

Экспериментальное изучение регенерации костной ткани технологией неабляционного лазерного фототермолиза

Яременко А.И.¹, Зерницкий А.Ю.¹, Кутукова С.И.¹, Зерницкая Е.А.¹, Столярова А.И.¹, Анисимова Л.О.²

¹Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова

²РНИИТО имени Р.Р. Вредена

Санкт-Петербург, Российская Федерация

Резюме

Актуальность. Фракционная лазерная технология очень популярна в последнее время. Способность создавать микроканалы (за счет коагуляции или абляции) в ткани с помощью лазерного излучения, стимулирующего ее регенерацию, является основой фракционной технологии.

Цель. В настоящем исследовании *in vivo* была исследована регенерация теменных костей кроликов после фракционной лазерной обработки диодными лазерами с длиной волны 980 нм и 1550 нм.

Материалы и методы. Было проведено исследование, в котором осуществлялась лазерная фракционная обработка с длиной волны 1,55 и 0,98 мкм на костную ткань 10 лабораторных животных (кролики). В качестве лабораторных животных были использованы кролики, породы советская шиншилла, массой 2,5-3 кг. Были использованы два различных лазера: FONALaser (Sirona Dental Systems, Германия) с длиной волны 980 нм, мощностью 5 Вт и лазерный хирургический аппарат (ЛСП «ИРЭ-Полус», Россия) с длиной волны 1550 нм, мощностью 25 Вт и шириной импульса в диапазоне от 60 до 250 мс.

Результаты. На 21 сутки толщина надкостницы в группе с длиной волны 980 нм достоверно не отличалась от толщины надкостницы в группе с длиной волны 1550 нм: $p = 0,4000$. На 45 сутки наблюдения также не выявлено достоверных различий в толщине надкостницы между обеими группами: $p = 0,2000$.

Заключение. Было показано, что наиболее выраженные процессы деструкции отмечались при использовании лазера с длиной волны 1550 нм в опыте без надкостницы. Наименьшие изменения были отмечены при использовании лазера с длиной волны 980 нм при наличии надкостницы. В проведенных экспериментах в 6 случаях из 10 отмечалось образование молодой костной ткани в виде тонкой полоски в дне очага поражения.

Ключевые слова: диодный лазер, теменная кость кроликов, костная регенерация, гистологический анализ.

Для цитирования: Яременко А.И., Зерницкий А.Ю., Кутукова С.И., Зерницкая Е.А., Столярова А.И., Анисимова Л.О. Экспериментальное изучение регенерации костной ткани технологией неабляционного лазерного фототермолиза. Пародонтология.2020;25(2):90-96. <https://doi.org/10.33925/1683-3759-2020-25-2-90-96>.

Pilot in vivo animal study of bone regeneration by Laser Patterned Microcoagulation technology

A.I. Yaremenko¹, A.Yu. Zernitskiy¹, S.I. Kutukova¹, E.A. Zernitskaya¹, A.I. Stolyarova¹, L.O. Anisimova²

¹Academician I.P. Pavlov First St. Petersburg State Medical University

²R.R. Vreden Russian Research Institute of Traumatology and Orthopedics
Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract

Relevance. Fractional laser technologies are very popular. The ability to create microchannels (coagulation or ablative nature) in the tissue by laser radiation stimulating its regeneration is the basis of fractional technology. The histological structure of the rabbit parietal bone during its regeneration after Laser Patterned Microcoagulation treatment was investigated by hematoxylin and eosin (H&E) stain.

Purpose. This *in vivo* study investigated the regeneration of the rabbit's parietal bone after fractional laser treatment using diode lasers with wavelengths 980 nm and 1550 nm.

Materials and methods. A study was performed on the bone tissue of 10 laboratory animals (rabbits) using laser fractional treatment with wavelengths 1.55 and 0.98 μm . As laboratory animals (rabbits) were used Soviet chinchillas weighing 2.5-3 kg. 2 different lasers were used: FONALaser (Sirona Dental Systems, Germany) with a wavelength of 980 nm, a power of 5 W and a laser surgical device (LSP "IRE-Polyus", Russia) with a wavelength of 1550 nm, a power of 25 W and a pulse width range from 60 to 250 ms.

Results. On day 21, the thickness of the periosteum in the group with a wavelength of 980 nm did not significantly differ from the thickness of the periosteum in the group with a wavelength of 1550 nm – $p = 0.4000$. On the 45th day of observation, there were also no significant differences in the thickness of the periosteum between both groups – $p = 0.2000$.

Conclusion. It was shown that the most destruction processes were noted by laser with a wavelength 1550 nm in the experiment without periosteum. The smallest changes were noted by laser with a wavelength 980 nm in the presence of periosteum. In this study, in 6 cases out of 10, the formation of young bone tissue as thin strip form at the bottom of the lesion site was noted.

Key words: диодный лазер, теменная кость кроликов, костная регенерация, гистологический анализ.

For citation: A. I. Yaremenko, A. Yu. Zernitskiy, S. I. Kutukova, E. A. Zernitskaya, A. I. Stolyarova, L. O. Anisimova. Pilot in vivo animal study of bone regeneration by Laser Patterned Microcoagulation technology. Parodontologiya.2020;25(2):90-96. (in Russ.) <https://doi.org/10.33925/1683-3759-2020-25-2-90-96>.

ВВЕДЕНИЕ

Биология твердых и мягких тканей в зоне дентальной имплантации во многом генетически обусловлена. Форма и объем этих тканей подвергается постоянным изменениям в процессе жизнедеятельности. Возможность управлять этим процессом позволит снизить количество этапов оперативного лечения, уменьшить болезненность процедуры и ускорить восстановление полноценной функции жевательно-речевого аппарата.

Важными факторами в долговременном и стабильном исходе дентальной имплантации являются наличие достаточного объема костной ткани и прикрепленной кератинизированной десны.

Лазерный фототермолиз – микрохирургический метод локальной (точечной) деструкции ткани инфракрасным лазерным излучением. Технология заключается в том, что лазерным излучением ближнего или среднего инфракрасного диапазона на участок ткани наносится матрица из точечных термических зон повреждения, окруженных участками жизнеспособной ткани [1]. Главной особенностью такой обработки является чередование зон лазерного повреждения и неповрежденной ткани, что обеспечивает ее быструю регенерацию.

Существует много исследований, которые показывают, что лазерное излучение способно воздействовать на регенерацию и модификацию эпителиальных тканей [7]. Являясь биологическим объектом, костная ткань также способна реагировать на лазерное излучение. Исследования, которые проводились ранее, охватывали только проблему заживления свежих костных ран или переломов [2, 3].

Следует отметить, что в нескольких исследованиях сообщалось о необратимых повреждениях, воспалении и длительном заживлении костной ткани после лазерного воздействия. Friesen и Cobb в своей статье сообщают, что вызванные лазером костные дефекты, по сравнению с теми, которые были сделаны бором, показывали задержку заживления, которая, по-видимому, была связана с наличием остаточного обугливания в костном дефекте [4]. McDavid и Cobb сделали вывод, что заживление костной ткани было сильно задержано воздействием CO₂ и Nd: YAG-лазером [8].

Некоторые исследования [6, 9, 10] показывают, что костная ткань успешно восстанавливается после воздействия эрбиевым лазером. В статье Karabut и Belikov *ex vivo* впервые была продемонстрирована способность создавать абляционные микроканалы в костной ткани челюсти свиньи через слизистую оболочку десны воздействием Er: YAG-лазера ($\lambda = 2,94$ мкм) [5]. В исследовании отмечается, что лазерные микроканалы в кости имеют диаметр 50-250 мкм и глубину 1 мм, а ширина бокового повреждения вокруг микроканалов не превышает 50 мкм, что позволяет ожидать успешную регенерацию кости после лазерного воздействия.

В настоящем исследовании *in vivo* была исследована регенерация теменных костей кроликов после фракционной лазерной обработки диодными лазерами с длиной волны 980 нм и 1550 нм.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Было проведено исследование, в котором осуществлялась лазерная фракционная обработка с длиной волны 1,55 и 0,98 мкм на костную ткань 10 лабораторных животных (кролики). В качестве лабораторных животных были использованы кролики породы советская шиншилла массой 2,5-3 кг.

Были использованы два различных лазера: FONALaser (Sirona Dental Systems, Германия) с длиной волны 980 нм, мощностью 5 Вт и лазерный хирургический аппарат (ЛСП «ИРЭ-Полус», Россия) с длиной волны 1550 нм, мощностью 25 Вт и шириной импульса в диапазоне от 60 до 250 мс.

Лазерное воздействие осуществлялось на теменные кости. С левой стороны производилась фракционная лазерная обработка диодным лазером с длиной волны 980 нм, с правой стороны – диодным лазером с длиной волны 1550 нм; границей между левой и правой стороной являлся костный сагиттальный шов. Также теменная кость была условно разделена на три зоны. В первой зоне воздействия осуществлялись через надкостницу на костную ткань, во второй зоне – на костную ткань после отслоения надкостницы, в третьей зоне – были произведены по два дефекта шаровидным бором, один из дефектов подвергался лазерной обработке, другой – нет.

Во время операции осуществлялся подробный фотопротокол и измерения для точного нахождения мест лазерной обработки для этапа компьютерной томографии и гистологического исследования. Замеры проводились в следующих зонах:

1. Расстояние от срединного шва до зоны лазерной обработки.
2. Расстояние от дефекта до лазерной обработки по костной ткани.
3. Расстояние от дефекта до лазерной обработки по надкостнице.
4. Ширина лазерной обработки.

Исследование одобрено ЛЭК Первого Санкт-Петербургского государственного медицинского университета имени академика И.П. Павлова и проведено по стандартам GLP.

Во время хирургической процедуры животных предварительно подготавливали к премедикации (атропин п/к за 10-15 минут до премедикации в дозе 0,1 мг/кг), далее проводили премедикацию: рометар (торговое название «Ксила») п/к, в/м в дозе 4 мг/кг, кетамин п/к, в/м в дозе 10-15 мг/кг, дроперидол 0,25% р-р п/к, в/м в дозе 2,5 мг/кг. Инъекционный наркоз проводили по схеме кетамин (5-10 мг/кг в/в) и рометар (2-4 г/кг в/в) до исчезновения лингвального, глотательного, pedalного и роговичного рефлексов.

Во время оперативного вмешательства производился сагиттальный разрез на черепае длиной 5 см, разведена кожа, подкожно-жировая клетчатка, частично отслоена надкостница и экспонирована кость, в первой зоне надкостница не отслаивалась. Производилась лазерная обработка по описанной схеме, далее ткани послойно ушивались.

После операции животные проходили общую проверку состояния, были наложены согревающие грелки. Кролики наблюдались до появления всех рефлексов.

После операции животные проходили общую проверку состояния, были наложены согревающие грелки. Кролики наблюдались до появления всех рефлексов.

После операции животные проходили общую проверку состояния, были наложены согревающие грелки. Кролики наблюдались до появления всех рефлексов.

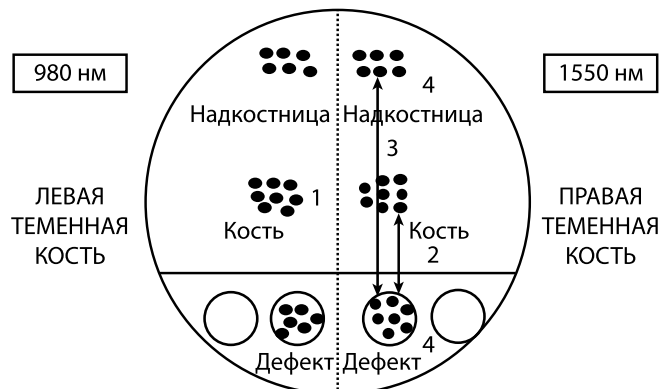


Рис. 1. Схема эксперимента
Fig. 1. Experimental design



Рис. 2. Разрез кожи и подкожно-жировой клетчатки длиной 5 см
Fig. 2. An incision of the skin and subcutaneous layer 5 cm long



Рис. 3. Отслоена надкостница, за исключением зоны 1. Сформированы дефекты трепаном диаметром 3-5 мм в зоне 3
Fig. 3. The periosteum is exfoliated, with the exception of zone 1. Defects are formed by a trepanum with a diameter of 3-5 mm in zone 3



Рис. 4. Обработка левой теменной кости диодным лазером с длиной волны 980 нм
Fig. 4. Processing of the left parietal bone with a diode laser with a wavelength 980 nm



Рис. 5а, б. Обработка правой теменной кости диодным лазером с длиной волны 1550 нм

Fig. 5a, b. Processing of the right parietal bone with a diode laser with a wavelength 1550 nm



Рис. 6. Послойное наложение рассасывающихся швов
Fig. 6. Using of absorbable sutures

После того как животные занимали свое естественное анатомическое положение в пространстве (лежит на лапах, держит голову), они были перенесены в клетки постоянного содержания в виварии Первого Санкт-Петербургского государственного медицинского университета имени академика И.П. Павлова.

Была назначена антибактериальная и обезболивающая терапия в течение одной недели после операции.

Послеоперационный период протекал без особенностей, не было потерь среди лабораторных животных.

Кролики были случайно разделены на две группы (пять животных в каждой) и выведены из эксперимента через 21 и 45 дней после операции (согласно Европейской конвенции по защите позвоночных животных, используемых для экспериментальных и других научных целей, принятой в Страсбурге 18.03.1986 г. и подтвержденной в Страсбурге 15.06.2006 г.).

Для оценки результатов использовалась конусно-лучевая компьютерная томография (Orthopantomograph OP 300, Kavo).

Далее теменные кости были сепарированы, полученные препараты фиксировались в 10% нейтральный формалин для дальнейшего проведения гистологического исследования.

Препараты костной ткани были декальцинированы Трилоном Б в концентрации 25 ммоль/дм³ на протяжении 3-4

недель, далее были получены срезы, которые окрашивались по стандартной методике гематоксилином и эозином.

С помощью светового микроскопа (Carl Zeiss) на увеличении x200 проводился анализ изменений в костной ткани при наличии надкостницы, после удаления надкостницы и при создании дефекта. Обращалось особое внимание на степень повреждения кости, надкостницы и костного мозга, а также на способность костной ткани регенерировать после воздействия лазера.

При микроскопическом исследовании гистологических препаратов теменной кости кроликов наблюдались следующие изменения.

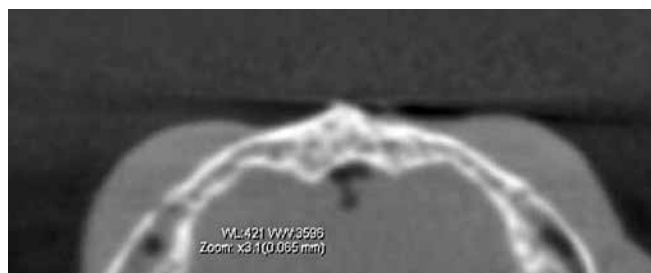


Рис. 7. Сагиттальный срез теменной кости на конусно-лучевой компьютерной томографии
Fig. 7. Sagittal section of the parietal bone on computed tomography

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Гистологическое исследование с использованием лазера с длиной волны 980 нм.

После воздействия лазера с длиной волны 980 нм через 21 день в зоне с сохраненной надкостницей она приобретала гомогенную малоклеточную структуру в очагах воздействия, разволокнялась. К костной ткани прилежали гомогенные массы с запустевшими сосудами, что отражало прошедшее асептическое воспаление в ответ на повреждение. В наружной кортикальной пластинке были заметны пустые клеточные лакуны и пикноз ядер остеоцитов, как проявление повреждающего действия лазера. На симметричной стороне теменной кости в этом же опыте в очагах воздействия располагались базофильные массы (рис. 8). Структура внутренней кортикальной пластинки не изменялась, между костными балками преобладал жировой костный мозг с очагами кроветворного. Не было отмечено признаков остеогенеза или активации клеток – предшественников остеобластов.

Через 45 дней после применения лазера с длиной волны 980 нм с сохранением надкостницы в наружной кортикальной пластинке определялись мелкие чашевидные дефекты, надкостница была разволокнена, на симметричной стороне наблюдалось отщепление фрагмента кортикальной пластинки в месте воздействия (рис. 9). Внутренняя кортикальная пластинка, губчатая кость и костный мозг не проявляли отклонений от нормы.

В зоне с отслоением надкостницы через 21 день при использовании лазера 980 нм в участках воздействия были заметны дефекты в виде неглубоких чаш, с небольшим количеством масс детрита (рис. 10). Вокруг очага наблюдались пустые клеточные лакуны.

Через 45 дней после воздействия лазера в данной зоне в кортикальной пластинке сохранялись пустые клеточные лакуны. Местами наблюдалось приращение мягких тканей (мышечной и волокнистой) к поверхности кортикальной пластинки (рис. 11).

Гистологическое исследование с использованием лазера с длиной волны 1550 нм.

При применении лазера 1550 нм у животных с сохраненной надкостницей через 21 день воздействие лазера вызывало отслоение, некроз и гомогенизацию надкостницы, отложение обугленных масс на поверхности, пикноз ядер остеоцитов кортикальной пластинки (рис. 12).

Через 45 дней после воздействия лазера клеточный слой надкостницы частично восстанавливался, над ее поверхностью сохранялись некротизированные массы. Особенностей структуры внутренней кортикальной пластинки не обнаружено.

В зоне с отслоением надкостницы и использовании лазера 1550 нм через 21 день в очагах воздействия лазера заметны деструкция с образованием чашевидных дефектов и обугливание (рис. 13).

Через 45 дней на месте воздействия был заметен чашеобразный дефект с остатками базофильных некротических масс (рис. 14). В окружающей костной ткани не отмечалось признаков остеогенеза.

В зоне с созданием дефектов в кости, лишенной надкостницы, через 21 день область воздействия была заполнена некротизированной костной тканью и ее фрагментами, с большим количеством костного и тканевого детрита (рис. 15).

Через 45 дней дефект сохранялся в виде узкой щели, концы кортикальной пластинки были закруглены, промежуток между отломками заполнен волокнистыми массами, некротизированными костными фрагментами. На противоположной – симметричной стороне – дефект сохранялся и заполнялся жировым костным мозгом (рис. 16).

Наблюдается наличие в области дефекта костных фрагментов, стимулирующих остеогенез в шести случаях из 10 (рис. 17).

Проведенный гистоморфологический анализ позволил количественно подтвердить и уточнить наблюдаемые тканевые изменения. Все животные разделены на четыре группы в зависимости от наблюдаемых тканевых изменений:

1-я группа – воздействие лазера с длиной волны 980 нм на кость с сохраненной надкостницей, подгруппы – 21 и 45 дней наблюдения.

2-я группа – воздействие лазера с длиной волны 980 нм на кость без надкостницы, подгруппы – 21 и 45 дней наблюдения.

3-я группа – воздействие лазера с длиной волны 1550 нм на кость с сохраненной надкостницей, подгруппы – 21 и 45 дней наблюдения.

4-я группа – воздействие лазера с длиной волны 1550 нм на кость без надкостницы, подгруппы – 21 и 45 дней наблюдения.

Измерения не проводились в группе с воздействием на созданные дефекты в кости.

Для морфометрического анализа использовалась программа Fiji.app. Измерения проводились на микрофото с одинаковым увеличением $\times 200$. Измерялась толщина надкостницы в пикселях, которые принимались за условные единицы, что было адекватно для сравнительной оценки. Площадь очага повреждения костной ткани оценивалась в процентах ко все площади микрофото, которая была одинакова.

Статистический анализ полученных данных произведен с помощью программы MedCalc® v.19.1.3. Все полученные ряды данных были проверены на соответствие критериям нормального распределения с помощью теста Шапиро-Уилка, после чего для описания групп были использованы показатели средней величины и ошибки средней величины. Для сравнительного анализа полученных результатов в различных группах был использован точный критерий Фишера для сравнения выборок малого объема.

Все проанализированные показатели рассчитывались с двусторонним доверительным интервалом. Достоверным принималось значение $p < 0,05$.

Толщина надкостницы была оценена только в группе 1 и группе 3.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

Площадь деструкции

Кость с сохраненной надкостницей (группы 1 и 3)

Сравнительный анализ площади деструкции костной ткани с сохраненной надкостницей позволили выявить следующие различия:

На 21 сутки площадь деструкции в группе с длиной волны 1550 нм была достоверно выше, чем в группе с 980 нм – $p = 0,0369$.

На 45 сутки площадь деструкции костной ткани была также достоверно выше в группе с длиной волны 1550 нм – $p = 0,0339$.

Кость без надкостницы (группы 2 и 4)

Сравнительный анализ площади деструкции костной ткани без надкостницы позволили выявить следующие различия:

На 21 сутки площадь деструкции в обеих группах достоверно не отличалась – $p = 0,1000$.

Аналогичная картина наблюдалась и на 45 сутки: достоверных различий в площади деструкции при воздействии лазеров с различной длиной волны выявлено не было – $p = 0,1000$.

Толщина надкостницы (только группы 1 и 3)

Сравнительный анализ толщины надкостницы позволил выявить следующие различия:

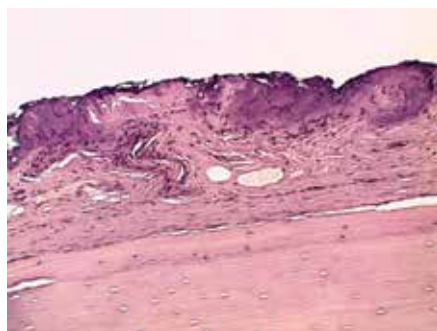


Рис. 8. Надкостница утолщена, на поверхности базофильные очаги некроза – сверху снимка. Окраска гематоксилином и эозином, увеличение x200
Fig. 8. The periosteum is thickened; on the surface the basophilic foci of necrosis are at the top of the picture. Hematoxylin and eosin staining, magnification x200



Рис. 9. Разволокнение надкостницы, чашевидные дефекты в кортикальной пластинке
Fig. 9. Periosteum disfunction, cup-shaped defects in the cortical plate

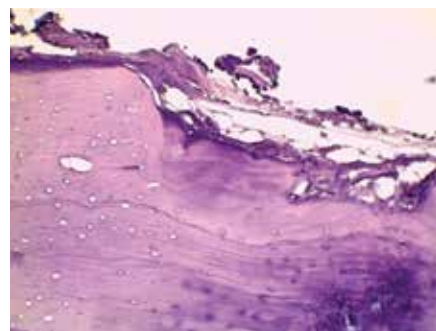


Рис. 10. Детрит в очагах воздействия лазера на кость без надкостницы. Окраска гематоксилином и эозином, увеличение x200
Fig. 10. Detritus in the foci of laser exposure to bone without periosteum. Hematoxylin and eosin staining, magnification x200

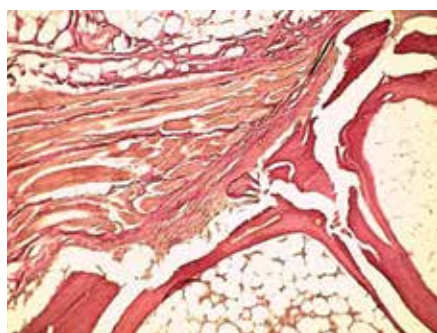


Рис. 11. В центре и слева располагается мышечная ткань, плотно прилегающая к кортикальной пластинке с явлениями разрушения. Окраска по Ван Гизону, увеличение x200
Fig. 11. In the center and on the left is muscle tissue that is closely adjacent to the cortical plate with the phenomena of destruction. Van Gieson staining, magnification x200

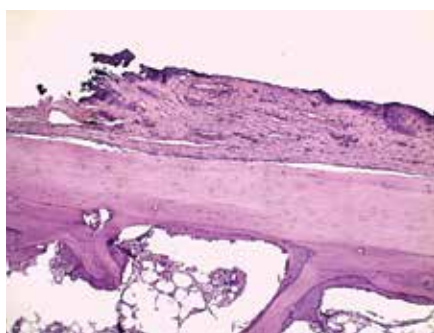


Рис. 12. Надкостница разволокнена, местами утолщена, фиброзирована, на поверхности местами встречаются очаги базофильного детрита. В кортикальной пластинке заметны пустые клеточные лакуны
Fig. 12. The periosteum is fibrous, thickened in places, fibrosed, in some places foci of basophilic detritus are found on the surface. Empty cell lacunae are visible in the cortical plate

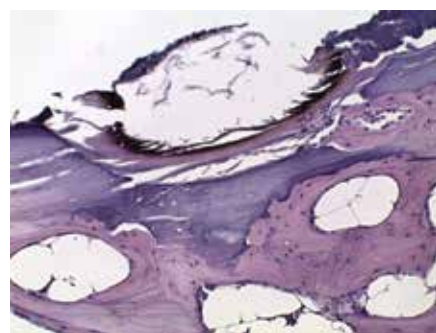


Рис. 13. Глубокий очаг разрушения кортикальной пластинки заполнен обугленным детритом и некротизированной костью. Между костными балками видны остатки жирового костного мозга. Окраска гематоксилином и эозином, увеличение x400
Fig. 13. The deep focus of the destruction of the cortical plate is filled with carbonized detritus and necrotic bone. Between the bone beams the remains of the adipose bone marrow are visible. Hematoxylin and eosin stain, magnification x400

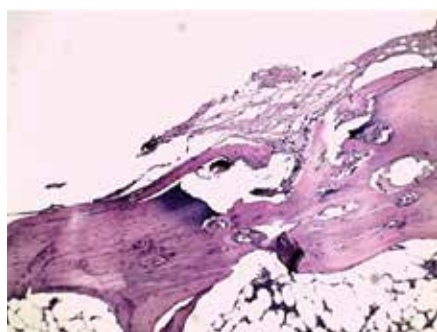


Рис. 14. Очаг воздействия с остатками некротических масс в центре фото. Окраска гематоксилином и эозином, увеличение x100
Fig. 14. The focus of exposure with the remains of necrotic masses in the center of the photo. Stained with hematoxylin and eosin, magnification x100

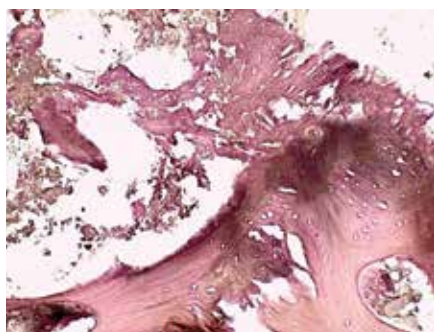


Рис. 15. Костные фрагменты и тканевой детрит в центре дефекта. Пустые клеточные лакуны по краям. Окраска гематоксилином и эозином, увеличение x100
Fig. 15. Bone fragments and tissue detritus at the center of the defect. Empty cell lacunae around the edges. Hematoxylin and eosin staining, magnification x100

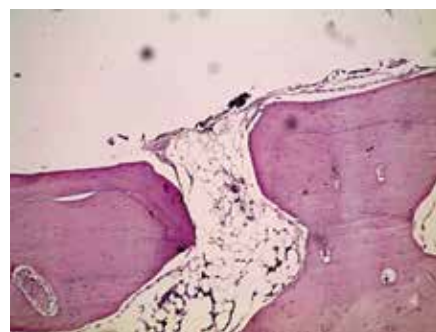


Рис. 16. Концы кортикальной пластинки закруглены, между ними в дефекте – волокнистая ткань. Окраска гематоксилином и эозином, увеличение x100
Fig. 16. The ends of the cortical plate are rounded, between them in the defect is a fibrous tissue. Hematoxylin and eosin staining, magnification x100

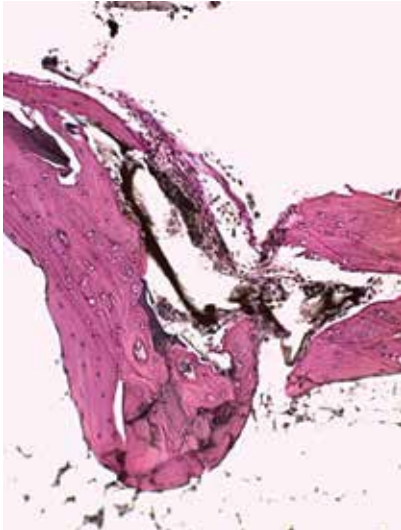


Рис. 17. Молодая новообразованная кость по краям дефекта с сохраненным небольшим количеством обугленного детрита. Окраска гематоксилином и эозином, увеличение x200
Fig. 17. A young newly formed bone along the edges of the defect with a small amount of carbonized detritus retained. Hematoxylin and eosin stain, magnification x200

На 21 сутки толщина надкостницы в группе с длиной волны 980 нм достоверно не отличалась от толщины надкостницы группы с длиной волны 1550 нм – $p = 0,4000$.

На 45 сутки наблюдения также не выявлено достоверных различий в толщине надкостницы между обеими группами – $p = 0,2000$.

Кроме того, не было выявлено достоверной разницы в рассматриваемых группах ни в превышении толщины надкостницы по сравнению с нормальным показателем, ни на 21 сутки ($p = 0,4000$), ни на 45 сутки ($p = 0,2000$) наблюдения.

Также отсутствовала достоверная разность и в уменьшении толщины надкостницы с 21 по 45 сутки наблюдения – $0,4000$.

ВЫВОДЫ

Обобщая наблюдения, следует отметить, что гистологическая картина тканевых изменений в

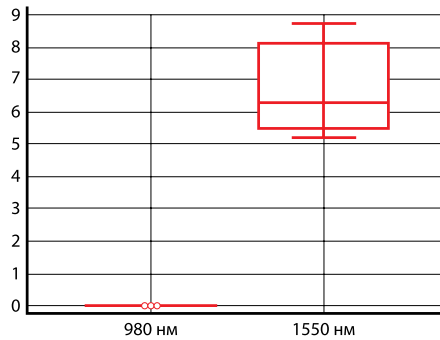


Рис. 18. Результаты сравнительного анализа групп 1 и 3, площадь дефектов через 21 день

Fig. 18. The results of a comparative analysis of groups 1 and 3, the area of defects after 21 days

эксперименте у разных животных несколько различалась, но были выявлены общие закономерности.

1. Микроскопический анализ тканей теменной области черепа кролика в экспериментах с облучением показал, что при воздействии лазера с длинами волн 980 нм и 1550 нм в тканях наблюдаются выраженные деструктивные изменения. Очаги повреждения представляют собой скопления некротических или обугленных масс, костных фрагментов, аморфного детрита с образованием чашевидных дефектов в области воздействия лазера.

2. Было показано, что наиболее выраженные процессы деструкции отмечались при использовании лазера с длиной волны 1550 нм в опыте без надкостницы. Надкостница является как бы щитом для кортикальной пластинки. Наименьшие изменения были отмечены при использовании лазера с длиной волны 980 нм при наличии надкостницы. Обращает внимание факт лизиса остеоцитов наружной кортикальной пластинки с образованием пустых лакун не только в месте воздействия лазера, но и в прилежащей костной ткани. Это объясняется гибелью сосудов и клеток – предшественников остеобластов в поврежденной надкостнице и в костномозговом канале. Отсутствие признаков остеогенеза на костных отломках и краях дефекта на этих сроках

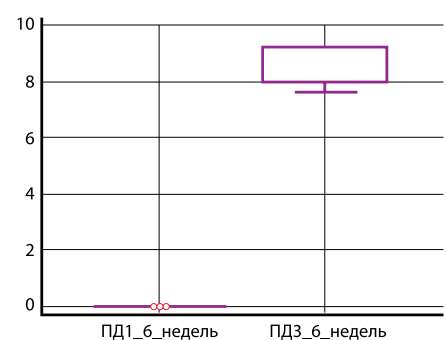


Рис. 19. Результаты сравнительного анализа групп 1 и 3, площадь дефектов через 45 дней

Fig. 19. The results of a comparative analysis of groups 1 and 3, the area of defects after 45 days

наблюдения также связано с повреждением сосудистых почек, при этом в надкостнице только в части случаев отмечена слабовыраженная пролиферация фибробластов. Строение внутренней кортикальной пластинки в проведенных экспериментах соответствовало норме. В костном мозге менялось соотношение жирового и кровяного компонентов: при более выраженном повреждении костной ткани отмечалось увеличение жирового компонента. Нами не наблюдалось явлений воспаления. Рассасывание детрита или его организация проходили очень медленно и по-разному у разных животных, поэтому у некоторых из них аморфные массы сохранялись на сроке 45 дней, что объясняется особенностями строения сосудистой системы черепа и слабыми потенциями клеточного и бесклеточного рассасывания.

3. В проведенных экспериментах в шести случаях из 10 отмечалось образование молодой костной ткани в виде тонкой полоски в дне очага поражения, но и в этих случаях отмечался вторичный некроз остеоцитов – пустые клеточные лакуны в этой зоне.

4. Полученные результаты дают основание для дальнейшего изучения регенерации костной ткани технологией неабляционного лазерного фототермолиза путем изменения параметров лазера (мощность, длительность импульса и другие).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Гладкова Н. Д., Островская Ю. В., Попов Д. С., Фельдштейн Ф. И., Мураев А. А., Карабут М. М., Киселева Е. Б., Губарькова Е. В. Клиническое применение лазерной структурированной микрокоагуляции для лечения воспалительных заболеваний слизистой оболочки полости рта. Стоматология для всех. 2013;1:26-28. [N. D. Gladkova, Yu. V. Ostrovskaya, D. S. Popov, F. I. Feldstein, A. A. Muraev, M. M. Karabut, E. B. Kiseleva, E. V. Gubarkova. The clinical use of laser structured microcoagulation for the treatment of inflammatory diseases of the oral mucosa. Dentistry for all. 2013;1:26-28. (In Russ.)]. <http://elibrary.ru/item.asp?id=20261761>. <https://doi.org/10.1007/s10103-011-1024-9>.

2. Яременко А. И., Зерницкий А. Ю., Зерницкая Е. А. Экспериментальное изучение фракционного лазерного воздействия на регенерацию костной ткани в зоне аугментации. Пародонтология. 2016;1(78):18-21. [A. I. Yaremenko, A. Yu. Zernitskiy, E. A. Zernitskaya. Pilot in vivo animal study of bone regeneration by fractional laser. Periodontology. 2016;1(78):18-21. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.25636/PMP.1.2018.3.10>.

3. G. B. Altschuler, A. V. Belikov, K. V. Shatilova, A. I. Yaremenko, A. Y. Zernitskiy, E. A. Zernitskaia. Pilot in vivo animal study of bone regeneration by fractional Er: YAG-laser. SPIE. 2016;9917:82-92. <https://doi.org/10.1117/12.2229391>.

4. L. R. Friesen, C. M. Cobb, J. W. Rapley, L. Forgas-Brockman, P. Spencer. Laser irradiation of bone: II. Healing response following treatment by CO₂ and Nd:YAG lasers. J. Periodontol. 1999;70(1):75-83. <https://doi.org/10.1902/jop.1999.70.1.75>.

5. M. M. Karabut, A. V. Belikov, A. V. Skripnik, T. V. Strunina, S. S. Kuznetsov, E. B. Kiseleva, E. V. Gubarkova, I. V. Senina-Volzhskaia, F. I. Feldchtein, G. B. Altshuler, N. D. Gladkova. Laser microablative tunnel formation to initiate alveolar bone regeneration. Pilot ex vivo study. Sovremennye tehnologii v medicine. 2013;5(4):6-18. <http://stm-journal.ru/en/numbers/2013/4/1087/pdf>.

6. G. Kesler, D. K. Shvero, Y. S. Tov, G. Romanos. Platelet derived growth factor secretion and bone healing after Er: YAG laser bone irradiation. J. Oral Implant. 2011;37:195-204. <https://doi.org/10.1515/bjdm-2016-0021>.

7. D. Manstein, G. S. Herron, R. K. Sink. Fractional photothermolysis: a new concept for cutaneous remodeling using microscopic patterns of thermal injury. Lasers Surg Med. 2004;34;5:426-38. <https://doi.org/10.1002/lsm.20048>.

8. V. G. McDavid, C. M. Cobb, J. W. Rapley, A. G. Glaros, P. Spencer. Laser irradiation of bone: III. Long-term healing following treatment by CO₂ and Nd:YAG lasers. J. Periodontol. 2001;72(2):174-182. <https://doi.org/10.1902/jop.2001.72.2.174>.

9. D. N. Perio. Periodontal Bone Regeneration and the Er, Cr: YSGG Laser: A Case Report. The open dentistry journal. 2013;7:16-19. <https://doi.org/10.2174/1874210601307010016>.

10. X. Wang, C. Zhang, K. Matsumoto. In vivo study of the healing processes that occur in the jaws of rabbits following perforation by an Er, Cr: YSGG laser. Laser. Med. Sci. 2005;20(1):21-27. <https://doi.org/10.1007/s10103-005-0329-y>.

Конфликт интересов:

Авторы декларируют отсутствие конфликта интересов/

Conflict of interests:

The authors declare no conflict of interests

Поступила/Article received 20.12.2019

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Яременко Андрей Ильич, д.м.н., профессор, заведующий кафедрой стоматологии хирургической и челюстно-лицевой хирургии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, проректор по учебной работе ПСПбГМУ имени акад. И.П. Павлова, президент Стоматологической ассоциации Санкт-Петербурга, главный стоматолог Санкт-Петербурга, Санкт-Петербург, Российская Федерация

ayaremenko@me.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7700-7724>

Yaremenko Andrei I., DSc, Professor, chief of the department of Maxilla-facial surgery of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Academician I.P. Pavlov First St. Petersburg State Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation, president of Saint-Petersburg Dental Association, Main Dentist of Saint Petersburg, Saint Petersburg, Russian Federation

Зерницкий Александр Юрьевич, к.м.н., доцент кафедры стоматологии хирургической и челюстно-лицевой хирургии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Российская Федерация

zernitski@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9185-3129>

Zernitskiy Alexander Yu., PhD, associate professor of the department of Maxilla-facial surgery of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Academician I.P. Pavlov First St. Petersburg State Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russian Federation

zernitski@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9185-3129>

Кутукова Светлана Игоревна, к.м.н., доцент кафедры стоматологии хирургической и челюстно-лицевой хирургии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Российская Федерация

dr.s.kutukova@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2221-4088>

Kutukova Svetlana I., PhD, associate professor of the department of Maxilla-facial surgery of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Academician I.P. Pavlov First St. Petersburg State Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russian Federation

Зерницкая Екатерина Александровна, аспирант кафедры стоматологии хирургической и челюстно-лицевой хирургии Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Российская Федерация

zernitskaya_ekaterina@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3819-693X>

Zernitskaya Ekaterina A., MD, PhD-student of the department of Maxilla-facial surgery of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Academician I.P. Pavlov First St. Petersburg State Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russian Federation

Столярова Анастасия Игоревна, студентка 5 курса Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Российская Федерация

nastolyarova@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9967-2744>

Stolyarova Anastasia I., 5-year student of the department of Maxilla-facial surgery of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Academician I.P. Pavlov First St. Petersburg State Medical University» of the Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russian Federation

Анисимова Лариса Осиповна, к.б.н., доцент Федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Р.Р. Вредена» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Российская Федерация

anisanat@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3398-5400>

Anisimova Larisa O., PhD, associate professor of Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Russian Research Institute of Traumatology and Orthopedics named after R.R. Vreden» of the Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russian Federation