

10. Petrishchev N.N., Zubov B.V., Dementieva I.N. Comparative study of the effect of modulated LED irradiation of blood (630 nm, 450 nm) on platelet aggregation activity. *Lasernaya medicina*. 2011; 14 (3): 49–52. [In Russ.].
11. Ulashchik V.S. Photodynamic therapy – technology of the XXI century. *Fizioterapiya, balneologiya i reabilitatsiya*. 2013; 1: 36–43. [In Russ.].
12. Efferent therapy. ed. A.L. Kostyuchenko. St-Petersburg: Foliant. 2003, 432. [In Russ.].
13. Breitbart H., Levinshal T., Cohen N. et al. Changes in calcium transport in mammalian sperm mitochondria and plasma membrane irradiated at 633 nm (HeNe laser). *J. of Photochemistry and Photobiology B*. 1996; 34 (2–3): 117–121.
14. Freitag J., Barnard A., Rotstein A. Photoactivated platelet-rich plasma therapy for a traumatic knee chondral lesion. *BMJ Case Rep*. 2012; P. bcr2012006858.
15. Løvschall H., Arenholt-Bindslev D. Effect of low level diode laser irradiation of human oral mucosa fibroblasts *in vitro*. *Lasers in Surgery and Medicine*. 1994; 14 (4): 347–354.
16. Lubart R., Friedmann H., Sinyakov M. et al. The effect of HeNe laser (633 nm) radiation on intracellular Ca²⁺ concentration in fibroblasts. *Laser Therapy*. 1997 (1); 9 (3): 115–120.
17. Paterson K.L., Nicholls M., Bennell K.L. et al. Intra-articular injection of photo-activated platelet-rich plasma in patients with knee osteoarthritis: a double-blind, randomized controlled pilot study. *BMC Musculoskelet Disord*. 2016; 17: 67.
18. Zhevago N.A., SamoiloVA K.A. Pro- and anti-inflammatory cytokine content in human peripheral blood after its transcutaneous (*in vivo*) and direct (*in vitro*) irradiation with polychromatic visible and infrared light. *Photomed Laser Ther*. 2006; 24 (2): 129–139.

УДК 616.31:615.849.19

ЛАЗЕРНАЯ ТЕРАПИЯ КВАЗИНЕПРЕРЫВНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ 1265 НМ В ЛЕЧЕНИИ БОЛЕЗНЕЙ ПАРОДОНТА (ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ)

А.А. Чунихин¹, Э.А. Базикян¹, А.В. Иванов^{2,3}, И.П. Шилов⁴

¹Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова, Москва, Россия

²ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава РФ, Москва, Россия

³ФГБУ «ГНЦ ЛМ им. О.К. Скобелкина ФМБА России», Москва, Россия

⁴Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Фрязинский филиал, г. Фрязино, Московская область, Россия

Резюме

Цель – определение оптимальных мощностных и экспозиционных характеристик лазерного воздействия 1265 нм при лечении болезней пародонта экспериментальных животных. *Материал и методы*. В исследовании участвовало 30 крыс линии Вистар, которым после моделирования пародонтита с использованием «лигатурной» методики проводили лазерную терапию с использованием квазинепрерывного лазерного излучения с длиной волны 1265 нм с различной мощностью и экспозицией. Результаты лечения оценивали на 7-е сутки после начала лечения по объективным признакам состояния тканей в полости рта животных и с помощью морфологического исследования, в котором оценивали состояние тканей пародонта, наличие реактивного воспаления, наличие фрагментов некроза альвеолярной кости. *Результаты*. Осмотр в полости рта животных показал наилучшие результаты терапии в группах с параметрами излучения 1,6 Вт – 300 с и 1,8 Вт – 180 с. При этом морфологический анализ в данных группах также определил наилучший результат. *Заключение*. Оптимальными и эффективными терапевтическими режимами являются средняя мощность излучения 1,6 Вт в течение 300 с (480 Дж) и 1,8 Вт в течение 180 с (324 Дж).

Ключевые слова: пародонтит, лазеротерапия болезней пародонта, квазинепрерывное лазерное излучение 1265 нм.

Для цитирования: Чунихин А.А., Базикян Э.А., Иванов А.В., Шилов И.П. Лазерная терапия квазинепрерывным излучением 1265 нм в лечении болезней пародонта (экспериментальное исследование) // Лазерная медицина. – 2019. – Т. 23. – Вып. 2. – С. 31–36.

Контакты: Иванов А.В., e-mail: ivavi@yandex.ru

LASER THERAPY WITH 1265 NM QUASI-CONTINUOUS IRRADIATION FOR TREATMENT OF PERIODONTAL DISEASES (AN EXPERIMENTAL TRIAL)

Chunikhin A.A.¹, Bazikyan E.A.¹, Ivanov A.V.^{2,3}, Shilov I.P.⁴

¹A.I. Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Moscow, Russia

²N.N. Blokhin NMRC of Oncology, Moscow

³Skobelkin State Scientific Center of Laser Medicine, Moscow, Russia

⁴V.A. Kotelnikov Institute of Radioengineering and Electronics, RAS, Fryazino, Russia

Abstract

Purpose. To determine optimal power and exposure characteristics of laser procedures with 1265 nm laser light for treating periodontal diseases in experiment. *Materials and methods*. 30 Wistar rats were taken into the study. After modeling periodontitis in these animals with the ligature technique, they had laser treatment with 1265 nm quasi-continuous laser light using various power and exposure parameters. The effectiveness of the discussed therapy was assessed on day 7 after the trial beginning. The following objective parameters were analyzed: state of tissues in the oral cavity; morphological picture in periodontal tissues, presence of reactive inflammation and necrotic fragments in the alveolar bone. *Results*. The obtained findings has demonstrated that the best results were seen in the groups of animals where irradiation parameters were 1.6 W – 300 s and 1.8 W – 180 s. Similarly, morphological picture was also the best in these groups. *Conclusion*. The most effective and optimal therapeutic regimes are: average power 1.6 W for 300 s (480 J) and 1.8 W for 180 s (324 J).

Keywords: periodontitis, laser therapy of periodontal diseases, 1265 nm quasi-continuous laser irradiation.

For citations: Chunikhin A.A., Bazikyan E.A., Ivanov A.V., Shilov I.P. Laser therapy with 1265 nm quasi-continuous irradiation for the treatment of periodontal diseases (an experimental trial). *Lasernaya Medicina*. 23 (2): 31–36. [In Russ.].

Contacts: Ivanov A.V., e-mail: ivavi@yandex.ru

Введение

В структуре стоматологической патологии болезни пародонта занимают ведущее место и являются наиболее частой причиной потери зубов в молодом возрасте [16]. Лечение заболеваний пародонта с применением лазерных технологий является перспективным направлением [2, 11, 12, 22]. Изучение возможностей биостимулирующего действия лазерного излучения на регенеративные процессы в пародонте при лазерной микрохирургии тканей пародонта является предметом особых исследований [6, 19].

Результат воздействия лазерного излучения на биологические ткани напрямую зависит от его параметров: длины волны, мощности, режима генерации (непрерывный или импульсный) и т. д., что обуславливает нагрев, коагуляцию, испарение, абляцию, либо биостимуляцию, основанную, как правило, на первичных фотохимических реакциях [17]. Одним из современных методов лазеротерапии, основанных на фотохимических реакциях в тканях и имеющих выраженную малоинвазивность и органосохраняющую направленность, является фотодинамическая терапия (ФДТ) [13, 18]. В её основе лежит свойство фотосенсибилизатора под действием света возбуждать молекулярный кислород, переводя его в высокореактивное синглетное состояние с последующим образованием долгоживущих активных форм кислорода, вызывающих как местное повреждение, так и активацию процессов биосинтеза [9, 13].

Вместе с тем, доказано, что молекулярный кислород в тканях является первичным фотоакцептором, поглощающим фотоны лазерного излучения при воздействии в полосах его поглощения с образованием синглетного кислорода, т. е. фотодинамические реакции могут протекать без фотосенсибилизаторов и запускать стимуляционные процессы в тканях [5, 8, 20, 23]. Исследования, проведенные на модельных биохимических средах, микроорганизмах и экспериментальных животных, показали наибольшую эффективность прямой фотогенерации синглетного кислорода с воздействием на клеточные структуры и биостимулирующими эффектами излучения с длиной волны в диапазоне 1265 ± 8 нм [7, 10, 21]. Явление получило название светокислородного эффекта, а основанные на нем методы лечения – светокислородной терапией.

Использование лазерного излучения 1265 нм в импульсно-периодическом (квазинепрерывном) режиме с генерацией ультракоротких импульсов 10^{-6} – 10^{-9} с позволяет, с одной стороны, за счет высокой пиковой плотности мощности излучения проводить четко локализованные микрохирургические воздействия, а с другой стороны, при небольшой энергии в импульсе проникать глубже в ткани, не приводя при этом к их нагреву и повреждению прилежащих структур, и вызывать в них биостимуляционные эффекты [1, 4].

Проведенные нами ранее экспериментальные исследования на основе морфологической оценки действия излучения полупроводникового лазера с длиной волны 1265 нм, работающего в наносекундном импульсно-периодическом режиме, показали большую эффективность лазерной микрохирургии в лечении болезней

пародонта с применением светокислородной терапии без использования экзогенных фотосенсибилизаторов [14, 15]. Представляет интерес проведение дополнительных исследований по изучению и отработке оптимальных режимов лазерной микрохирургии и лазеротерапии болезней пародонта с применением нового лазерного устройства.

Цель исследования – определить оптимальные мощностные и экспозиционные характеристики лазерного воздействия при лечении болезней пародонта экспериментальных животных с помощью морфометрического метода.

Материал и методы

Для проведения экспериментов использовали лазерное устройство, состоящее из моноблока с полупроводниковым излучателем, совмещенного с оптическими элементами и световодами вывода излучения, блока и панели управления лазером, смонтированными в пластмассовом корпусе габаритами $270 \times 250 \times 180$ мм, и внешнего блока питания (разработка ООО «Новые хирургические технологии», Москва). Лазер излучает на 1265 нм в импульсно-периодическом (квазинепрерывном) режиме с частотой следования импульсов 2,5 МГц, длительностью импульса 2×10^{-7} с и энергией в импульсе 0,8 мкДж при максимальной средней мощности 2 Вт. Энергия лазерного излучения подается к объекту с помощью волоконного световода диаметром 400 мкм.

В эксперименте участвовало 30 половозрелых крыс самцов линии Вистар. У всех животных моделировали пародонтит с использованием шелковой лигатуры по методу А.И. Воложина (1990) [3]. После удаления лигатуры через 7 дней начинали лазеротерапию с применением лазерного устройства на разных режимах в течение 7 дней ежедневно. Для поиска оптимальной мощности излучения и времени процедуры животные были поделены на 5 групп по 6 особей, при лечении которых использовалась разная мощность излучения – 1,0 Вт; 1,3 Вт; 1,6 Вт; 1,8 Вт; 2,0 Вт соответственно. Каждая группа была поделена еще на три подгруппы по 2 особи с применением различного времени воздействия при проведении процедуры: 60, 180, 300 секунд, диапазон экспозиционных доз от 60 Дж до 600 Дж. Распределение животных и экспозиционные дозы по группам и подгруппам представлены в табл. 1.

Лечение проводили контактным методом, погружая световод в пародонтальный карман, тем самым проводя комбинированное воздействие – лазерный кюретаж с выпариванием грануляций и стимуляцию регенерации за счет светокислородного эффекта.

Всех животных выводили из эксперимента на 7-е сутки после начала лечения. Результаты лечения оценивали по объективным признакам состояния тканей в полости рта животных и с помощью морфологического исследования, в котором оценивали состояние тканей периодонта, наличие реактивного воспаления, наличие фрагментов некроза альвеолярной кости. Для морфологического исследования после эвтаназии у животных отделяли фрагмент нижней челюсти с центральными

Таблица 1

Количество экспериментальных животных в группах и экспозиционные дозы по определению оптимальных параметров облучения

Table 1

Number of experimental animals in groups and exposure doses to determine optimal irradiation parameters

Время экспозиции (секунды) Exposure time (seconds)	Группа / Средняя мощность излучения (Вт) Group / Average irradiation power (W)				
	I / 1,0	II / 1,3	III / 1,6	IV / 1,8	V / 2,0
a / (60)	2 / 60 Дж (J)	2 / 78 Дж (J)	2 / 96 Дж (J)	2 / 108 Дж (J)	2 / 120 Дж (J)
b / (180)	2 / 180 Дж (J)	2 / 234 Дж (J)	2 / 288 Дж (J)	2 / 324 Дж (J)	2 / 360 Дж (J)
c / (300)	2 / 300 Дж (J)	2 / 390 Дж (J)	2 / 480 Дж (J)	2 / 540 Дж (J)	2 / 600 Дж (J)

резцами, который фиксировали в 10% растворе формалина, затем изготавливали гистологические срезы по общепринятой методике с окраской гематоксилин-эозином, которые исследовали и фотографировали на микроскопе Axio Lab.A1 (Carl Zeiss Microscopy, Германия).

Результаты и обсуждение

По результатам наблюдения в полости рта животных после проведенного лечения (рис. 1) в группе I во всех

подгруппах наблюдалось наличие глубоких пародонтальных карманов, наличие грануляций, выраженный отек и кровоточивость.

В группе II также были в большой степени выражены пародонтальные карманы, имелся отек слизистой. При этом следует отметить, что выраженность клинических признаков воспаления тканей периодонта была ниже в подгруппе II (с), со временем экспозиции 300 с (1,3 Вт, 390 Дж).

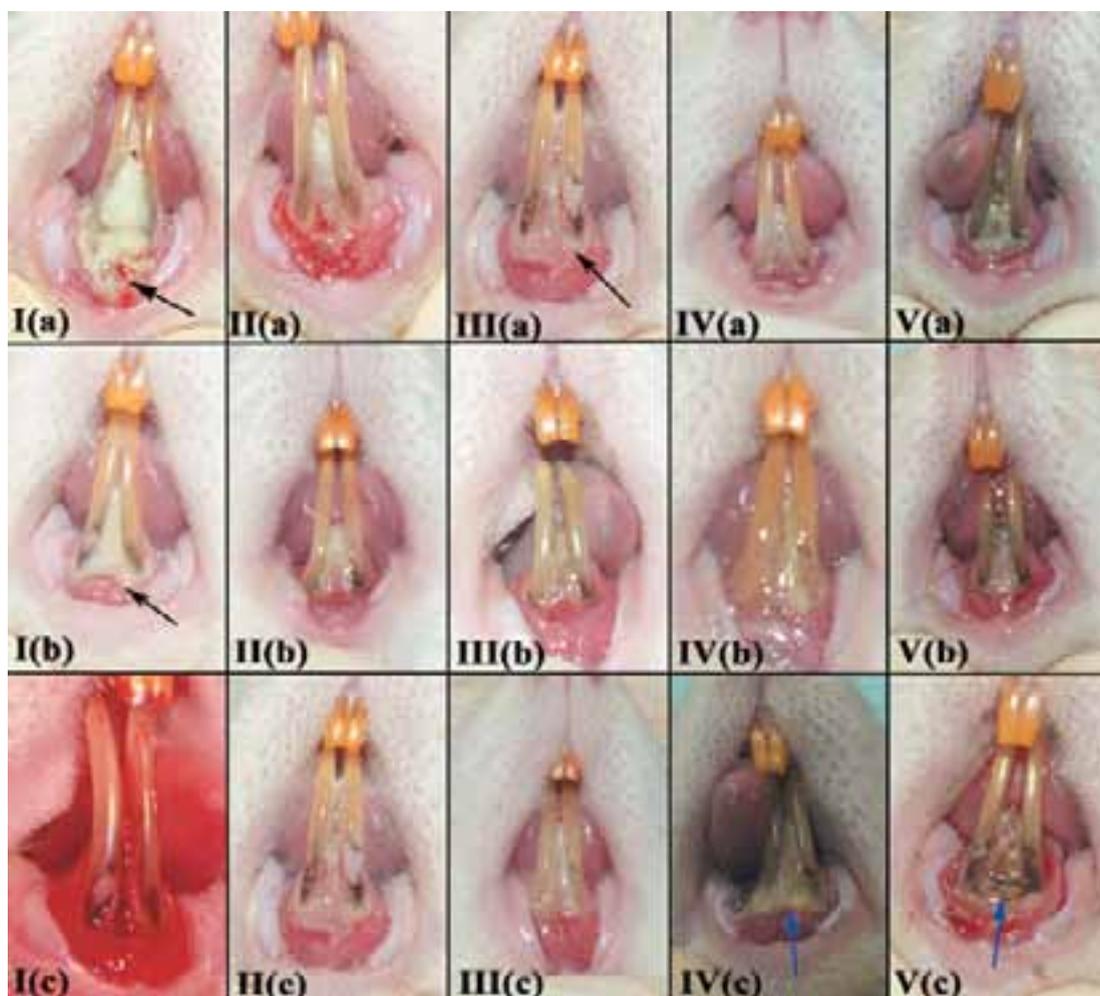


Рис. 1. Наблюдения в полости рта экспериментальных животных после проведения квазинепрерывной лазеротерапии с длиной волны 1265 нм с различной мощностью излучения и экспозиционной дозой: I (a) – 1,0 Вт, 60 с; I (b) – 1,0 Вт, 180 с; I (c) – 1,0 Вт, 300 с; II (a) – 1,3 Вт, 60 с; III (a) – 1,6 Вт, 60 с; IV (a) – 1,8 Вт, 60 с; V (a) – 2,0 Вт, 60 с; II (b) – 1,3 Вт, 180 с; III (b) – 1,6 Вт, 180 с; IV (b) – 1,8 Вт, 180 с; V (b) – 2,0 Вт, 180 с; II (c) – 1,3 Вт, 300 с; III (c) – 1,6 Вт, 300 с; IV (c) – 1,8 Вт, 300 с; V (c) – 2,0 Вт, 300 с; грануляции (черные стрелки); некроз (синие стрелки)

Fig. 1. Observations in the oral cavity of experimental animals after quasi-continuous laser therapy with 1265 nm wavelength and different irradiation power and exposure doses: I (a) – 1.0 W, 60 s; I (b) – 1.0 W, 180 s; I (c) – 1.0 W, 300 s; II (a) – 1.3 W, 60 s; III (a) – 1.6 W, 60 s; IV (a) – 1.8 W, 60 s; V (a) – 2.0 W, 60 s; II (b) – 1.3 W, 180 s; III (b) – 1.6 W, 180 s; IV (b) – 1.8 W, 180 s; V (b) – 2.0 W, 180 s; II (c) – 1.3 W, 300 s; III (c) – 1.6 W, 300 s; IV (c) – 1.8 W, 300 s; V (c) – 2.0 W, 300 s; Granulations (black arrows); necrosis (blue arrows)

В III группе наилучшие результаты наблюдались также в подгруппе III (с) (1,6 Вт, 480 Дж) с максимальным временем процедуры – определялись неглубокие пародонтальные карманы, разрастания грануляционной ткани практически отсутствовали, локально отмечалась полная регенерация периодонта с восстановлением целостности круговой связки.

Схожая клиническая картина отмечалась в подгруппе IV (b) с временем проведения процедуры 180 с (1,8 Вт, 324 Дж). Однако в подгруппе IV (с) (1,8 Вт, 540 Дж) отмечались участки некроза слизистой оболочки, наличие глубоких пародонтальных карманов, подвижность зубов.

В подгруппе V (b) результаты клинического наблюдения были схожи с подгруппой IV (с). В подгруппе V (a) были в значительной степени выражены пародонтальные карманы при наличии незначительных участков некроза слизистой оболочки и незначительных грануляциях. В подгруппе V (с) некроз слизистой оболочки

наблюдался практически на всем протяжении, отмечалась значительная подвижность зубов, что свидетельствует о некротических процессах в альвеолярной кости и некрозе периодонта.

При морфологическом исследовании (рис. 2) выявлено, что в группе I во всех подгруппах после 7 суток лечения имеются глубокие пародонтальные карманы, содержащие большое количество лейкоцитов и эритроцитов, в разрушенной пародонтальной связке отмечались разрастания грануляционной ткани с диффузной инфильтрацией лейкоцитами с примесью макрофагов.

В группе II также во всех подгруппах достаточно глубокий пародонтальный карман с разрастаниями грануляционной ткани и диффузной инфильтрацией лимфоцитами с примесью макрофагов. В подгруппах III (a), III (b) и IV (a) наблюдался неглубокий пародонтальный карман с умеренным количеством клеточного детрита, выраженный отек тканей. В подгруппах III (с) и IV (b) наблюдался

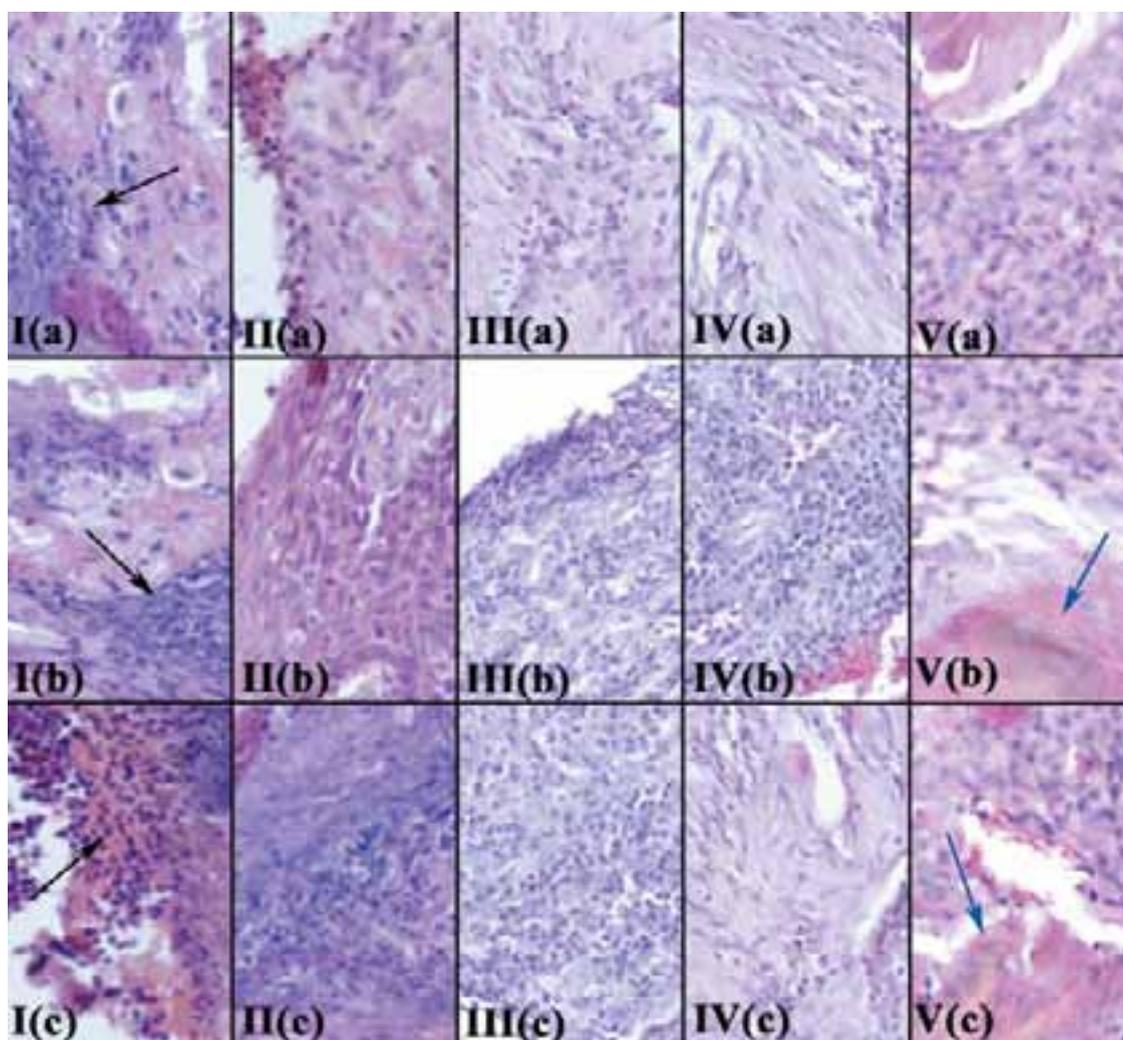


Рис. 2. Фрагменты микрофотографий морфологического анализа подгрупп после проведения квазинепрерывной лазеротерапии с длиной волны 1265 нм с различной мощностью излучения и экспозиционной дозой: I (a) – 1,0 Вт, 60 с; II (a) – 1,3 Вт, 60 с; III (a) – 1,6 Вт, 60 с; IV (a) – 1,8 Вт, 60 с; V (a) – 2,0 Вт, 60 с; I (b) – 1,0 Вт, 180 с; II (b) – 1,3 Вт, 180 с; III (b) – 1,6 Вт, 180 с; IV (b) – 1,8 Вт, 180 с; V (b) – 2,0 Вт, 180 с; I (c) – 1,0 Вт, 300 с; II (c) – 1,3 Вт, 300 с; III (c) – 1,6 Вт, 300 с; IV (c) – 1,8 Вт, 300 с; V (c) – 2,0 Вт, 300 с (гематоксилин-эозин, $\times 200$); лейкоцитарно-макрофагальная инфильтрация (черные стрелки); зона некроза (синие стрелки)

Fig. 2. Fragments of micrographs of morphological analysis in the subgroups after quasi-continuous laser therapy with 1265 nm wavelength and various irradiation power and exposure doses: I (a) – 1.0 W, 60 s; II (a) – 1.3 W, 60 s; III (a) – 1.6 W, 60 s; IV (a) – 1.8 W, 60 s; V (a) – 2.0 W, 60 s; I (b) – 1.0 W, 180 s; II (b) – 1.3 W, 180 s; III (b) – 1.6 W, 180 s; IV (b) – 1.8 W, 180 s; V (b) – 2.0 W, 180 s; I (c) – 1.0 W, 300 s; II (c) – 1.3 W, 300 s; III (c) – 1.6 W, 300 s; IV (c) – 1.8 W, 300 s; V (c) – 2.0 W, 300 s (hematoxylin-eosin, $\times 200$); leukocyte-macrophage infiltration (black arrows); necrotic zone (blue arrows)

неглубокий пародонтальный карман без клеточного детрита, частично восстановленная, преимущественно с параллельными пучками коллагеновых и эластических волокон, направленных перпендикулярно корню зуба, отечная периодонтальная связка с множеством полнокровных сосудов, практически отсутствие инфильтрации лейкоцитов с макрофагами. В подгруппах IV (с) и V (а) отмечался значительный отек тканей, пародонтальный карман достаточно глубокий и выраженная диффузная инфильтрация лейкоцитами с примесью макрофагов. В подгруппах V (b) и V (с) отмечался пародонтальный карман и разрушенная с замещениями грануляционной тканью периодонтальная связка с диффузной инфильтрацией лейкоцитами и макрофагами, а также фрагментами некротизированных костных балок альвеолярной кости (рис. 2).

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования, включающие осмотр тканей полости рта экспериментальных животных и морфологические исследования после проведения лазеротерапии модели пародонтита на различной мощности и с различным временем проведения процедуры позволили выявить оптимальные режимы лазерного воздействия для проведения лечения болезней пародонта.

В подгруппах, лечение в которых проводилось со средней мощностью излучения 1,6 Вт в течение 300 с и 1,8 Вт в течение 180 с были отмечены наилучшие результаты после проведения терапии. В полости рта экспериментальных животных в этих подгруппах в области лечения отмечались значительные процессы регенерации пародонта, отсутствующие или неглубокие на незначительном протяжении пародонтальные карманы, практически отсутствие грануляционной ткани. В морфологических исследованиях в данных подгруппах отмечены значительные регенераторные процессы в пародонте, уменьшение пародонтальных карманов, отсутствие грануляций, повышенная васкуляризация тканей и уменьшение лейкоцитарной инфильтрации.

Следует отметить, что при увеличении мощности излучения и времени процедуры в полости рта отмечались участки некроза тканей, а морфологически были выявлены участки некротизированных костных балок альвеолярной кости (вся группа V и IV (с)).

Заключение

По результатам осмотра полости рта экспериментальных животных в области проведения лазеротерапии с длиной волны 1265 ± 5 нм в импульсно-периодическом режиме излучения при лечении моделированного пародонтита с различной средней мощностью излучения и временем проведения процедуры (экспозиции) впервые получены оптимальные параметры излучения для достижения максимального терапевтического эффекта. Полученные результаты подтверждены с помощью морфологического исследования. Оптимальными и эффективными терапевтическими режимами являются – средняя мощность излучения 1,6 Вт в течение 300 с (480 Дж) и 1,8 Вт в течение 180 с (324 Дж). При проведении лечения моделированного пародонтита у экспериментальных животных с данными параметрами в морфологическом исследовании отмечены максимальные регенеративные

процессы и васкуляризация тканей пародонта. Однако превышение оптимальной мощности и экспозиции может приводить к некротическим процессам в пародонте, что негативно сказывается на результатах лечения.

Проведенные исследования доказывают высокую перспективность применения квазинепрерывной лазерной микрохирургии и терапии болезней пародонта в клинической практике, что позволит сократить общее время лечения пациентов с болезнями пародонта, сократить реабилитационный период и добиться устойчивой ремиссии.

Литература

1. Алексеев Ю.В., Иванов А.В., Миславский О.В. и др. Воздействие лазерного излучения с длиной волны 1270 нм на кожу и ткани внутренних органов экспериментальных животных // Медицинская физика. – 2012. – № 1. – С. 40–46.
2. Владимиров Ю.А., Осипов А.Н., Клебанов Г.И. Фотобиологические основы терапевтического применения лазерного облучения. Обзор // Биохимия. – 2004. – Т. 69. – № 1. – С. 103–113.
3. Воложин А.И. Моделирование и лечение воспаления в пародонте // Патологическая физиология и экспериментальная терапия. – 1990. – № 6. – С. 49–51.
4. Воронова О.С., Генинг Т.П., Светухин В.В. Влияние фемтосекундного лазерного излучения на показатели оксидативного стресса в опухолевой ткани при экспериментальном раке шейки матки // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 1. – С. 24–27.
5. Данилов В.П., Еремеев Б.В., Захаров С.Д. и др. Спектрально-селективный фотодинамический эффект без экзогенных фотосенсибилизаторов и его возможные применения для фототерапии рака и биостимуляции // Изв. АН СССР. Сер. Физическая. – 1990. – Т. 54. – № 8. – С. 1610–1620.
6. Закиров Т.В. Современные представления о возможности использования лазера при лечении воспалительных заболеваний пародонта // Проблемы стоматологии. – 2012. – № 3. – С. 10–14.
7. Захаров С.Д., Иванов А.В. Светокислородный эффект в клетках и перспективы его применения в терапии опухолей. Обзор // Квантовая электроника. – 1999. – Т. 29. – № 3. – С. 192–214.
8. Захаров С.Д., Иванов А.В., Корочкин И.М., Данилов В.П. Прямое возбуждение фотонами эндогенного молекулярного кислорода – фотофизический акт терапевтического действия лазерного излучения // Лазерная медицина. – 2006. – Т. 10. – Вып. 1. – С. 4–9.
9. Красновский А.А. Фотодинамическое действие и синглетный кислород // Биофизика. – 2004. – № 2. – С. 305–322.
10. Красновский А.А., Дроздова Н.Н., Иванов А.В., Амбарцумян Р.В. Активация молекулярного кислорода инфракрасным лазерным излучением в аэробных системах, не содержащих пигмента // Биохимия. – 2003. – Т. 68. – № 9. – С. 1178–1182.
11. Лазерная терапия и профилактика / Под ред. А.В. Картелишцева, А.Г. Румянцева, А.Р. Евстигнеева, А.В. Гейнича, С.В. Усова. – М.: Практическая медицина, 2012. – 400 с.
12. Масычев В.И., Рисованный С.И., Рисованная О.Н. Введение в лазерную стоматологию. – Краснодар: Краснодар. известия. 2004. – 124 с.
13. Узденский А.Б. Клеточно-молекулярные механизмы фотодинамической терапии. – СПб.: Наука, 2010. – 327 с.
14. Чунихин А.А., Базикян Э.А., Зайратьянц О.В. Оценка эффективности наносекундной лазерной терапии болезней пародонта в эксперименте // Российская стоматология. – 2017. – Т. 10 (4). – С. 3–7.
15. Чунихин А.А., Базикян Э.А., Сырникова Н.В., Чобанян А.Г. Сравнительная оценка эффективности генерации синглетного кислорода лазерным наносекундным модулем робототехнического хирургического комплекса в модельных биохимических средах // Российская стоматология. – 2017. – Т. 10 (2). – С. 30–35.
16. Янушевич О.О., Дмитриева Л.А., Ревазова З.Э. Пародонтит. XXI век. Руководство для врачей. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2016. – 482 с.

17. Chiari S. Photobiomodulation and Lasers. *Front Oral Biol.* 2016; 18:118–123. doi: 10.1159/000351906.
18. Dougherty T., Gomer C.J., Henderson B.W. et al. Photodynamic therapy. *J. Nat. Cancer Inst.* 1998; 90: 889–903.
19. Farivar S. Malekshahabi T., Shiari R. Biological Effects of Low Level Laser Therapy. *J. Lasers. Med. Sci.* 2014; 5 (2): 58–62.
20. Ivanov A.V., Zakharov S.D., Mashalov A.A. The light-oxygen effect as the analogue of photodynamic effect and its possibility in tumour therapy. *Progress in Biomed. Optics & Imaging.* 2005; 6 (6): 1–13.
21. Krasnovsky Jr. A.A., Roumbal Ya.V., Ivanov A.V., Ambartzumian R.V. Solvent dependence of the steady-state rate of $^{1}O_2$ generation upon excitation of dissolved oxygen by cw 1267 nm laser radiation in air-saturated solutions estimates of the absorbance and molar absorption coefficients of oxygen at the excitation wavelength. *Chem. Phys. Let.* 2006; 430 (4–6): 260–264.
22. Lehnert M.W. Lasers in medicine and dentistry. *Northwest dentistry.* 1996. Vol.75 (1): 17–22.
23. Zakharov S.D., Ivanov A.V. Light-oxygen effect as a physical mechanism for activation of biosystems by quasi-monochromatic light (a review). *Biophysics.* 2005; 50 (1): 64–85.
8. Zakharov S.D., Ivanov A.V., Korochkin I.M., Danilov V.P. Direct excitation of endogenous molecular oxygen by photons – a photo-physical act of therapeutic effect of laser light. *Lazernaya medicina.* 2006; 10 (1): 4–9. [In Russ.].
9. Krasnovsky A.A. Photodynamic effect and singlet oxygen. *Biofizika.* 2004; 2: 305–322. [In Russ.].
10. Krasnovsky A.A., Drozdova N.N., Ivanov A.V., Ambartsumyan R.V. Activation of molecular oxygen by infrared laser light in aerobic systems that do not contain pigment. *Biokhimiya.* 2003; 68 (9): 1178–1182. [In Russ.].
11. Laser therapy and prevention. Ed. A.V. Kartelischev, A.G. Rumyantsev, A.R. Yevstigneev, A.V. Geinytz, S.V. Usov. Moscow, *Practicheskaya medicina.* 2012: 400. [In Russ.].
12. Masychev V.I., Risovanny S.I., Risovannaya O.N. Introduction to laser dentistry. *Krasnodar: Krasnodar. izvestia.* 2004: 124. [In Russ.].
13. Uzdensky A.B. Cellular molecular mechanisms of photodynamic therapy. S-Pb, Nauka, 2010: 327. [In Russ.].
14. Chunikhin A.A., Bazikyan E.A., Zayratyants O.V. Evaluation of the effectiveness of nanosecond laser therapy of periodontal diseases in the experiment. *Rossiiskaya stomatologia.* 2017; 10 (4): 3–7. [In Russ.].
15. Chunikhin A.A., Bazikyan E.A., Syrnikova N.V., Chobanyan A.G. Comparative evaluation of the efficiency of singlet oxygen generation by laser nanosecond module in a robotic surgical complex in modelled biochemical media. *Rossiiskaya stomatologia.* 2017; 10 (2): 30–35. [In Russ.].
16. Yanushevich O.O., Dmitrieva L.A., Revazova Z.E. Periodontitis in the XXI century. A guide for physicians. Moscow, GEOTAR-Media, 2016: 482. [In Russ.].
17. Chiari S. Photobiomodulation and Lasers. *Front Oral Biol.* 2016; 18:118–123. doi: 10.1159/000351906.
18. Dougherty T., Gomer C.J., Henderson B.W. et al. Photodynamic therapy. *J. Nat. Cancer Inst.* 1998; 90: 889–903.
19. Farivar S. Malekshahabi T., Shiari R. Biological Effects of Low Level Laser Therapy. *J. Lasers. Med. Sci.* 2014; 5 (2): 58–62.
20. Ivanov A.V., Zakharov S.D., Mashalov A.A. The light-oxygen effect as the analogue of photodynamic effect and its possibility in tumour therapy. *Progress in Biomed. Optics & Imaging.* 2005; 6 (6): 1–13.
21. Krasnovsky Jr. A.A., Roumbal Ya.V., Ivanov A.V., Ambartzumian R.V. Solvent dependence of the steady-state rate of $^{1}O_2$ generation upon excitation of dissolved oxygen by cw 1267 nm laser radiation in air-saturated solutions estimates of the absorbance and molar absorption coefficients of oxygen at the excitation wavelength. *Chem. Phys. Let.* 2006; 430 (4–6): 260–264.
22. Lehnert M.W. Lasers in medicine and dentistry. *Northwest dentistry.* 1996. Vol.75 (1): 17–22.
23. Zakharov S.D., Ivanov A.V. Light-oxygen effect as a physical mechanism for activation of biosystems by quasi-monochromatic light (a review). *Biophysics.* 2005; 50 (1): 64–85.

References

1. Alekseev Yu.V., Ivanov A.V., Mislavsky O.V. et al. Effects of laser irradiation with wavelength 1270 nm at skin and tissues of the internal organs in experimental animals. *Meditsinskaya Fizika.* 2012; (1): 40–46. [In Russ.].
2. Vladimirov Yu.A., Osipov A.N., Klebanov G.I. Photobiological rationale for therapeutic application of laser light. *Obzor. Biochimia.* 2004; 69 (1): 103–113. [In Russ.].
3. Volozhin A.I. Modeling and treatment of inflammation in periodontal diseases. *Patologicheskaya fiziologia i eksperimentalnaya medicina.* 1990; 6: 49–51. [In Russ.].
4. Voronova O.S., Gening T.P., Svetukhin V.V. Effects of femtosecond laser light at oxidative stress in tumor tissue in experimental cervical cancer. *Fundamentalnie issledovaniya.* 2012; 1: 24–27. [In Russ.].
5. Danilov V.P., Yermeev B.V., Zakharov S.D. et al. Spectral-selective photodynamic effect without exogenous photosensitizers and its possible applications for cancer phototherapy and biostimulation. *Izvestia akademii nauk SSSR. Seria Fizika.* 1990; 54 (8): 1610–1620. [In Russ.].
6. Zakirov T.V. Modern ideas on using laser light in the treatment of inflammatory periodontal diseases. *Problemi stomatologii.* 2012; 3: 10–14. [In Russ.].
7. Zakharov S.D., Ivanov A.B. Light-oxygen effects in cells and perspectives for its application in tumor treatment *Obzor. Ksantovaya electronica.* 1999; 29 (3): 192–214. [In Russ.].