobiol B*. 2013; 125:164–170.

14. Bjordal J et al. Low-level laser therapy in acute pain: a systematic review of possible mechanisms of action and clinical effects in randomized placebo-controlled trials. *Photomed Laser Surg*. 2006; 24: 158–168.

15. Tam G. Low power laser therapy and analgesic action. *J Clin Laser Med Surg*. 1999; 17:29–33.

16. Kochetkov A.V., Moskvina S.V., Karneyev A.N. *Laser therapy in neurology*. Tver': Triada; 2012. (in Russian)

17. Kochetova O.A., Mal'kova N.Yu. The possibility of using low-intensity laser therapy in the treatment of occupational diseases of the peripheral nervous system (literature review). *Мед. труда и пром. экол.* 2013; 8: 37–9 (in Russian).

18. Bogdanov S.S., Martynov A.I., Muskatinyev V.V., Fidurov YA.N. Peripheral blood circulation changes in patients with vibra-

tion disease under the influence of helium-neon laser treatment. In: *Materials of the Conference "The use of lasers in medicine"*. Moscow; 1985: 12–3 (in Russian).

19. Rudakova I.Ye., Tarasova L.A., Ivanova L.A. The study of a complex of objective and subjective indicators in patients with vibration disease during treatment with the method of intravenous laser irradiation of blood (VLOK). In: *Abstracts of the reports of the scientific conference "Actual issues of occupational health, occupational pathology and medical support of working industrial enterprises at the present stage of development of the economic complex of Donbass"*. Donetsk; 1985: 24–27. (in Russian)

20. Yakhno N.N., ed. *Pain: a guide for doctors and students*. Moscow: MEDpress-inform; 2009. (in Russian).

21. Gil'mutdinova L.T., Sharipova E.Sh. The use of complex treatment for injuries of the limbs, complicated by nerve damage. *Lazernaya meditsina*. 2007; 11(2): 7–13. (in Russian)

22. Khamseh ME et al. Diabetic distal symmetric polyneuropathy: effect of low-intensity laser therapy. *Lasers Med Sci*. 2011 Nov; 26(6):831–5. DOI: 10.1007/s10103-011-0977-z.

23. Chang WD, Wu JH, Jiang JA, Yeh CY, Tsai CT. Carpal tunnel syndrome treated with a diode laser: a controlled treatment of the transverse carpal ligament. *Photomed Laser Surg*. 2008;26(6):551–7. Doi: 10.1089/pho.2007.2234.

24. Bartkowiak Z, Eliks M, Zgorzalewicz-Stachowiak M, Romanowski L. The Effects of Nerve and Tendon Gliding Exercises Combined with Low-level Laser or Ultrasound Therapy in Carpal Tunnel Syndrome. *Indian J Orthop*. 2019; 53(2): 347–52. DOI: 10.4103/ortho.IJOrtho_45_17.

25. Mal'kova N.YU., Ushkova I.N. Method for the prevention of diseases of the upper extremities from local vibration and / or physical exertion. Patent № 2207171; 2003 (in Russian).

26. Mal'kova N.YU., Ushkova I.N., Chernushevich N.I. Method for the prevention of diseases of the upper extremities with various types of physical activity. Patent № 2409399; 2011 (in Russian).

27. Gigo-Benato D, Geuna S, Rochkind S. Phototherapy for enhancing peripheral nerve repair: a review of the literature. *Muscle Nerve*. 2005; 31: 694–701.

28. Allameh M, Khalesi S, Khozeimeh F, Faghian E. Comparative Evaluation of the Efficacy of Laser Therapy and Fibroblastic Growth Factor Injection on Mucosal Wound Healing in Rat Experimental Model. *J Lasers Med Sci*. 2018;9(3):194–9. DOI:10.15171/jlms.2018.35.

29. Traverzim MADS, Makabe S, Silva DFT, Pavani C, Bussadori SK, Fernandes KSP et al. Effect of led photobiomodulation on analgesia during labor: Study protocol for a randomized clinical trial. *Medicine (Baltimore)*; 97(25): e11120. DOI:10.1097/MD.00000000000011120.

30. Rosso MPO, Buchaim DV, Kawano N, Furlanette G, Pomin KT, Buchaim RL. Photobiomodulation Therapy (PBMT) in Peripheral Nerve Regeneration: A Systematic Review. *Bioengineering (Basel)*. 2018;5(2):44. DOI:10.3390/bioengineering5020044.

31. Izmerov N.F. ed. *Occupational pathology: national leadership*. M.: GEOTAR-Media; 2011 (in Russian).

32. Kochetova O.A. et al. Professional polyneuropathy of the upper extremities — modern approaches to diagnosis, treatment and prevention. *Мед. труда и пром. экол.* 2018; 3: 6–9 (in Russian).

33. Zhukov V.V., Kozhin A.A., Mрыхин V.V. Low-intensity laser therapy for patients with asthenic-depressive syndrome. *Lazernaya meditsina*. 2016; 20 (2): 28–31 (in Russian).

Дата поступления / Received: 31.05.2019

Дата принятия к печати / Accepted: 02.08.2019

Дата публикации / Published: 26.08.2019