

# Гистологическая оценка репаративной регенерации раны, созданной лазерным излучением длиной волны 445 нм в режиме абляции

Н.В. Романенко, М.А. Вергун, А.А. Смирнов, Н.Б. Серезжникова

ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, Российская Федерация

## РЕЗЮМЕ

**Актуальность.** В мировой клинической практике для мукогингивальной хирургии представлена инновационная лазерная технология, возможностью которой является препарирование слизистой оболочки полости рта бесконтактным способом. Лазерное излучение генерируется диодным полупроводником, имеет длину волны  $445 \pm 40$  нм, что соответствует синему цвету видимого спектра света. Актуальным представляется научное обоснование эффективности и атрауматичности применения лазерного излучения длиной волны 445 нм в качестве инструмента альтерации в хирургической стоматологической практике. **Цель исследования.** Изучение морфологических изменений интактной слизистой оболочки полости рта при воздействии лазерным излучением длиной волны 445 нм в абляционном режиме. **Материалы и методы.** Изучение динамики репаративной регенерации раны слизистой оболочки полости рта, созданной излучением синего лазера, проведено в экспериментальном исследовании на примере пластики уздечки нижней губы. Объектом изучения послужили 48 половозрелых лабораторных крыс мужского пола линии WISTAR массой от 180 до 250 граммов. Препарирование слизистой оболочки преддверия полости рта проводили лучом синего лазера при мощности 0,7 Вт и непрерывном режиме. **Результаты.** Минимальная оценка выраженности воспалительной реакции определена через 25 минут после окончания операции и составила  $1,1 \pm 0,7$  баллов. Максимальная оценка репаративной регенерации раны в  $4,0 \pm 0,0$  баллов установлена на 14-е сутки послеоперационного периода. Показатели репаративной регенерации тканей преобладали над процессом воспалительной реакции на 7-е сутки после операции. **Выводы.** Полуколичественный анализ гистологической картины биоптатов позволяет объективно сопоставить показатели репаративной регенерации с показателями воспалительной реакции в области операционной раны в разные сроки послеоперационного периода.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** регенерация раны, гистологический анализ, синий лазер, френулопластика, репаративная регенерация.

**КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Histological evaluation of reparative regeneration of a wound created by laser irradiation with a wavelength of 445 nm in ablation mode

N.V. Romanenko, M.A. Vergun, A.A. Smirnov, N.B. Serezhnikova

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation (Sechenovskiy University), Moscow, Russian Federation

## SUMMARY

**Background.** In the world clinical practice for mucogingival surgery, an innovative laser technology is presented, the possibility of which is the preparation of the oral mucosa in a contactless way. Laser irradiation is generated by a diode semiconductor, has a wavelength of  $445 \pm 40$  nm, which corresponds to the blue color of the visible light spectrum. Scientific substantiation of the effectiveness and atraumatic nature of the use of laser irradiation with a wavelength of 445 nm as an alteration tool in surgical dental practice seems relevant. **Aim.** The study sought to chart the morphological transformations undergone by healthy oral mucosa subjected to ablative laser irradiation at a wavelength of 445 nm. **Materials and methods.** The study of the dynamics of reparative regeneration of the wound of the oral mucosa created by blue laser irradiation was carried out in an experimental study using the example of plastic surgery of the frenulum of the lower lip. The object of the study were 48 sexually mature male laboratory rats of the WISTAR line weighing from 180 to 250 grams. The mucous membrane of the vestibule of the oral cavity was prepared using a blue laser beam at a power of 0.7W and a continuous mode (CW). **Results.** The minimum score for the severity of the inflammatory reaction was determined 25 minutes after the end of the operation and amounted to  $1.1 \pm 0.7$  points. The maximum score for reparative wound regeneration of  $4.0 \pm 0.0$  points was established on the 14<sup>th</sup> day of the postoperative period. The indicators of reparative tissue regeneration prevailed over the process of inflammatory reaction on the 7<sup>th</sup> day after the operation. **Conclusions.** Semi-quantitative analysis of the histological picture of biopsy specimens allows for an objective comparison of the indicators of reparative regeneration with the indicators of the inflammatory reaction in the area of the surgical wound at different times of the postoperative period.

**KEYWORDS:** wound healing; histological analysis; blue laser; frenuloplasty; reparative regeneration.

**CONFLICT OF INTEREST.** The authors declare that they have no conflicts of interest.

## Введение

В настоящее время для препарирования мягких тканей полости рта широко используются диодные полупроводниковые лазеры длиной волны  $810 \pm 10$ ,  $940 \pm 10$  и  $980 \pm 10$  нм [1–7]. Данные длины волн находятся в инфракрасном (невидимом) спектре света. Энергия диод-

ных лазеров поглощается в большей степени гемоглобином крови и в меньшей степени – меланином тканей [8]. При препарировании слизистой оболочки полости рта лазерным излучением отмечается выраженный гемостатический эффект [9–15]. Рассечение и отсечение тканей слизистой оболочки полости рта выполняют гибким сте-

кловолокном, которое предварительно иницируют [16]. Данная процедура заключается в создании серии точечных контактов кончика оптоволокну с мишенью: изделием из пробкового дерева, листом копировальной бумаги темного цвета или таблеткой активированного угля [17]. Препарирование мягких тканей излучением диодных лазеров длиной волны  $810 \pm 10$ ,  $940 \pm 10$  и  $980 \pm 10$  нм возможно только контактным способом [1–18]. Технические особенности данной процедуры влекут за собой значительное повышение температуры тканей в области операционного поля и особенно при несвоевременном очищении стекловолокну, что вызывает термический ожог и выраженный коагуляционный некроз тканей, а также формирует болевой синдром у пациентов в ранний послеоперационный период.

В настоящее время мировые производители медицинского оборудования заявили о создании лазерного аппарата с длиной волны  $445 \pm 40$  нм. Данная длина волны видимого света находится в спектре синего цвета. Длина волны синего лазера является ближайшей к максимальному пику поглощения энергии фотонов гемоглобином, что обуславливает выраженный гемостаз в области операционной раны [19].

Представленные на российском и зарубежном рынках лазерные аппараты с длиной волны  $445 \pm 40$  нм заявлены как бесконтактные хирургические устройства. Данное заявление производителей заведомо предполагает малую инвазивность лечебных манипуляций и более высокую безопасность применения данной лазерной технологии у пациентов разных возрастных групп и у пациентов с сопутствующими заболеваниями. Все эти факты создают предпосылки для широких перспектив применения лазерной технологии с длиной волны  $445 \pm 40$  нм. Актуальным представляется научное обоснование эффективности и безопасности применения лазерного излучения длиной волны 445 нм в качестве инструмента альтерации в хирургической стоматологической практике.

**Цель исследования** – изучение морфологических изменений интактной слизистой оболочки полости рта при воздействии лазерным излучением длиной волны 445 нм в абляционном режиме.

## Материалы и методы

Проведение экспериментального исследования одобрено Локальным Этическим Комитетом ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения РФ 07.10.2021 года (Протокол ЛЭК № 17–21). Объем выборки был определен с использованием формул Sample size на основе результатов аналогичного ранее опубликованного исследования [20].

Для изучения особенностей репаративной регенерации раны слизистой оболочки полости рта, созданной при воздействии лазерным излучением длиной волны 445 нм, нами была выбрана часто проводимая в клинической стоматологической практике операция френулопластики губы по методике Ирвинга Гликмана [21]. В связи с размерами полости рта и анатомическими особенностями преддверия

полости рта лабораторных животных (крыс) нами определена возможность проведения операции френулопластики в области нижней губы.

В данном экспериментальном исследовании объектом изучения послужили 48 половозрелых лабораторных крыс мужского пола линии WISTAR массой 180–250 г. Препарирование слизистой оболочки в области нижнего свода преддверия полости рта проведено с применением лазерного аппарата ALTA BLUE (Научно-техническое объединение «ИРЭ-ПОЛЮС», Россия). Регистрационное удостоверение № РЗН 2020/13139 от 12 января 2021 года. Параметры работы лазерного аппарата при хирургическом вмешательстве представлены в таблице 1.

**Таблица 1**  
**Параметры работы лазерного аппарата ALTA BLUE при хирургическом вмешательстве**

| Параметр                                             | Значение        |
|------------------------------------------------------|-----------------|
| Длина волны лазерного излучения                      | 445 нм          |
| Мощность лазерного излучения                         | 0,7 Вт          |
| Режим лазерного излучения                            | Непрерывный     |
| Способ доставки лазерного излучения                  | Бесконтактный   |
| Оптическое волокно                                   | Неиницированное |
| Дистанция от кончика световода до слизистой оболочки | 0,5–1 мм        |

После окончания операции на наружной поверхности альвеолярного края нижней челюсти формировалась рана ромбовидной формы, края которой не требовали сближения хирургическими швами. Операционные раны у лабораторных крыс имели одинаковые размеры: длина большей диагонали ромба составляла 5 мм, длина меньшей диагонали – 3 мм. Забор материала для гистологического исследования осуществляли через 25 минут после окончания операции, через 48 часов после операции (в начале третьих суток), а также на 7-е и 14-е сутки послеоперационного периода. Для изучения гистологической картины послеоперационной раны каждого временного периода нами использовано по 12 лабораторных особей, выбранных случайным образом. После забора биоптата слизистой оболочки полости рта лабораторных крыс выводили из эксперимента.

Для гистологического исследования было подготовлено 48 биоптатов слизистой оболочки полости рта лабораторных крыс.

Анализ гистологических препаратов проводили методом светопольной, фазово-контрастной и поляризационной световой микроскопии с помощью светового микроскопа Leica DM 4000 B LED (Leica Microsystems, Germany), оснащенного камерой Leica DFC 7000 T (Leica Microsystems, Germany).

Для объективизации результатов гистологического исследования, проведенного при изучении особенностей репаративной регенерации операционной раны слизистой оболочки полости рта, созданной при воздействии лазерным излучением длиной волны 445 нм в режиме абляции, нами проведен полуколичественный анализ состояния биоптатов – скоринг.

При проведении полуколичественного анализа состояния биоптатов учитывали значения критериев оценки признаков воспаления и признаков регенерации послеоперационной раны (рис. 1).

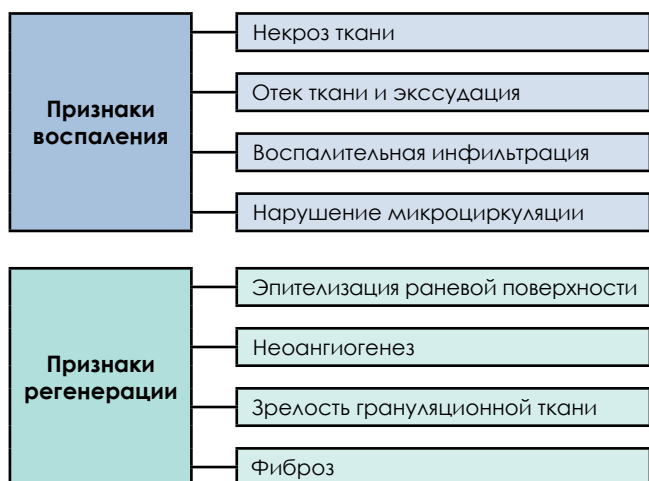


Рисунок 1. Блок-схема показателей полуколичественного анализа состояния биоптатов слизистой оболочки полости рта лабораторных крыс

Признаки воспаления – некроз, экссудация, воспалительная инфильтрация, нарушение микроциркуляции и признаки регенерации – эпителизация, неоангиогенез, распространенность и зрелость грануляционной ткани и фиброз оценивали по пятибалльной шкале, где значение «0» являлось отсутствием признака, значение «4» выражало максимальную интенсивность проявления.

При оценке некроза и отека тканей учитывали степень их распространения в биоптате, воспалительную инфильтрацию определяли по наличию и количеству скопления иммунных клеток, тромбоз оценивали по количеству сосудов, в которых наблюдали тромбообразование.

Регенерацию послеоперационной раны оценивали по зрелости эпителия и площади эпителизации раневой поверхности, степень выраженности процесса неоангиогенеза анализировали по количеству новых капилляров и степени полнокровия сосудов малого калибра, о зрелости и распространенности грануляционной ткани судили по ориентированности клеток фибробластов и толщине их слоя. Процесс формирования соединительной ткани с появлением рубцовых изменений оценивали по степени выраженности пролиферации клеток фибробластов и плотности распределения коллагеновых волокон.

## Результаты и обсуждение

Статистическая обработка данных проведена с помощью языка программирования R v4.3. Для количественных показателей определены среднее значение, стандартное отклонение, медиана и межквартильный интервал; характер распределения установлен с помощью теста Шапиро – Уилка (табл. 2, 3).

Для каждого гистологического признака воспалительной реакции и репаративной регенерации послеоперационной раны слизистой оболочки полости рта лабораторных крыс построены графики согласно оценкам признака по датам наблюдения. Выраженность гистологических признаков воспалительной реакции и репаративной регенерации слизистой оболочки полости рта лабораторных крыс в области послеоперационной раны представлена на рисунках 2–5.

Для каждого гистологического признака воспалительной реакции и репаративной регенерации операционной раны слизистой оболочки лабораторной крысы первоначальный сравнительный анализ по разным срокам послеоперационного периода проведен на основании критерия Фридмана. При статистической значимости последнего применен Т-критерий Уилкоксона с поправкой на множественные сравнения методом Холма: проведено сравнение количественных оценок признаков в каждый исследуемый период с оценками признаков, выявленных через 25 минут после окончания операции (1-е сутки послеоперационного периода). Статистическая значимость теста – Т-критерий Уилкоксона указывает на наличие различий между сравниваемыми оценками признака (табл. 4 и 5).

Уже на 7-е сутки после операции показатели репаративной регенерации тканей преобладали над процессом воспалительной реакции ( $p < 0,05$ ).

Нанесение хирургической травмы лазерным лучом на биологические ткани вызывает в них воспалительную реакцию. Известно, что выраженность воспалительной реакции прямо пропорциональна мощности лазерного излучения [13–15]. Регенерация тканей и организация раневого дефекта замедляются при увеличении мощности [13]. Необходимым представилось определение минимальной мощности, при которой возможно сформировать разрез слизистой оболочки полости рта лучом лазера

Таблица 2

Результаты статистического анализа полуколичественной оценки выраженности признаков воспалительной реакции в тканях биоптатов операционной раны слизистой оболочки полости рта лабораторных крыс через 25 минут и на 3-и, 7-е, 14-е сутки после операции

| Период наблюдения             | N  | M±SD    | Медиана и размахи | Тест Шапиро – Уилка, значимость (p) |
|-------------------------------|----|---------|-------------------|-------------------------------------|
| Через 25 минут после операции | 12 | 1,1±0,7 | 1,0 [1,0; 1,5]    | 0,0119257303                        |
| 3-и сутки после операции      | 12 | 2,4±0,7 | 2,5 [2,0; 3,0]    | 0,0041817595                        |
| 7-е сутки после операции      | 12 | 2,8±0,9 | 3,0 [2,0; 3,0]    | 0,0992172196                        |
| 14-е сутки после операции     | 12 | 2,3±0,8 | 2,5 [2,0; 3,0]    | 0,0052130789                        |

Таблица 3

Результаты статистического анализа полуколичественной оценки выраженности признаков репаративной регенерации тканей в биоптатах операционной раны слизистой оболочки полости рта лабораторных крыс через 25 минут и на 3-и, 7-е, 14-е сутки после операции

| Период наблюдения             | N  | M±SD    | Медиана и размахи | Тест Шапиро – Уилка, значимость (p) |
|-------------------------------|----|---------|-------------------|-------------------------------------|
| Через 25 минут после операции | 12 | 0,0±0,0 | 0,0 [0,0; 0,0]    | 0                                   |
| 3-и сутки после операции      | 12 | 0,0±0,0 | 0,0 [0,0; 0,0]    | 0                                   |
| 7-е сутки после операции      | 12 | 2,2±0,7 | 2,0 [2,0; 3,0]    | 0,0152566659                        |
| 14-е сутки после операции     | 12 | 4,0±0,0 | 4,0 [4,0; 4,0]    | 0                                   |

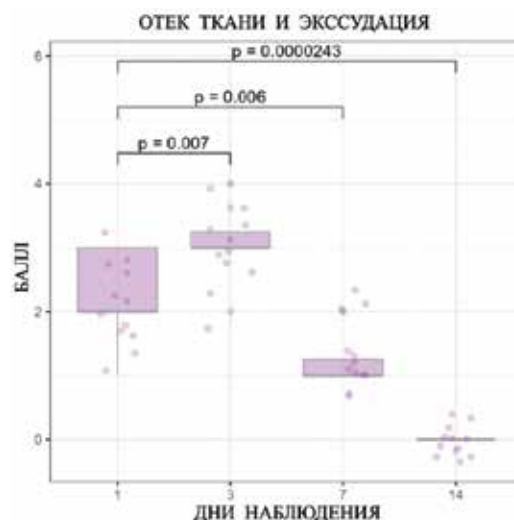
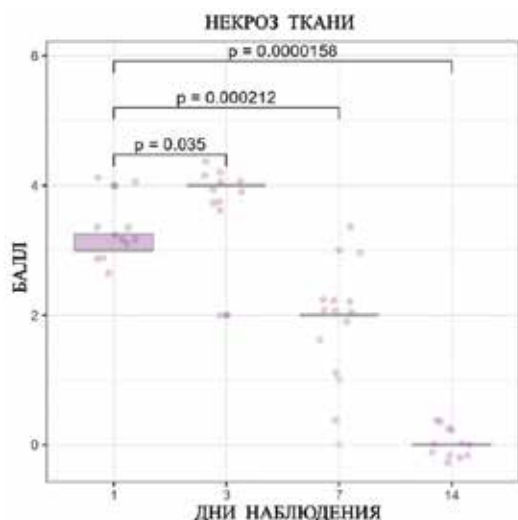


Рисунок 2. Динамика выраженности некроза ткани, отека ткани и экссудации – гистологических показателей воспалительной реакции послеоперационной раны слизистой оболочки полости рта лабораторных крыс через 25 минут после операции и на 3-и, 7-е, 14-е сутки послеоперационного периода

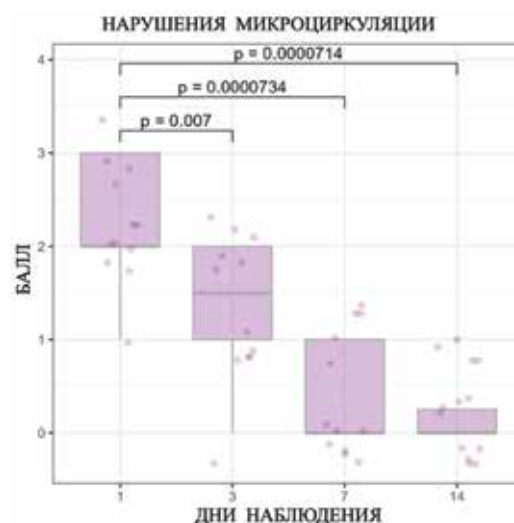
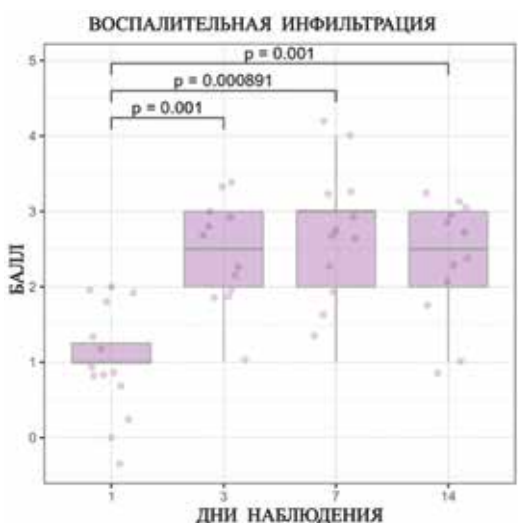


Рисунок 3. Динамика выраженности воспалительной инфильтрации и нарушений микроциркуляции – гистологических показателей воспалительной реакции послеоперационной раны слизистой оболочки полости рта лабораторных крыс через 25 минут после операции и на 3-и, 7-е, 14-е сутки послеоперационного периода

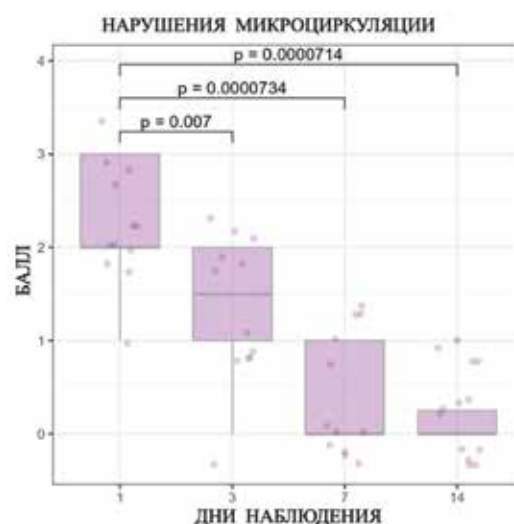
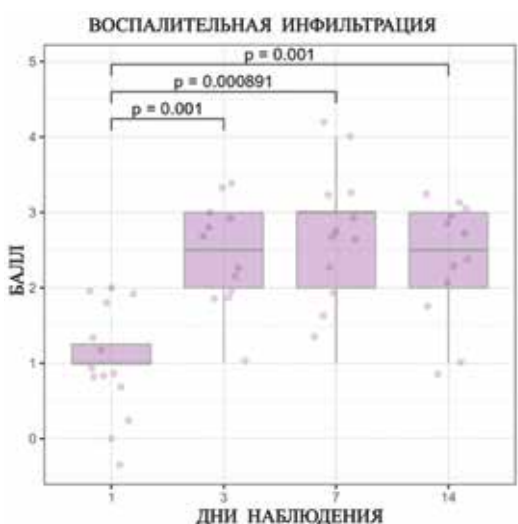


Рисунок 4. Динамика выраженности эпителизации раневой поверхности и неоангиогенеза – гистологических показателей репаративной регенерации послеоперационной раны слизистой оболочки полости рта лабораторных крыс через 25 минут после операции и на 3-и, 7-е, 14-е сутки послеоперационного периода

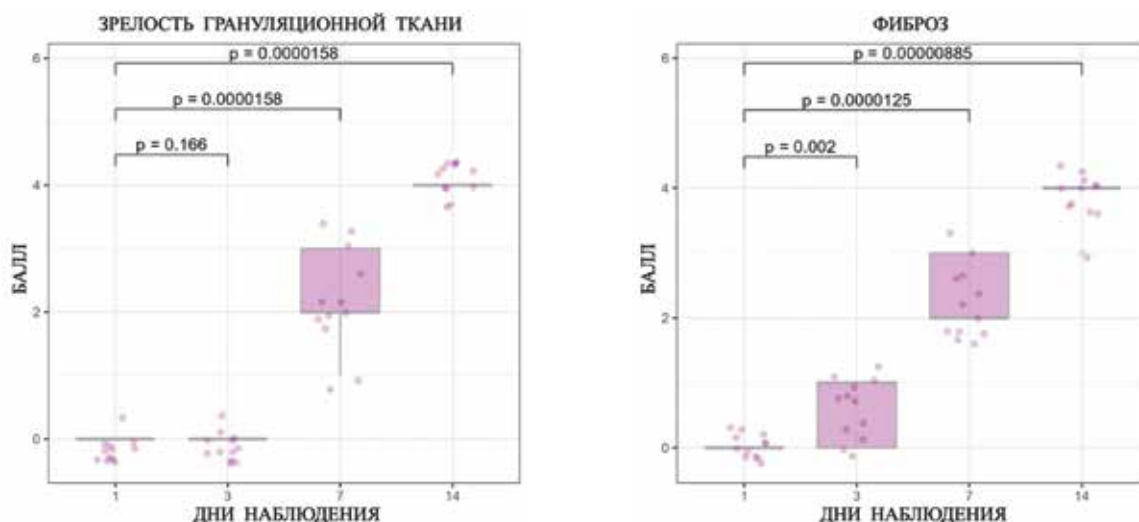


Рисунок 5. Динамика выраженности зрелости грануляционной ткани и фиброза – гистологических показателей репаративной регенерации послеоперационной раны слизистой оболочки полости рта лабораторных крыс через 25 минут после операции и на 3-и, 7-е, 14-е сутки послеоперационного периода

**Таблица 4**  
Результаты попарного теста сравнения выраженности признаков воспалительной реакции в области послеоперационной раны слизистой оболочки полости рта лабораторных крыс

| Показатель гистологической картины | Критерий Фридмана | Непараметрические статистические тесты |                              |                               |
|------------------------------------|-------------------|----------------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
|                                    |                   | Периоды попарного сравнения            |                              |                               |
|                                    |                   | Т-критерий Уилкоксона                  |                              |                               |
|                                    |                   | 1-й и 3-й дни после операции           | 1-й и 7-й дни после операции | 1-й и 14-й дни после операции |
| Некроз ткани                       | 0,0000005         | 0,0346638                              | 0,0002112                    | 0,0000158                     |
| Отек ткани и экссудация            | 0,0000005         | 0,0069478                              | 0,0057956                    | 0,0000243                     |
| Воспалительная инфильтрация        | 0,0007349         | 0,0010120                              | 0,0008913                    | 0,0014664                     |
| Нарушения микроциркуляции          | 0,0000095         | 0,0074890                              | 0,0000735                    | 0,0000715                     |

**Таблица 5**  
Результаты попарного теста сравнения выраженности признаков репаративной регенерации послеоперационной раны слизистой оболочки полости рта лабораторных крыс

| Показатель гистологической картины | Критерий Фридмана | Непараметрические статистические тесты |                              |                               |
|------------------------------------|-------------------|----------------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
|                                    |                   | Периоды попарного сравнения            |                              |                               |
|                                    |                   | Т-критерий Уилкоксона                  |                              |                               |
|                                    |                   | 1-й и 3-й дни после операции           | 1-й и 7-й дни после операции | 1-й и 14-й дни после операции |
| Эпителизация раневой поверхности   | 0,00000011        | 0,16582395                             | 0,00001580                   | 0,00001580                    |
| Неоангиогенез                      | 0,00000011        | 0,16600000                             | 0,00001588                   | 0,00001580                    |
| Зрелость грануляционной ткани      | 0,00000007        | 0,16600000                             | 0,00001580                   | 0,00001580                    |
| Фиброз                             | 0,00000013        | 0,00235954                             | 0,00001248                   | 0,00000886                    |

ALTA BLUE. Эмпирическим путем нами было установлено, что минимальная мощность, при которой происходит рассечение слизистой оболочки полости рта лабораторной крысы неиницированным волокном полупроводникового лазера длиной волны 445 нм при постоянном режиме бесконтактным способом, равна значению – 0,7 Вт. По этой причине мы выполняли операцию френулопластики при мощности лазерного излучения 0,7 Вт.

Выявленная при гистологическом исследовании умеренная выраженность признаков воспалительной реакции тканей в области операционной раны свидетельствует о щадящем режиме лазерного излучения. Отсутствие кровотечения из открытой раны и признаков инфекционного осложнения в ранний послеоперационный период свидетельствуют о формировании качественного «лазерного бандажа» в области раневой поверхности, сформированной

на слизистой оболочке преддверия полости рта при операции френулопластики нижней губы. Отсутствие инфекционного осложнения подтверждают и признаки активации процесса репаративной регенерации послеоперационной раны в первые дни после хирургического вмешательства.

## Заключение

Гистологическое исследование продемонстрировало картину коагуляционного некроза в области операционной раны, сформированной при пластике уздечки нижней губы. Коагуляционный некроз – тип некроза тканей, характерный для раны, созданной лазерным излучением в режиме абляции. Примененный нами полуколичественный анализ гистологической картины биоптатов позволил объективно сопоставить показатели репаративной регенерации с показателями воспалительной реакции в области

операционной раны в разные сроки послеоперационного периода и подтвердить оптимальность выбора параметров лазерного излучения длиной волны 445 нм для мукогингивальной хирургии.

#### Список литературы / References

1. Pal M., Saokar A., Gopalkrishna P. et al. Diode laser-assisted management of intraoral soft tissue overgrowth: a case series. *Gen Dent* 2020; Jul–Aug; 68(4):28–31. PMID: 32597774.
2. Campos F.H.O., Ferreira L.B., Romano M.M. et al. Immediate laser-induced hemostasis in anticoagulated rats subjected to oral soft tissue surgery: a double-blind study. *Braz Oral Res* 2018; Jun 7; 32:e56. <https://doi.org/10.1590/1807-3107bor-2018.vol32.0056>. PMID: 29898023.
3. Azma E., Safavi N. Diode laser application in soft tissue oral surgery. *J Lasers Med Sci* 2013; Fall; 4(4):206–211. PMID: 25606331; PMCID: PMC4282004.
4. Patel R.M., Varma S., Suragimath G. et al. Comparison of labial frenectomy procedure with conventional surgical technique and diode laser. *J Dent Lasers* 2015; 9(2):94–99. <https://doi.org/10.4103/0976-2868.170565>.
5. Kaur M., Sharma Y.P.D., Singh P. et al. Comparative evaluation of efficacy and soft tissue wound healing using diode laser (810 nm) versus conventional scalpel technique for second-stage implant surgery. *J Indian Soc Periodontol* 2018; 22(3):228–234. [https://doi.org/10.4103/jisp.jisp\\_46\\_17](https://doi.org/10.4103/jisp.jisp_46_17).
6. Merigo E., Cini F., Fornaini C. et al. Laser-assisted surgery with different wavelengths: a preliminary ex vivo study on thermal increase and histological evaluation. *Lasers Med Sci* 2013; Feb; 28(2):497–504. <https://doi.org/10.1007/s10103-012-1081-8>.
7. Сорокина Е.А., Морозова Е.А., Герасименко А.Ю., Тарасенко С.В. Безболезненное формирование эстетического рубца слизистой оболочки рта методикой лазерной пайки ран в эксперименте. *Медицинский алфавит*. 2025; (1):97–104. Sorokina E.A., Morozova E.A., Gerasimenko A.Yu., Tarasenko S.V. Painless formation of an aesthetic scar on the oral mucosa using laser wound soldering: an experimental study. *Medical alphabet*. 2025; (1):97–104. (In Russ.) <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2025-1-97-104>.
8. Theodoro L.H., Garcia V.G. Surgical and non-surgical treatment of periodontal diseases. – In: Freitas Patricia M., Simões Alynne. *Lasers in Dentistry: Guide for Clinical Practice*. / «Wiley-Blackwell» 2015; p. 191–196.
9. Pisano M., Sammartino P., Di Vittorio L. et al. Use of Diode Laser for Surgical Removal of Pyogenic Granuloma of the Lower Lip in a Pediatric Patient: A Case Report. *Am J Case Rep* 2021; 22:e929690–1–e929690–5. <https://doi.org/10.12659/AJCR.929690>.
10. Sant'Anna E.F., de Souza Araújo M.T., Nojima L.I. et al. High-intensity laser application in Orthodontics. *Dental Press J Orthod* 2017; Nov–Dec; 22(6):99–109. doi: 10.1590/2177-6709.22.6.099-109.sar.
11. Pavlenko O., Boiko M., Savitskaya I. et al. Histotopographic and morphometric characteristics of the oral mucosa postoperative wounds healing, depending on the method of connecting the wound edges. – *EUREKA: Health Sciences* 2021; 3:69–78. <https://doi.org/10.21303/2504-5679.2021.001845>.
12. Politis C., Schoenaers J., Jacobs R. et al. Wound Healing Problems in the Mouth. *Front Physiol* 2016; Nov; 4:Article 507:1–13. <https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00507>.
13. Tarasenko S.V., Shekhter A.B., Minaev V.P. et al. 0.97 and 1.94 μm wavelength laser radiation effect on the oral mucous membrane regeneration in the experiment. *Photonics* 2019; 13(1):108–116. <https://doi.org/10.22184/Fros.2019.13.1.108.116>.
14. Воложин А.И., Тополянский О.З., Шехтер А.Б. и др. Особенности заживления слизистой оболочки полости рта при нанесении раны скальпелем, лазером и радионожом (экспериментальное исследование). *Российская стоматология*. 2011; 4(1):12–18. Volozhin A.I., Topol'nitsky O.Z., Shekhter A.B. et al. Peculiarities of oral mucosa repair after injury by a scalpel, laser and radio knife (experimental study). *Russian Journal of Stomatology* 2011; 4(1):12–18. (In Russ.)
15. Елисеенко В.И. Патологическая анатомия и патогенез лазерной раны. *Лазерная медицина* 2017; 21(4):5–10. Yeliseenko V.I. (2017) Laser wounds: Pathologic anatomy and pathogenesis. *Laser Medicine* 21(4):5–10. (In Russ.) <https://doi.org/10.37895/2071-8004-2017-21-4-5-10>.
16. Convisser R.A. *Principles and Practice of Laser Dentistry*: 2nd Edition. Mosby, 2015; 328 p.
17. Hatayama H., Inoue A., Kato J. Study on Use of Blue-violet Laser Diode Module as Dental / Oral Surgical Device. *J SEI: Technical Review* 2008; Apr; 66:142–146.
18. Sarmadi R., Gabre P., Thor A. Evaluation of upper labial frenectomy: a randomized, controlled comparative study of conventional scalpel technique and Er:YAG laser technique. *Clin Exp Dent Res* 2021; 7(4):522–530. <https://doi.org/10.1002/cre2.374>.
19. Palaia G., D'Alessandro L., Pergolini D. et al. In vivo clinical and histological thermal effect of a 445 nm diode laser on oral soft tissues during a biopsy. *Journal of Oral Science* 2021; 63(3):280–282.
20. Lu Y., Xu C., Xie K. et al. The relationship between thiamin, folic acid and cognitive function in a rat model of uremia. *Renal failure*, 2024; 46(1):2329257. <https://doi.org/10.1080/0886022X.2024.2329257>.
21. Glickman I. *Glickman's Clinical periodontology: Prevention, diagnosis, and treatment of periodontal disease in the practice of general dentistry*. Philadelphia, PA, USA: "Saunders". 5th edition, 1979. 1092 p.

Авторы выражают благодарность профессору С.В. Тарасенко и Главному статистику отдела исследовательских сервисов Сеченовского Университета А.Ю. Суворову.

Статья поступила / Received 14.03.2025  
Получена после рецензирования / Revised 20.03.2025  
Принята в печать / Accepted 20.03.2025

#### Информация об авторах

**Романенко Наталья Валерьевна** – к.м.н., доцент кафедры хирургической стоматологии Института стоматологии имени Е.В. Боровского  
E-mail: clematis@inbox.ru. SPIN ID: 4025–2805.  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5846-5578>

**Вергун Мария Андреевна** – статистик отдела исследовательских сервисов  
E-mail: bms@staff.sechenov.ru.  
ORCID <https://orcid.org/0009-0000-4547-0143>

**Смирнов Алексей Александрович** – студент Института стоматологии имени Е.В. Боровского  
E-mail: alexey02smirnov@gmail.com.  
ORCID <https://orcid.org/0009-0005-2652-5483>

**Сережникова Наталья Борисовна** – к.б.н., старший научный сотрудник Биобанка Института регенеративной медицины Научно-технологического парка биомедицины  
E-mail: natalia.serj@yandex.ru. SPIN ID: 2249–9762.  
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4097-1552>

ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, Российская Федерация

#### Контактная информация:

Романенко Наталья Валерьевна. E-mail: clematis@inbox.ru

#### Author information

**Romanenko Natalia V.** – PhD, Associate Professor of the Department of Oral Surgery of the E.V. Borovsky Institute of Dentistry  
E-mail: clematis@inbox.ru. SPIN ID: 4025–2805.  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5846-5578>

**Vergun Maria A.** – Research Services Department Statistician  
E-mail: bms@staff.sechenov.ru.  
ORCID <https://orcid.org/0009-0000-4547-0143>

**Smirnov Aleksei A.** – student of the Department of Oral Surgery of the E.V. Borovsky Institute  
E-mail: alexey02smirnov@gmail.com.  
ORCID <https://orcid.org/0009-0005-2652-5483>

**Serezhnikova Natalia B.** – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher at the Biobank of the Institute of Regenerative Medicine of the Scientific and Technological Park of Biomedicine  
E-mail: natalia.serj@yandex.ru. SPIN ID: 2249–9762.  
ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4097-1552>

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation (Sechenovskiy University), Moscow, Russian Federation

#### Contact information

Romanenko Natalia V. E-mail: clematis@inbox.ru

**Для цитирования:** Романенко Н.В., Вергун М.А., Смирнов А.А., Сережникова Н.Б. Гистологическая оценка репаративной регенерации раны, созданной лазерным излучением длиной волны 445 нм в режиме абляции // *Медицинский алфавит*. 2025; (10):64–69. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2025-10-64-69>

**For citation:** Romanenko N.V., Vergun M.A., Smirnov A.A., Serezhnikova N.B. Histological evaluation of reparative regeneration of a wound created by laser irradiation with a wavelength of 445 nm in ablation mode // *Medical alphabet*. 2025; (10):64–69. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2025-10-64-69>

