

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЛАЗЕРНОЙ ТЕРАПИИ ПРИ ЛЕЧЕНИИ ОГНЕСТРЕЛЬНЫХ РАН КОНЕЧНОСТЕЙ

Давыдов Д.В.¹, Керимов А.А.*¹, Беседин В.Д.¹,
Пиманчев О.В.², Земляной А.Б.³

DOI: 10.25881/20728255_2024_19_2_123

¹ ФГБУ «Главный военный клинический госпиталь
им. академика Н.Н. Бурденко, Москва

² ФГБУ «Национальный медико-хирургический Центр
им. Н.И. Пирогова», Москва

³ ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет
(РОСБИОТЕХ)» Москва

Резюме. В последние годы проблематике лечения ран различной этиологии уделяется много внимания. В современном мире мы сталкиваемся с возрастающим количеством огнестрельных ранений (до 68% в структуре современной боевой хирургической травмы), при этом наибольший процент (53%) составляют ранения конечностей. На фоне массивного разрушения тканей и большой кровопотери, высокого риска развития общих и местных инфекционных осложнений ключевой точкой лечения становится первичная хирургическая обработка. Соблюдение правильности выполнения всех ее этапов (рассечение раны, удаление инородных тел, иссечение нежизнеспособных тканей, дренирование раны, закрытие раны) позволяет предупреждать развитие осложнений и создать благоприятные условия для заживления раны. Но нередко в нашей работе, после очищения раны мы сталкиваемся с проблемой длительности заживления раны и удлинения всех фаз раневого процесса. Одним из доступных и эффективных методов, стимулирующих репаративный процесс, на наш взгляд, является лазерная терапия. Проведен обзор литературы о механизмах биологического действия и о применении лазерных технологий в лечении ран различной этиологии, включая огнестрельные ранения.

Ключевые слова: огнестрельная рана, лазер, лазерная терапия, раны.

В последние годы проблеме лечения ран различной этиологии уделяется много внимания. В современном мире мы сталкиваемся с возрастающим количеством огнестрельных ранений (до 68% в структуре современной боевой хирургической травмы), при этом наибольший процент (53%) составляют ранения конечностей, что связано с постоянным совершенствованием различных видов ранящих снарядов, приводящих к более тяжелым и обширным повреждениям [1; 2]. На фоне массивного разрушения тканей и большой кровопотери, высокого риска развития общих и местных инфекционных осложнений ключевой точкой лечения становится первичная хирургическая обработка [3]. Соблюдение правильности выполнения всех ее этапов (рассечение раны, удаление инородных тел, иссечение нежизнеспособных тканей, дренирование раны, закрытие раны) позволяет предупреждать развитие осложнений и создать благоприятные условия для заживления раны [1]. Но нередко в нашей работе, после очищения раны мы сталкиваемся с проблемой длительности заживления раны и удлинения всех фаз раневого

PROSPECTS FOR THE USE OF LASER THERAPY IN THE TREATMENT OF GUNSHOT WOUNDS OF EXTREMITIES

Davydov D.V.¹, Kerimov A.A.*¹, Besedin V.D.¹, Pimanchev O.V.², Zemlyanov A.B.³

¹ Chief military clinical hospital named after academic N.N. Burdenko, Moscow

² Pirogov National Medical and Surgical Center, Moscow

³ Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH), Moscow

Abstract. In recent years, much attention has been paid to the treatment of wounds of various etiologies. In the modern world, we are faced with an increasing number of gunshot wounds (up to 68% in the structure of modern combat surgical injuries), with the largest percentage (53%) being limb injuries. Against the background of massive tissue destruction and large blood loss, high risk of general and local infectious complications, primary surgical treatment becomes the key point of treatment. Compliance with the correctness of all its stages (dissection of the wound, removal of foreign bodies, excision of non-viable tissues, wound drainage, wound closure) allows you to prevent the development of complications and create favorable conditions for wound healing. But often in our work, after cleansing the wound, we are faced with the problem of the duration of wound healing and lengthening of all phases of the wound process. One of the available and effective methods that stimulate the reparative process, in our opinion, is laser therapy. In this review article, we reviewed the literature on the mechanisms of biological action and the use of laser technologies in the treatment of wounds of various etiologies, including gunshot wounds.

Keywords: gunshot wound, laser, laser therapy, wounds.

процесса. Одним из доступных и эффективных методов, стимулирующих репаративный процесс, на наш взгляд, является лазерная терапия. Проведен обзор литературы о механизмах биологического действия и о применении лазерных технологий в лечении ран различной этиологии, включая огнестрельные ранения.

Исторические аспекты разработки и применения низкоинтенсивного лазерного излучения

Интерес человечества к свету и его свойствам был во все времена. Воздействие солнечного света на здоровье человека, использование его в процессе лечения заболеваний и ранений были известны еще на заре человечества. О положительном влиянии света можно найти упоминание у Геродота и Гиппократов. Авиценна в своих трудах «Канон врачебной науки» рассматривал свет как важный элемент диагностики и терапии. В 1878 г. американец Эдвин Д. Баббит выпустил книгу «Принципы света и цвета», где затрагивается возможность использования света в хирургических и терапевтических целях. В 1903 г. датский ученый

* e-mail: kerartur@yandex.ru

Нильс Рюберг Финзен получил Нобелевскую премию за изучение действия ультрафиолетового излучения на организм человека. Ученый продемонстрировал лечебное действие излучения при туберкулезе и нагноении при заболевании оспой [4].

В своей современной форме световое излучение появилось после изобретения лазера в 1960 г., который широко, и по настоящее время, применяется в медицине [5–7]. Ровно через год в мире начинают появляться первые публикации об успешном применении лазеров в хирургии. Так, L. Goldman (1961) показал, что рубиновый лазер может быть использован для удаления «винных пятен» и меланомы кожи; Ch.J. Campbell (1961) с помощью рубинового лазера коагулировал опухоль сетчатки. В 1964 г. была выполнена первая в СССР операция по «приварки» сетчатки глаза излучением рубинового лазера. Во второй половине 1960-х под руководством Н.Д. Девяткова был создан первый в СССР лазерный скальпель на CO_2 -лазере, который опередил применение лазера в США при операциях на голосовых связках (G.J. Jako, 1972) [4]. Лазеры привнесли в хирургию новые возможности: интраоперационное асептическое, стерилизующее воздействие, функцию коагуляции, малотравматичного рассечения. Это нашло свое применение, в том числе, и при лечении хронического остеомиелита.

Одним из первых исследований биологической активности излучения низкоэнергетических лазеров в красном диапазоне были проведены в Казахском национальном университете им. Аль-Фараби в 1964 г. [8]

С 1974 г. в СССР лазерная терапия вошла в стандарт государственной медицинской помощи, опубликовано множество научных трудов и проведены десятки тысяч исследований. Биостимулирующее действие лазерного света было отмечено при лечении длительно незаживающих ран и трофических язв [9; 10].

Лазерная терапия активно начинает свой путь с 80-гг. прошлого столетия (Япония 1993 г., Китай 1991 г., Канада 1991 г., Северная Ирландия 1991 г., Вьетнам 1994 г., страны Латинской Америки и Восточной Европы 2006 г. [9]. В СССР активное участие в создании и внедрении лазерных хирургических методик приняли многие видные ученые в 1981 г. была присуждена Государственная премия СССР «За создание, разработку и внедрение в клиническую практику новых лазерных хирургических средств и новых лазерных методов хирургического лечения в абдоминальной, гнойной, и пластической хирургии» [4].

Ученые применяли разнообразные термины для описания биологического действия лазерной терапии [9]. Наиболее ранними часто используемыми выражениями были «фотобиоактивация» и «биостимуляция» [10; 13], позже «биомодуляция» [8; 14].

Стоит отметить, что наиболее широко применяемым в области медицины является лазер низкой интенсивности или LLL (Low-Level-Laser). Низкоуровневая лазерная терапия работает в диапазоне от видимого до ближнего инфракрасного спектра (390–1100 нм), работая без вы-

деления тепла [8] и обеспечивая фотохимический эффект [15], что обуславливает широкий спектр его применения [16].

Наиболее широкое применение метод лазерной терапии нашел в нашей стране, где использовался эффект низкоинтенсивного лазерного излучения в виде «биомодуляции» или «биостимуляции».

Механизмы действия низкоинтенсивного лазерного излучения

Биологическое воздействие низкоинтенсивного лазерного излучения имеет три точки приложения: купировать воспаление, отек [17]; стимулировать регенерацию поверхностных и глубоких ран мягких тканей [18]; лечение неврологических расстройств и болевого синдрома [18]. В отличие от лазеров высокой мощности, LLL обеспечивает энергию, достаточную для стимуляции мягких тканей.

Установлено, что лечение НИЛИ оказывает стимулирующее действие на клеточном уровне [19]. На основании исследований красного или ближнего инфракрасного светового облучения сделан вывод о возможности предотвращения апоптоза клеток [20–21], стимулировании митохондриальной активности и делении клеток [22].

Характер действия на ткани, в первую очередь, определяется количеством энергии, попавшей в направленную область [4]. Поглощенная энергия излучения в биологических тканях преобразуется в тепло [25–27]. Для осуществления фотобиологического эффекта необходимо поглощение фотонов лазерного излучения [28]. Эндогенные или экзогенные хромофоры являются исходными фотоакцепторными молекулами (молекулами, поглощающие свет на определенных длин волн) [29]. Основными хромофорами кожного покрова являются вода, гемоглобин и меланин [30–31]. Увеличивая длину волны до инфракрасного диапазона увеличивается и проникновение лазерного света в биологические ткани [32–34].

Применение низкоинтенсивной лазерной терапии, в зависимости от заданных параметров, нашло свое отражение во многих сферах медицины, что подтверждается многочисленными публикациями, отражающими биологическое влияние на различные ткани: стволовые клетки — низкоинтенсивная лазерная терапия может увеличивать скорость пролиферации различных клеточных линий (AlGhamdi et al., 2012); фибробласты кожи, слизистой оболочки щек и десны — отмечается повышенная пролиферация, созревание и передвижение, а также трансформация в миофибробласты (Walsh et al., 1997); эпителиальные клетки — становятся более подвижными и способными мигрировать через раневые участки с ускоренным закрытием дефектов (Walsh et al., 1997); остеобласты человека — способствует пролиферации и созреванию остеобластов человека *in vitro* и значительно увеличивают выживаемость клеток на 31–58% (Stein et al., 2005). На основании многочисленных научных трудов



Рис. 1. Последовательность развития биологических эффектов после воздействия НИЛ (Москвин С.В., 2014).

была сформирована единая последовательность развития биологических и терапевтических эффектов в результате применения низкоинтенсивного лазерного излучения (Рис. 1).

Возможности применения лазерной терапии при боевой травме

Низкоинтенсивная лазерная терапия, в зависимости от заданных параметров, широко применяется в медицине, в том числе и при лечении боевой травмы. Многочисленные сведения доказывают положительное действие лазерного излучения на различные биологические ткани, что обуславливает возможность ее применения при боевой хирургической травме, а именно при лечении огнестрельных ранений конечностей. Так, при переломе бедренной кости применение низкоинтенсивного лазерного излучения позволяет снизить воспалительный процесс, улучшить формирование костного матрикса, что способствует более интенсивному образованию костной мозоли [35]. НИЛИ оказывает стимулирующее воздействие на фибробласты, и остеобласты [36], применяется как метод для ускорения регенерации костной ткани [37–39].

Huertas R.M. et al. изучили влияния импульсного диодного лазера с длиной волны 940 нм на пролиферацию остеобластов в режиме облучения через сутки. Энергия лазерного излучения положительно влияла на рост клеток, активизируя их пролиферацию по сравнению с контрольной группой [40]. Также отмечена стимуляция экспрессии маркеров дифференцировки остеобластов [41].

Таким образом, основываясь на данных исследований, можно сделать вывод, что диодный лазер оказывает биостимулирующее действие на костную ткань [40–42]. Примечательно, что при облучении лазером низкой интенсивности в диапазоне от 780–1000 нм происходит индукция биологических эффектов, например, клеточной пролиферации, синтеза коллагена, высвобождения факторов роста из клетки [43].

Лазер широко используется для стимуляции репарации костной ткани. С помощью лазера так же можно осуществлять остеоперфорацию, с выраженным остеогенным эффектом, по сравнению с процедурой использования спиц или стержней. В 2008 г. ученые впервые провели исследование с целью выяснить: возможно ли использование применение CO_2 -лазера для остеотомии. В результате было выявлено, что заживление ран от механической остеотомии и от лазерной остеотомии ничуть не отличались и в обоих случаях рентгенологическая картина заживления была практически идентичной. Однако отмечен эффект перегревания мягких тканей при использовании CO_2 -лазера [44–45].

В 2013 г. был проведен анализ результатов лечения 235 детей с очаговой формой острого гематогенного остеомиелита. У детей, которым применялся метод лазерной остеоперфорации с использованием инфракрасного диодного лазера, в 1,5 раза реже остеомиелит переходил в хроническую стадию, также в работе отмечен бактерицидный, бактериостатический и выраженный противовоспалительный эффект [46–47]. Применительно к переломам костей конечностей, после воздействия лазерного излучения в области повреждения улучшается кровенаполнение сосудов, происходит активация пролиферации остеогенных клеток [48]. В 2016 г. получены данные об успешном применении остеоперфорации для лечения некроза бугристости большеберцовой кости, наблюдалось полное купирование болевого синдрома и возвращение в спорт, а после повторной лазерной остеоперфорации, наступало полное выздоровление [49].

Так же терапия лазером влияет на скорость образования новых кровеносных сосудов — ангиогенез, который определяется факторами роста эндотелия, после выделения которых, происходит пролиферация и миграция клеток, выстилающих внутренние стенки сосудов, вследствие чего образуются новые капиллярные сети [28].

Лазер с длиной волны 780 нм значительно ускоряет процесс заживления хирургических ран [50].

Для нас большой интерес представляет исследование возможности применения лазерной терапии в комплексном лечении огнестрельных ранений конечностей. На базе военного госпиталя Чеченской Республики проведено лечение пациентов с огнестрельными ранениями конечностей, которым в комплексном лечении применяли магнитно-лазерную терапию (МЛТ) с длиной волны 890 нм. Перед проведением МЛТ проводили туалет раны и на завершающем этапе накладывали на рану стерильную марлевую повязку. Авторами отмечено купирование болевого синдрома, уменьшение инфильтрации тканей и площади раневого дефекта. В случаях когда имелась рана с обширным дефектом мягких тканей (от 20–50 см): МАТ оказалась недостаточно эффективной в достижении противовоспалительного эффекта. Несмотря на рост грануляций и эпителизации, отмечалось замедление регресса отека мягких тканей, что затрудняло сближение краев раны. По данным исследования для полного заживления огнестрельных ран требовалось 20–24 дня [50].

К сожалению в литературе имеются немногочисленные данные об использовании лазерной терапии при лечении огнестрельных ранений конечностей, однако особенности и морфологическая картина огнестрельной раны современного времени требует применения всего арсенала средств физического воздействия направленных на все звенья раневого процесса. Низкоинтенсивная лазерная терапия позволяет воздействовать на мягкие ткани не зависимо от сложности раневого канала и протяженности поврежденного участка, снизить зоны вторичного некроза за счет улучшения локального кровообращения. Данная методика является перспективной, и требует дальнейшего изучения возможности ее применения в комплексном лечении огнестрельных ранений конечностей.

В нашем обзоре литературы акцент сделан на лазерную терапию, позволяющую улучшить репаративный процесс в мягких тканях и реализовать противовоспалительный, обезболивающий, иммуностимулирующий эффекты, противоотечное действие и стимулировать локальную микроциркуляцию [34].

Необходимо дальнейшее изучение механизмов действия и клинических результатов при лечении огнестрельных ранений конечностей.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов (The authors declare no conflict of interest).

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Тришкин Д.В., Крюков Е.В., Чуприна А.П. и др. Методические рекомендации по лечению боевой хирургической травмы. — М., 2022. — 373 с. [Trishkin DV, Kryukov EV, Chuprina AP, et al. Methodological recommendations for the treatment of combat surgical trauma. M., 2022. 373 p. (In Russ.)]
2. Брижань Л.К., Давыдов Д.В., Хомяков В.В., Керимов А.А., Арбузов Ю.В., Чирва Ю.В., Пыхтин И.В. Современное комплексное лечение раненых и пострадавших с боевыми повреждениями конечностей // Вестник Национального медико-хирургического Центра им. Н.И. Пирогова. — 2016. — №1. [Brizhan LK, Davydov DV, Khominets VV, Kerimov AA, Arbuzov YuV, Chirva YuV, Pykhtin IV. Modern complex treatment of wounded and injured with combat injuries of limbs // Bulletin of the National Medical and Surgical Center named after N.I. Pirogov. 2016; 1. (In Russ.)]
3. Военно-полевая хирургия: учебник / под ред. И.М. Самохвалова. — СПб.: ВМедА, 2021. — 494 с. [Military field surgery: textbook / I.M. Samokhvalov, editor. St. Petersburg: VMedA, 2021. 494 p. (In Russ.)]
4. Лазерные медицинские системы и медицинские технологии на их основе: Учебное пособие / В.П. Минаев — 4-е изд., испр. и доп. — Долгопрудный: Интеллект, 2020. — 360 с. [Laser medical systems and medical technologies based on them: Textbook / V.P. Minaev — 4th, revised and expanded edition. Dolgoprudny: Intellect, 2020. 360 p. (In Russ.)]
5. Karu T. Laser biostimulation: a photobiological phenomenon. J Photochem Photobiol B. 1989; 3(4): 638-640. doi:10.1016/1011-1344(89)80088-0.
6. Kreisler M, Christoffers AB, Willershausen B, d'Hoedt B. Effect of low-level GaAlAs laser irradiation on the proliferation rate of human periodontal ligament fibroblasts: an in vitro study. J Clin Periodontol. 2003; 30(4): 353-358. doi: 10.1034/j.1600-051x.2003.00001.x.
7. Posten W, Wrone DA, Dover JS, Arndt KA, Silapunt S, Alam M. Low-level laser therapy for wound healing: mechanism and efficacy. Dermatol Surg. 2005; 31(3): 334-340. doi: 10.1111/j.1524-4725.2005.31086.
8. Musstaf RA, Jenkins DFL, Jha AN. Assessing the impact of low level laser therapy (LLLT) on biological systems: a review. Int J Radiat Biol. 2019; 95(2): 120-143. doi: 10.1080/09553002.2019.1524944.
9. Москвин С.В. Основы лазерной терапии. Т.1. — М. — Тверь: Триада, 2016. — 896 с. — 192 ил. [Moskvin SV. Fundamentals of laser therapy. Vol.1. M. — Tver: Triada, 2016. 896 p. (In Russ.)]
10. Nair HKR, Chong SSY, Selvaraj DDJ. Photobiomodulation as an Adjunct Therapy in Wound Healing. Int J Low Extrem Wounds. 2023; 22(2): 278-282. doi: 10.1177/15347346211004186.
11. Lucas C, Criens-Poublon LJ, Cockrell CT, de Haan RJ. Wound healing in cell studies and animal model experiments by Low Level Laser Therapy: were clinical studies justified? a systematic review. Lasers Med Sci. 2002; 17(2): 110-134. doi: 10.1007/s101030200018.
12. King PR. Low level laser therapy: A review. Laser Med Sci. 1989; 4: 141-150. doi: 10.1007/BF02032427.
13. Wu YH, Wang J, Gong DX, Gu HY, Hu SS, Zhang H. Effects of low-level laser irradiation on mesenchymal stem cell proliferation: a microarray analysis. Lasers Med Sci. 2012; 27(2): 509-519. doi: 10.1007/s10103-011-0995-x.
14. Schindl A, Schindl M, Pernerstorfer-Schön H, Schindl L. Low-intensity laser therapy: a review. J Invest Med. 2000; 48(5): 312-326.
15. Avci P, Gupta A, Sadasivam M, et al. Low-level laser (light) therapy (LLLT) in skin: stimulating, healing, restoring. Semin Cutan Med Surg. 2013; 32(1): 41-52.
16. Tuner J, Hode L. Laser Therapy: Clinical Practice and Scientific Background: a Guide for Research Scientists, Doctors, Dentists, Veterinarians and Other Interested Parties Within the Medical Field. 2002. 591 p.
17. Bjordal JM, Couppé C, Chow RT, Tunér J, Ljunggren EA. A systematic review of low level laser therapy with location-specific doses for pain from chronic joint disorders. Aust J Physiother. 2003; 49(2): 107-116. doi: 10.1016/s0004-9514(14)60127-6.
18. Gigo-Benato D, Geuna S, Rochkind S. Phototherapy for enhancing peripheral nerve repair: a review of the literature. Muscle Nerve. 2005; 31(6): 694-701. doi: 10.1002/mus.20305.
19. King PR. Low level laser therapy: A review. Lasers in Medical Science. 1989; 4(3): 141-150. doi: 10.1007/bf02032427.
20. Huang YY, Chen AC, Carroll JD, Hamblin MR. Biphasic dose response in low level light therapy. Dose Response. 2009; 7(4): 358-383. doi: 10.2203/dose-response.09-027.Hamblin.
21. AlGhamdi KM, Kumar A, Moussa NA. Low-level laser therapy: a useful technique for enhancing the proliferation of various cultured cells. Lasers Med Sci. 2012; 27(1): 237-249. doi: 10.1007/s10103-011-0885-2.
22. Di Giacomo P, Orlando S, Dell'ariccia M, Brandimarte B. Low level laser therapy: laser radiation absorption in biological tissues. Appl Phys A. 2013; 112: 71-75. doi: 10.1007/s00339-012-7204-z.
23. Ng EY, Ooi EH. Ocular surface temperature: a 3D FEM prediction using bioheat equation. Comput Biol Med. 2007; 37(6): 829-835. doi: 10.1016/j.combiomed.2006.08.023.

24. Cvetkovic M, Peratta A, Poljak D. Thermal modelling of the human eye exposed to infrared radiation of 1064 Nm Nd:YAG And 2090 Nm Ho:YAG lasers. *Environ. Health Risk.* 2009; 14: 221-231. doi: 10.2495/EHR090221.
25. Mirnezami SA, Rajaei Jafarabadi M, Abrishami M. Temperature distribution simulation of the human eye exposed to laser radiation. *J Lasers Med Sci.* 2013; 4(4): 175-181.
26. Rohringer S, Holnthoner W, Chaudary S, et al. The impact of wavelengths of LED light-therapy on endothelial cells. *Sci Rep.* 2017; 7(1): 10700. doi: 10.1038/s41598-017-11061-y.
27. Jordal JM, Couppe C, Ljunggren AE. Low level laser therapy for tendinopathy: evidence of a dose-response pattern. *Physical Therapy Reviews* 2001; 6: 91-99. doi: 10.1179/108331901786166569.
28. 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.* 2012; 40(2): 516-533. doi: 10.1007/s10439-011-0454-7.
29. Husain Z, Alster TS. The role of lasers and intense pulsed light technology in dermatology. *Clin Cosmet Investig Dermatol.* 2016; 9: 29-40. doi: 10.2147/CCID.S69106.
30. Pustisek N, Situm M. UV-radiation, apoptosis and skin. *Coll Antropol.* 2011; 35(2): 339-341.
31. Zorina A, Zorin V, Kudlay D, Kopnin P. Molecular Mechanisms of Changes in Homeostasis of the Dermal Extracellular Matrix: Both Involuntal and Mediated by Ultraviolet Radiation. *Int J Mol Sci.* 2022; 23(12): 6655. doi: 10.3390/ijms23126655.
32. Поддубная О.А. Низкоинтенсивная лазеротерапия в клинической практике (Часть №1) // Вестник восстановительной медицины. — 2020. — №6(100). [Poddubnaya O.A. Low-intensity laser therapy in clinical practice (Part №1). *Bulletin of Restorative Medicine.* 2020; 6(100). (In Russ.)] doi: 10.38025/2078-1962-2020-100-6-92-99.
33. Sella VR, do Bomfim FR, Machado PC, da Silva Morsoleto MJ, Chohfi M, Plapler H. Effect of low-level laser therapy on bone repair: a randomized controlled experimental study. *Lasers Med Sci.* 2015; 30(3): 1061-1068. doi: 10.1007/s10103-015-1710-0.
34. Bayat M, Jalalifirouzkouhi A. Presenting a Method to Improve Bone Quality Through Stimulation of Osteoporotic Mesenchymal Stem Cells by Low-Level Laser Therapy. *Photomed Laser Surg.* 2017; 35(11): 622-628. doi: 10.1089/pho.2016.4245.
35. Bayat M, Virdi A, Jalalifirouzkouhi R, Rezaei F. Comparison of effects of LLLT and LIPUS on fracture healing in animal models and patients: A systematic review. *Prog Biophys Mol Biol.* 2018; 132: 3-22. doi: 10.1016/j.pbiomolbio.2017.07.004.
36. Kaub L, Schmitz C. More than ninety percent of the light energy emitted by near-infrared laser therapy devices used to treat musculoskeletal disorders is absorbed within the first ten millimeters of biological tissue. *Biomedicine.* 2022; 10(12): 3204. doi: 10.3390/biomedicine10123204.
37. Son J, Kim YB, Ge Z, Choi SH, Kim G. Bone healing effects of diode laser (808 nm) on a rat tibial fracture model. *In Vivo.* 2012; 26(4): 703-709.
38. Huertas RM, Luna-Bertos ED, Ramos-Torrecillas J, Leyva FM, Ruiz C, García-Martínez O. Effect and clinical implications of the low-energy diode laser on bone cell proliferation. *Biol Res Nurs.* 2014; 16(2): 191-196. doi: 10.1177/1099800413482695.
39. Medina-Huertas R, Manzano-Moreno FJ, De Luna-Bertos E, Ramos-Torrecillas J, García-Martínez O, Ruiz C. The effects of low-level diode laser irradiation on differentiation, antigenic profile, and phagocytic capacity of osteoblast-like cells (MG-63). *Lasers Med Sci.* 2014; 29(4): 1479-1484. doi: 10.1007/s10103-014-1557-9.
40. Stein E, Koehn J, Sutter W, et al. Initial effects of low-level laser therapy on growth and differentiation of human osteoblast-like cells. *Wien Klin Wochenschr.* 2008; 120(3-4): 112-117. doi:10.1007/s00508-008-0932-6.
41. Cios A, Cieplak M, Szymański Ł, et al. Effect of Different Wavelengths of Laser Irradiation on the Skin Cells. *Int J Mol Sci.* 2021; 22(5): 2437. doi: 10.3390/ijms22052437.
42. Ceballos A, Balmaseda R, Puente R, Pedroso M. CO2 laser surgery in osteomyelitis. *J Clin Laser Med Surg.* 1997; 15(5): 221-223. doi: 10.1089/clm.1997.15.221.
43. Prokopova LV, Nikolaeva NG, Maliarchuk NK. The use of the CO2 laser in the combined treatment of chronic osteomyelitis in children. *Klin Khir.* 1993; 2: 46-48.
44. Klepper KL, Chun YP, Cochran D, Chen S, McGuff HS, Mealey BL. Impact of Er: YAG laser on wound healing following nonsurgical therapy: A pilot study. *Clin Exp Dent Res.* 2019; 5(3): 250-258. doi: 10.1002/cre2.179.
45. Крочек И.В., Сергийко С.В., Привалов В.А. Лазерная остеоперфорация в лечении острого гематогенного остеомиелита. 10-летний опыт // Педиатр. — 2013. — №4. [Krochek IV, Sergiyko SV, Privalov VA. Laser osteoperforation in the treatment of acute hematogenous osteomyelitis. 10 years of experience. *Pediatrician.* 2013; 4. (In Russ.)]
46. Дробышев А.Ю. Тарасенко С.В., Гемонов В.В. Исследование регенерации костной ткани после лазерного и механического воздействия // Cathedra. — 2000. — №2. — С.53-55. [Drobyshev AYU Tarasenko SV, Hemonov VV. Investigation of the regeneration of stagnant tissue after laser and mechanical action. *Cathedra.* 2000; 2: 53-55. (In Russ.)]
47. Худяков И.С. Лазерная остеоперфорация в лечении болезни Осгуд-Шлаттера // Вестник СМУС74. — 2016. — №4(15). [Khudyakov IS. Laser osteoperforation in the treatment of Osgood-Schlatter disease. *Bulletin of SMUS74.* 2016; 4(15). (In Russ.)]
48. Bayat M, Azari A, Golmohammadi MG. Effects of 780-nm low-level laser therapy with a pulsed gallium aluminum arsenide laser on the healing of a surgically induced open skin wound of rat. *Photomed Laser Surg.* 2010; 28(4): 465-470. doi: 10.1089/pho.2008.2450.
49. Koutna M, Janisch R, Unucka M, Svobodnik A, Mornstein V. Effects of low-power laser irradiation on cell locomotion in protozoa. *Photochem Photobiol.* 2004; 80(3): 531-534. doi: 10.1562/0031-8655(2004) 080.
50. Исаханова Н.В., Рогов Л.А. Клиническая эффективность магнитно-лазерной терапии огнестрельных ран // Вятский медицинский вестник. — 2003. [Isakhanova NV, Rogov LA. Clinical efficacy of magnetic laser therapy of gunshot wounds. *Vyatka Medical Bulletin.* 2003. (In Russ.)]