

Влияние лазерного излучения на репаративный остеогенез и ремоделирование костной ткани челюстно-лицевой области. Часть II*

А.А. ЧУНИХИН, к. м. н., доцент
Э.А. БАЗИКЯН, д. м. н., профессор, зав. кафедрой
Кафедра хирургии полости рта
ФГБОУ ВО МГМСУ им. А. И. Евдокимова Минздрава РФ

Effect of laser radiation on reparative osteogenesis and remodeling of bone tissue in the maxillofacial region. Part II

A.A. CHUNIKHIN, E.A. BAZIKYAN

Резюме

Изучение эффективности воздействия лазерного излучения на репаративный остеогенез челюстных костей является предметом постоянного научного поиска и исследований российских и зарубежных ученых. В обзоре литературы подробно изучены множественные метаанализы исследований в данной области, проведен анализ экспериментальных исследований по влиянию лазерного излучения на обменные процессы в костной ткани челюстных костей. Подробно рассмотрены перспективы развития лазерных технологий для повышения эффективности влияния на репаративный остеогенез, возможности усовершенствования и стандартизации протоколов лазеротерапии для дальнейшего внедрения в клиническую практику новых лазерных технологий. Проведенный анализ данных научной литературы позволяет сделать вывод о необходимости дальнейшего совершенствования и развития лазерной техники для использования в комплексной терапии при ремоделировании костной ткани челюстно-лицевой области.

Ключевые слова: ремоделирование костной ткани, фотодинамическая терапия, низкоинтенсивное лазерное излучения, диодный лазер, репаративный остеогенез челюстных костей, синглетный кислород, фотосенсибилизатор.

Abstract

The study of the effectiveness of laser radiation on reparative osteogenesis of the jaw bones is the subject of constant scientific research and research by Russian and foreign scientists. In the review of the literature, multiple meta-analyses of studies in this field were studied in detail, an analysis of experimental studies on the effect of laser radiation on metabolic processes in the bone tissue of the jaw bones was carried out. The prospects of development of laser technologies for increasing the effectiveness of influence on reparative osteogenesis, possibilities for improvement and standardization of laser therapy protocols for further introduction into clinical practice of new laser technologies are considered in detail. The analysis of scientific literature data allows us to conclude that it is necessary to further improve and develop laser technology for use in complex therapy for remodeling bone tissue in the maxillofacial region.

Key words: bone tissue remodeling, photodynamic therapy, low-intensity laser radiation, diode laser, reparative osteogenesis of jaw bones, singlet oxygen, photosensitizer.

В стоматологической практике низкоинтенсивное лазерное излучение часто используется для интенсификации процессов ремоделирования костной ткани при ортодонтическом лечении. В анализе научной литературы, проведенной Susanne Chiari [8] (2016), отмечено многими исследователями, что использование метода лазерной фотобиомодуляции при перемещении зубов не только способствует снижению болевого синдрома, но и ускоряет движение зубов и регенерацию костной ткани. Однако автор считает, что для использования в ежедневной ортодонтической практике низкоинтенсивного лазерного излучения необходимо разработать правильный протокол, обеспечивающий эффективные результаты, для чего нужно провести еще множество исследований, в том числе

по поиску оптимальных параметров лазерного излучения, таких как длина волны, мощность излучения, плотность энергии светового потока. Fujita S. et al. [11] (2008) рассмотрел влияние лазерного излучения с длиной волны 810 нм и мощностью излучения 100 мВт на остеокластогенез в выражении системы RANK, RANKL и OPG при перемещении зубов. Результаты этого исследования показали, что ускорение движения зубов под действием лазерной терапии происходит за счет активации системы RANKL/RANK, тогда как показатели OPG не отличались в группах с облучением и без облучения. В 2010 году Altan BA et al. [7] провели подобное исследование с лазерным излучением длиной волны 820 нм и изучением его влияния на лиганд-рецепторную систему RANK/RANKL/OPG с помощью

* Часть I см. "Пародонтология" №3/2018

иммуногистохимического анализа. Полученные результаты схожи с исследованием Fujita et al.: низкоинтенсивное лазерное излучение ускоряет процесс ремоделирования костной ткани путем стимуляции остеобластной и остеокластной клеточной пролиферации, а также стимуляции их функций при ортодонтическом перемещении зубов.

Еще один важный аспект в остеокластогенезе был рассмотрен Yamaguchi M. et al. [22] (2010), которые изучили влияние низкоинтенсивного лазерного излучения на экспрессию MMP9, катепсин К и субъединицы интегрин α (v) β 3 во время экспериментального движения зубов. В эксперименте использовались 50 самцов крыс штамма Wistar в возрасте 6 недель. К молярам с помощью ортодонтической пружины была приложена сила 10 Н/мм² для их перемещения. Для облучения области вокруг перемещаемого зуба использовался диодный лазер с длиной волны 810 нм, непрерывным режимом излучения и мощностью излучения 100 мВт, а через 7 дней измерялось расстояние перемещения зуба с помощью гипсовых моделей после снятия силиконового оттиска с челюстей крыс на 1-й, 2-й, 3-й, 4-й и 7-й дни. Модели сканировались с использованием трехмерного измерительного устройства контактного типа, и затем проводился их расчет с помощью компьютерной программы. Кроме этого, исследователи проводили иммуногистохимическое исследование для изучения экспрессии MMP-9, катепсина К и субъединиц интегрин α (v) β 3. Полученные данные свидетельствуют о том, что лазерное излучение ускоряет процесс перемещения зубов, что показано на расчетных моделях, а количество MMP-9, катепсина К и интегрин α (v) β 3 на 2-7 сутки выше в группе с использованием лазерного излучения от 1,4 до 4,0 раза в различные периоды наблюдения по сравнению с группой контроля.

В 2013 году описано подобное исследование Kim S. J. et al. [13] после проведения перемещения зубов у крыс с применением для биомодуляции лазера с длиной волны 780 нм, непрерывным режимом излучения, выходной мощностью 70 мВт, в контактном режиме с тканями полости рта с дозой излучения 5 Дж/см², экспозицией 3 сек. с целью изучения влияния лазерного излучения на ткани периодонта в ретенционном периоде наблюдения для удержания зубов нужном положении и профилактики рецидивов. Был проведен количественный анализ экспрессии мРНК матриксных металлопротеиназ. Результаты показали, что низкоинтенсивное лазерное излучение в ретенционном периоде после ортодонтического лечения сокращает период принудительной фиксации зубов в новом положении путем ускорения периодонтального ремоделирования при использовании фиксаторов (ретеннеров), тогда как воздействие лазерного излучения в данном периоде на зубы без ретеннеров провоцирует развитие рецидива.

Cossetin E. et al. [10] (2013) изучил влияние лазерного излучения с длиной волны 808 нм на процесс ремоделирования костной ткани с помощью гистоморфометрического исследования. Моделирование движения зубов у крыс проводилось по методике, описанной в предыдущем исследовании, с помощью пружины в двух группах — экспериментальной и контрольной. Экспериментальная группа была разделена на несколько подгрупп по продолжительности применения лазерной терапии. В эксперименте применяли следующие параметры лазерного излучения:

выходная мощность 100 мВт, диаметр оптического волокна 0,6 мм, плотность энергии светового лазерного излучения составляла 642 Дж/см². Гистологические срезы изучали на наличие и количество в поле зрения микрооскопа активных остеобластов и остеокластов. Результаты эксперимента показали, что данный вид лазерного излучения стимулирует остеокластогенез на начальном этапе в первые 7 суток, дальнейшее облучение лазером провоцирует ингибирование продукции остеокластов. В то же время данный тип лазерного излучения не показал влияния на остеокластогенез на всех этапах наблюдения. Данные позволяют сделать вывод, что использование лазерного излучения с данными параметрами не способствует в полной мере процессу ремоделирования костной ткани, активируя в большей степени резорбтивные процессы.

Подобное исследование было описано в 2016 году Vasconcelos E. C. et al. [21], в котором использовали лазер с точно такими же характеристиками, как в описанном предыдущем исследовании с изучением резорбции корней после проведения ортодонтического перемещения зубов. С помощью гистоморфометрического метода оценивали результаты, которые не продемонстрировали статистически значимого влияния низкоинтенсивного лазерного излучения на резорбцию корня перемещаемого зуба. Авторами сделан вывод, что лазерное излучение не оказывает существенного влияния на процессы резорбции или восстановления корня зуба при перемещении зубов и не показано для применения с этой целью в клинической практике.

Shirazi M. et al. [20] в 2013 году провели аналогичные экспериментальные исследования с лазеротерапией костного ремоделирования длиной волны 660 нм, мощностью 25 мВт в непрерывном режиме с экспозицией 5 мин. Через 14 дней после проведенного лечения измерялось расстояние перемещения зубов в челюсти в сравнительном аспекте в экспериментальной группе с применением лазеротерапии и контрольной группе без использования лазера. Результаты исследования показали значительно большее перемещение зубов в группе с применением лазерной стимуляции костного ремоделирования в 2,3 раза по сравнению с контрольной группой. Кроме этого, были проведены гистологические исследования, которые показали большее количество остеокластов в костной ткани в группе с применением лазерного излучения в 1,5 раза по сравнению с контрольной. Авторы утверждают, что применение низкоинтенсивного лазерного излучения ускоряет ремоделирование костной ткани, но в то же время отмечают, что для использования такой методики в клинической практике необходимо проведение дополнительных исследований с целью поиска оптимальных параметров и дозы лазерного излучения.

В 2017 году Gomes M. F. et al. [12] описано исследование, проведенное с применением диодного лазера с длиной волны 780 нм, выходной мощностью 20 мВт и волоконным зондом с размером пятна 0,04 см в диаметре, плотностью энергии излучения 640 Дж/см² и временем экспозиции 40 сек., при его воздействии на альвеолярную кость в процессе ремоделирования костной ткани при ортодонтическом движении зубов у крыс с моделированным сахарным диабетом в сравнении с соматически здоровыми крысами. Ортодонтическое перемещение моляров

осуществляли с помощью пружины, зафиксированной одним концом к моляру, другим — к центральному резцу, так чтобы сила давления составляла 20 Н/см². Проведенные гистоморфометрический и иммуногистохимические исследования показали, что лазерная фотобиомодуляция существенно влияет на ускорение ремоделирования костной ткани при перемещении зубов через регуляцию механизмов остеобразования и остеорезорбции, как на стороне давления, так и на стороне растяжения. Количество остеопонтин-положительных остеоцитов и остеопротегерин-положительных остеобластов было значительно больше в группах с применением лазерного излучения на всех этапах наблюдения, в том числе у крыс с сахарным диабетом, что позволяет сделать вывод о перспективности применения данной технологии в клинической практике у пациентов с сахарным диабетом при проведении ортодонтического лечения с целью поддержания непрерывного ремоделирования альвеолярных костей и поддержания целостности периодонта.

Зарубежными учеными изучено влияние лазерного излучения на остеорепаративные процессы с применением ксеногенных костных материалов и коллагеновых губок. Так, в своем экспериментальном исследовании de Oliveira L. S. S. et al. [17] (2017) оценили влияние низкоинтенсивного лазерного излучения совместно с применением коллагеновых матриц (скаффолдов) (CSS) на восстановительные процессы в костной ткани черепных костей крыс. Животных делили на четыре группы. В каждой группе был сформирован хирургическим путем дефект в черепной коробке диаметром 5 мм, затем в первой группе никакого дополнительного лечения не проводили, во второй использовали CSS для закрытия дефекта, в третьей группе проводили лазеротерапию с применением следующих параметров лазерного излучения: длина волны 780 нм, общая плотность энергии лазерного излучения 120 Дж/см², мощность 50 мВт без использования коллагеновых скаффолдов, в четвертой группе использовали коллагеновые скаффолды для закрытия дефекта и применяли лазеротерапию с параметрами излучения, идентичными со второй группой. Животных выводили из эксперимента на 21 и 30 сутки и проводили оценку регенерации по многим параметрам, в частности, с использованием рентгенологической диагностики, гистологической и иммунофлуоресцентного анализа. Анализ рентгенограмм на 30 сутки наблюдения показал увеличение образования кости в группе с одновременным применением лазеротерапии и коллагеновых скаффолдов по сравнению с остальными группами. Гистоморфометрическое исследование продемонстрировало подобные результаты — количество остеобластов было в значительной степени больше, а количество воспалительных клеток значительно меньше в четвертой группе по сравнению с остальными группами. С помощью иммуногистохимического исследования оценивали трансформирующий фактор роста-бета (TGF- β), фактор роста фибробластов-2 (FGF-2), остеопротегерин (OPG) и рецептор активатор ядерного фактора (RANK). Результаты иммуногистохимической оценки также продемонстрировали лучший результат при совместном использовании коллагенового матрикса и низкоинтенсивного лазерного излучения для стимуляции остеогенеза. Остеокальцин (OCN) был обнаружен

с помощью иммунофлуоресцентного анализа, который показал большее его количество в четвертой группе. Выводы авторы утверждают, что использование коллагеновых скаффолдов совместно с низкоинтенсивным лазерным излучением обеспечивает синергетическое преимущество в улучшении заживления костных дефектов.

Подобные исследования с несколько измененным дизайном и определением сосудистых эндотелиальных факторов роста (VEGF), остеокальцина (OC) и остеопонтина (OP) с помощью иммуногистохимического анализа были проведены Marques L. [15] в 2015 году. Результаты показали, что применение низкоинтенсивного лазерного излучения с длиной волны 830 нм ускоряет процесс заживления костей в ранние периоды после проведения хирургического вмешательства.

Системный анализ литературы провели Obradovic R. R., Kesic L. G., Pesevska S. [16] в 2009 году. В обзоре авторы проанализировали многочисленные исследования по влиянию низкоинтенсивного лазерного излучения на восстановление альвеолярной кости и интеграцию костных биоимплантатов при проведении пародонтологического лечения. В заключение авторы отмечают, что развитие лазерных технологий является одним из наиболее перспективных методов лечения для улучшения интеграции костных биоматериалов. Низкоинтенсивная лазерная терапия является мощным стимулирующим компонентом терапии при выявлении отрицательных факторов, обуславливающих слабую остеоинтеграцию, что позволяет найти широкое применение лазерным технологиям в стоматологической практике. Следует отметить, что проведенная авторами выборка исследований показывает применение лазерного излучения для стимуляции остеогенеза и интеграции биоматериалов, с использованием лазерных аппаратов с длинами волн, которые давно и успешно применяются в мягкотканной хирургии и стимулирующей терапии, а именно, в дальнем красном и ближнем инфракрасном диапазоне от 440 до 980 нм.

Более современный анализ научных источников проведен Santinoni C. D. [18] et al. в 2017 году: проведена оценка эффективности низкоэнергетической лазерной терапии для стимуляции процессов ремоделирования костной ткани в челюстно-лицевой области по результатам клинических исследований с применением различных лазерных систем с различными длинами волн от 500 до 1000 нм при удалении зубов, дистракционном остеогенезе, лечении пародонтитов, ортодонтическом перемещении зубов, лечении кист челюстей. По результатам проведенного метаанализа авторы пришли к выводу о том, что низкоинтенсивное лазерное излучение оказывает влияние на увеличение плотности костной ткани в постоперационном периоде, оказывает противовоспалительный и анальгетический эффекты, способствует ускорению процессов регенерации, что положительно сказывается в целом на качестве жизни пациентов и улучшения здоровья полости рта. Однако авторами отмечено, что протоколы применения лазерной терапии при хирургическом лечении различной патологии челюстно-лицевой области, связанной с регенерацией костной ткани, должны быть стандартизованы, прежде чем внедрить данные методики в широкую стоматологическую практику.

В последнее время в отечественной научной литературе появились немногочисленные описания экспериментальных исследований по воздействию лазерного излучения на процессы ремоделирования костной ткани в челюстно-лицевой области. В 2016 году Щетинин Е.В. с соавт. [6] (2016) провели экспериментальное исследование по определению эффективности лазерного излучения в регенерации костной ткани нижней челюсти с помощью гистологического метода. Экспериментальным животным (кроликам породы Шиншилла 4-5-месячного возраста) под общей анестезией проводили разрез мягких тканей вдоль края тела нижней челюсти длиной до 2 см, затем с помощью твердосплавного бора и физиодиспенсера с охлаждением физиологическим раствором создавали два отверстия в боковых отделах нижней челюсти диаметром по 5 мм, края раны ушивали. В послеоперационном периоде проводили лазеротерапию с использованием импульсного лазерного излучения с длиной волны 900 нм длительностью импульса 250 нс с экспозицией 20 минут три раза в сутки, ежедневно до момента выведения животных из эксперимента через 7, 14, 21, 35 и 50 суток с отбором проб тканей для гистологических исследований. По данным гистологического исследования, на стороне эксперимента уже на 7 сутки определяется образование костных балок, в то время как в препаратах контроля дефект выполнен лишь клеточно-волоконистой соединительной тканью. На основании проведенных исследований авторы делают вывод, что лазерное излучение способствует интенсификации остеогенеза на ранних стадиях репаративной регенерации за счет стимуляции образования первичных зародышевых кристаллов гидроксиапатита на фибриллах коллагена и усиления кальцификации остеонидных структур. Метод лазеротерапии для ускорения регенерации костной ткани с использованием лазерного излучения с подобными параметрами, отличающимися частотой импульса 100 нс, длительностью экспозиции 10 мин., описан Гатилю Ю.Ю. [1] в 2016 году в экспериментальном исследовании на крысах с изучением влияния на активность щелочной фосфатазы кости челюстей при неосложненном переломе нижней челюсти и травматическом остеомиелите. В экспериментальных группах животных моделировали перелом нижней челюсти с последующим развитием травматического остеомиелита. В первой группе моделировали дополнительно открытый перелом и проводили лазеротерапию с определенными параметрами, во второй группе с открытым переломом заживление проходило без использования лазерного излучения, в третьей группе с закрытым переломом проводили лазеротерапию, в четвертой группе с закрытым переломом заживление проходило без использования лазерного излучения, пятая группа — контрольная — без травмы. После выведения животных из эксперимента для исследования брали образцы из области перелома, гомогенизировали, фермент из гомогената экстрагировали 0,9% раствором хлорида натрия, центрифугировали, супернатант использовали для определения щелочной фосфатазы в микромолях в 1 мин. на 1 г ткани с определением среднего значения в каждой группе с использованием подсчета по вариационно-статистическим методам. Автором установлено стимулирующее влияние лазерного излучения на активность щелочной фосфатазы кости нижней челюсти при травматическом

остеомиелите и неосложненном переломе нижней челюсти.

Проанализированные исследования отечественных и зарубежных ученых по влиянию лазерного излучения на процессы ремоделирования костной ткани позволяют сформировать несколько выводов, являющихся, на наш взгляд, существенными для понимания механизмов воздействия лазерного излучения на репаративный остеогенез и способствующими выработке вектора дальнейших экспериментальных исследований, а также развития и совершенствования лазерной медицинской техники.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С момента открытия световых волн использование лазерного излучения находит свое широкое применение в медицинской практике. В последние годы лазерные технологии в медицине получили новый виток развития в связи с совершенствованием методик, изучением физических параметров новых длин волн и гармоник лазерного излучения и их воздействия на различные процессы в организме человека [4, 5, 9]. Лазерные технологии находят все большее применение в микрохирургии, в регенеративной медицине, в том числе при использовании в челюстно-лицевой области для стимуляции репаративного остеогенеза. Модуляция ремоделирования костной ткани в челюстно-лицевой области является важным аспектом терапии в постоперационном периоде при проведении обширных вмешательств, связанных с реконструкцией лицевого скелета для ускорения регенерации костной ткани. На этапах лечения при проведении ортодонтического лечения, лечения болезней пародонта воздействие биомодулирующего эффекта лазерного излучения может обеспечивать непрерывность ремоделирования альвеолярных костей и поддержание целостности периодонта, способствовать быстрой регенерации тканей и устойчивой ремиссии за счет активации регенерации кости на ранних этапах лечения.

Множество экспериментальных исследований последних лет свидетельствует о влиянии лазерного излучения на процессы ремоделирования костной ткани челюстно-лицевой области. Многие исследователи отмечают уменьшение воспаления в постоперационном периоде после проведения костно-пластической хирургии, стимуляцию процесса ремоделирования костной ткани, ускорение процесса регенерации тканей при включении в комплексное лечение лазерной терапии с различными параметрами излучения. Проведенные и описанные экспериментальные исследования по ремоделированию костной ткани челюстно-лицевой области с использованием лазерного излучения доказывают эффективность данной методики и рекомендованы к применению в клинической практике.

Однако анализ научных публикаций по данной тематике показывает, что авторами используются в экспериментальных исследованиях лазерные аппараты с определенными длинами волн инфракрасного диапазона, частотой излучения, основными эффектами которых многократно изучены. Многие авторы отмечают статистически неотличимые результаты при проведении лазеротерапии с известными параметрами лазерного излучения по воздействию на процесс ремоделирования костной ткани в сравнении с традиционными методиками регенерации кости без использования лазерного излучения. Кроме этого, в выводах

большинства проведенных исследований авторами отмечается необходимость поиска высокоэффективного протокола лазеротерапии для ускорения ремоделирования костной ткани при проведении лечения в челюстно-лицевой области.

Анализ проведенной выборки научной литературы по использованию лазерного излучения в ремоделировании костной ткани показал, что разработка новых лазерных аппаратов для применения в стоматологии, имеющих принципиально новые гармоники лазерного излучения (длина волны, частота излучения, импульсность), способствующие интенсификации процессов костного ремоделирования в челюстно-лицевой области, уменьшению воспалительных реакций, снижению болевого синдрома, будет являться прорывом в лазерной медицинской технике и позволит разработать безопасные протоколы лечения для применения в клинической практике.

Изучение фотохимических эффектов воздействия лазерного излучения на ткани показало возможность активных форм кислорода в зависимости от концентрации проявлять либо выраженное деструктивное воздействие на клетки, либо биостимулирующее действие. Возможность прямой генерации синглетного кислорода в тканях без использования фотосенсибилизаторов в концентрациях, способствующих биомодуляции, в том числе регенеративных процессов в костной ткани, в максимуме поглощения с длиной волны около 1270 нм доказана в исследованиях на биохимических средах и биологических субстратах. Новые лазерные медицинские технологии представляют на сегодняшний день возможность использования двух источников излучения с различными длинами волн в одном когерентном световом пучке, что, по мнению ученых, будет способствовать суммированию световых фотонов и насыщению тканей синглетным кислородом [2, 3, 19]. Использование импульсного режима излучения в ультракоротком диапазоне (наносекундный, фемтосекундный и т.д.) позволит проникать световому потоку глубже в ткани за счет пиковой высокой мощности излучения, при этом не подвергая их нагреву.

Разработка, создание и внедрение в клиническую практику таких лазерных аппаратов позволит провести экспериментальные исследования по эффективности воздействия новых гармоник лазерного излучения на ремоделирование костной ткани и стандартизировать протоколы лазеротерапии при проведении различных вмешательств в челюстно-лицевой области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гатило Ю. Ю. Роль полупроводникового лазера инфракрасного диапазона в активизации окислительно-восстановительных процессов при переломе нижней челюсти и травматическом остеомиелите // Научный альманах. 2016. № 3-3(17). С. 248-253.
2. Генинг Т. П., Воронова О. С., Долгова Д. Р., Абакумова Т. В., Золотовский И. О., Шолохов Е. М., Курков А. С., Генинг С. О. Анализ эффективности использования непрерывного лазерного излучения с длиной волны 1265 нм для инициирования оксидативного стресса в ткани солидной злокачественной опухоли // Квантовая электроника. 2012. 42. № 9. С. 805-807.

Gening T. P., Voronova O. S., Dolgova D. R., Abakumova T. V., Zolotovskii I. O., Sholokhov E. M., Kurkov A. S., Gening S. O. Analiz effektivnosti ispol'zovaniya nepreryvnogo lazernogo izlucheniya s dlinoi volny 1265 nm dlya initsirovaniya oksidativnogo stressa v tkani solidnoi zlokachestvennoi opukholi // Kvantovaya elektronika. 2012. 42. № 9. S. 805-807.

3. Колесников В. Г., Древал Н. В., Каменев Ю. Е., Комарь Г. И., Корж В. Г. Метод оценки электромагнитного отклика биологической системы при воздействии лазерного излучения // Физика живого. 2008. Т. 16. № 2. С. 70-77.

Kolesnikov V. G., Dreval N. V., Kamenev Yu. E., Komar G. I., Korzh V. G. Metod otsenki elektromagnitnogo otklika biologicheskoi sistemy pri vozdeistvii lazernogo izlucheniya // Fizika zhivogo. 2008. T. 16. № 2. S. 70-77.

4. Чунихин А. А., Базилян Э. А., Красновский А. А., Сырникова Н. В., Чобанян А. Г. Перспективы совершенствования малоинвазивных лазерных технологий в фотодинамической терапии стоматологических патологий // Российская стоматология. 2015. № 2. С. 70-74.

Chunikhin A. A., Bazikyan E. A., Krasnovskii A. A., Syrnikova N. V., Chobanyan A. G. Perspektivy sovershenstvovaniya maloinvazivnykh lazernykh tekhnologiy v fotodinamicheskoi terapii stomatologicheskikh patologii // Rossiiskaya stomatologiya. 2015. № 2. S. 70-74.

5. Чунихин А. А., Саакян М. Ю., Гажва С. И., Базилян Э. А. Разработка наносекундного лазерного модуля, встраиваемого в роботизированный многофункциональный хирургический комплекс для малоинвазивной терапии патологии челюстно-лицевой области и определение эффектов его воздействия на плазму крови. // Современные технологии в медицине. 2016. Т. 8 (№ 4). С. 30-35. — doi.org/10.17691/stm2016.8.4.04.

Chunikhin A. A., Saakyan M. Yu., Gazhva S. I., Bazikyan E. A. Razrabotka nanosekundnogo lazernogo modulya, vstraivayemogo v robotizirovannyi mnogofunktsional'nyi khirurgicheskii kompleks dlya maloinvazivnoi terapii patologii chelyustno-litsevoi oblasti i opredelenie effektivnosti ego vozdeistviya na plazmu krovi // Sovremennye tekhnologii v meditsine. 2016. T. 8 (№ 4). S. 30-35. — doi.org/10.17691/stm2016.8.4.04.

6. Щетинин Е. В., Сирак С. В., Быкова Н. И., Адамчик А. А., Петросян Г. Г., Гатило Ю. Ю., Кошель И. В. Механизмы репаративного остеогенеза при воздействии импульсного лазерного излучения инфракрасного диапазона // Медицинский вестник Северного Кавказа. 2016. Т. 11 (4). С. 556-560.

Shchetinin E. V., Sirak S. V., Bykova N. I., Adamchik A. A., Petrosyan G. G., Gatilo Yu. Yu., Koshel' I. V. Mekhanizmy reparativnogo osteogeneza pri vozdeistvii impul'snogo lazernogo izlucheniya infrakrasnogo diapazona // Meditsinskii vestnik Severnogo Kavkaza. 2016. T. 11 (4). S. 556-560.

7. Altan B. A., Sokucu O., Ozkut M. M., Inan S. Metrical and histological investigation of the effects of low-level laser therapy on orthodontic tooth movement // Lasers Med Sci. 2012. № 27 (1). P. 131-140. — doi: 10.1007/s10103-010-0853-2.

8. Chiari S. Photobiomodulation and Lasers // Front Oral Biol. 2016. № 18. P. 118-123. — doi: 10.1159/000351906.

9. Chunikhin A. A., Bazikyan E. A., Pikhtin N. A. A laser unit for photodynamic therapy and robot-assisted microsurgery in dentistry // Tech. Phys. Lett. 2017. № 43 (6). P. 507-510. — doi: 10.1134/S1063785017060074.

10. Cossetin E., Janson G., Carvalho M. G. de, Carvalho R. A. de, Henriques J. F., Garib D. Influence of low-level laser on bone remodeling during induced tooth movement in rats // Angle Orthod. 2013. Nov. № 83 (6). P. 1015-1021. — doi: 10.2319/100812-789.1.

• Полный список литературы находится в редакции.

Поступила 05.06.2018

Координаты для связи с авторами:
127006, Москва, ул. Долгоруковская, д. 4
E-mail: docca74@yandex.ru