

Безболезненное формирование эстетического рубца слизистой оболочки рта методикой лазерной пайки ран в эксперименте

Е.А. Сорокина¹, Е.А. Морозова², А.Ю. Герасименко^{1,3}, С.В. Тарасенко¹

¹ ФГБУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова» МЗ РФ, Москва, Российская Федерация

² ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», Москва, Российская Федерация

³ Национальный исследовательский университет «МИЭТ», г. Зеленоград, Российская Федерация

РЕЗЮМЕ

Введение. Количество хирургических вмешательств в ротовой полости постоянно растет, так как стоматологические заболевания в настоящее время занимают одно из ведущих мест по встречаемости. В связи с чем необходимость выбора техники наложения швов при выполнении операций напрямую связана с качеством оказываемой стоматологической помощи. Одним из перспективных методов является лазерная пайка тканей, обеспечивающая быстрое и герметичное соединение тканей в условиях стерильности раны, сокращаются сроки заживления раны, уменьшается размер рубца. **Цель.** Повышение эффективности хирургического лечения стоматологических пациентов путем экспериментальной разработки методики лазерной пайки слизистой оболочки рта с использованием лазерного излучения и биоприпоя. **Материалы и методы.** Экспериментальная модель исследования была создана на 16 лабораторных кроликах породы шиншилла. Линейные раны на слизистой оболочке рта делали скальпелем и ушивали. Всех кроликов разделили на 2 группы исследования: 1) раны ушивали нитью Пролен 5.0; 2) края ран соединяли методикой лазерной пайки тканей с помощью лазерного аппарата с длиной волны 970 нм и биоприпоя на основе бычьего сывороточного альбумина, индоцианина зеленого, одностенных углеродных нанотрубок, коллагена I типа и нити Пролен 5.0. В послеоперационном периоде у лабораторных животных оценивали интенсивность боли, выраженность отека, интенсивность окраски гиперемии в области оперативного вмешательства на 1, 3 и 5 сутки в балах. **Результаты.** Экспериментальные исследования на животных *in vivo* показали, что наилучшая регенерация была при соединении краев ран с помощью лазерной пайки тканей с использованием лазерного излучения и биоприпоя, в послеоперационном периоде минимальны боль, отек и не выражена гиперемия, расхождения швов и некроза тканей не наблюдали. В области лазерного шва была более ранняя эпителизация, формирующийся рубец был очень тонкий и едва отличим от окружающих тканей. **Заключение.** Применение лазерного излучения в сочетании с биоприпоем является перспективной методикой для ушивания ран в полости рта, так как происходит безболезненное ускорение послеоперационных регенеративных процессов с минимальными рисками формирования грубого рубца.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: хирургическая стоматология, полость рта, слизистая оболочка рта, лазер, лазерная медицина, биоприпой, лазерная пайка.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Painless formation of an aesthetic scar on the oral mucosa using laser wound soldering: an experimental study

E.A. Sorokina¹, E.A. Morozova², A.Yu. Gerasimenko^{1,3}, S.V. Tarasenko¹

¹ Sechenov First Moscow State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation

² Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (RUDN University), Moscow, Russian Federation

³ National Research University of Electronic Technology «MIET», Zelenograd, Russian Federation

SUMMARY

Introduction. The number of surgical interventions in the oral cavity is steadily increasing, as dental diseases are among the most common health conditions today. Consequently, the choice of suturing techniques during surgical procedures is directly linked to the quality of dental care. One promising approach is laser tissue soldering, which enables rapid and airtight tissue bonding under sterile wound conditions, leading to faster healing and reduced scar formation. **Objective.** To enhance the effectiveness of surgical treatment in dental patients by experimentally developing a laser tissue soldering technique for the oral mucosa using laser radiation and a biocompatible soldering material. **Materials and methods.** The experimental study was conducted on 16 chinchilla breed laboratory rabbits. Linear wounds were created on the oral mucosa using a scalpel and then sutured. The animals were divided into two study groups: 1) the wounds were sutured using Prolene 5.0 thread; 2) the wound edges were joined using the laser tissue soldering technique, employing a 970 nm wavelength laser device and a biocompatible solder composed of bovine serum albumin, indocyanine green, single-walled carbon nanotubes, type I collagen, and Prolene 5.0 thread. Postoperative assessments included pain intensity, swelling severity, and the degree of hyperemia coloration at the surgical site on days 1, 3, and 5, using a scoring system. **Results.** *In vivo* experimental studies demonstrated that laser tissue soldering with laser radiation and biocompatible solder provided superior wound regeneration. Postoperatively, pain and swelling were minimal, hyperemia was not pronounced, and no cases of suture dehiscence or tissue necrosis were observed. The laser-formed suture site exhibited early epithelialization, and the resulting scar was extremely thin and nearly indistinguishable from the surrounding tissue. **Conclusion.** The use of laser radiation in combination with biocompatible solder represents a promising technique for wound closure in the oral cavity, as it enables painless acceleration of postoperative regenerative processes with minimal risk of hypertrophic scar formation.

KEYWORDS: oral surgery, oral cavity, oral mucosa, laser, laser medicine, biosolder, laser soldering.

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

Введение

В настоящее время, как и много веков назад универсальным способом соединения краев раны является хирургический шов с помощью иглы и нити. При этом большое значение имеет не только герметичность шва, предупреждение воспаления и некроза, но и эстетичность послеоперационного рубца [1, 2, 3, 4, 5]. При операциях в челюстно-лицевой области выбор шовного материала приобретает все большее значение, так как это связано с развитием тенденции к эстетическим моментам операций. Шовный материал влияет не только на формирование рубца, но и на течение репаративного процесса, кроме того, соединение краев ран слизистой оболочки рта происходит в жидкой биологической среде, содержащей бактерии и продукты их жизнедеятельности, раневая поверхность подвергается постоянным микротравмам, поэтому проблема выбора оптимального способа для восстановления тканей и изучения течения репаративного процесса в челюстно-лицевой области (ЧЛО) является актуальной [2, 3, 5, 6, 7].

Для соединения краев ран было разработано множество методов. К ним относятся: хирургический шов (с помощью нитей), механический шов (с помощью скрепного материала), клеевое соединение (с помощью синтетических клеевых композиций), электрическая сварка тканей, ультразвуковая сварка тканей, лазерная сварка тканей [2, 8, 9]. В литературе показаны положительные и отрицательные стороны разработанных методов соединения краев ран при оперативных вмешательствах, но не смотря на значительное количество методов, метод, который удовлетворял бы всем требованиям, пока не удалось получить [4, 5, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17].

Лазерные технологии востребованы и являются одним из приоритетов современной медицины. Созданная новая лазерная аппаратура, способствуя развитию новых направлений исследований, позволила изучать механизмы взаимодействия лазерного излучения с биологическими тканями [18, 19, 20]. Диодный лазер с заданными параметрами (мощностью и длиной волны), по мнению ряда авторов, обладает высоким уровнем безопасности, точности и отсутствием нежелательных эффектов, вследствие чего его можно применять в хирургической стоматологии, не опасаясь повреждения мягких тканей.

Для соединения краев ран разработан метод лазерной пайки биологических тканей, который обеспечивает ряд преимуществ относительно традиционных методов соединения, таких как герметичность и стерильность раны, сосудистый анастомоз, малозаметные рубцы в области швов, быстрое соединение краев ран. Для прочного лазерного соединения краев рассеченных тканей используют специальные припои, содержащие биологические материалы (например, белки альбумин, фиброген и коллаген). Применение биоприпоев при лазерном сваривании тканей показало высокую эффективность при восстановлении целостности мелких кровеносных сосудов, нервных волокон, семенных протоков и др. Однако, использование биоприпоя на основе только белков, не всегда обеспечивает достаточную прочность лазерного шва, поэтому для

лазерной пайки тканей необходим нанобиоприпой, обладающий высокими свойствами сцепления краев раны и максимальным поглощением длины волны используемого лазерного излучения без перегрева смежной здоровой биоткани [7, 21, 22, 23, 24].

Такими свойствами для лазерной пайки биотканей обладает биоприпой, приготовленный на основе белка крови альбумина, медицинского красителя индоцианина зеленого и наполнителя из однослойных углеродных нанотрубок. Эффективностью данного биоприпоя является высокая прочность на разрыв лазерного шва, низкая энергетическая нагрузка лазерного излучения на свариваемые ткани и высокая скорость процесса пайки. Предложенный биоприпой перспективен для применения как в традиционных хирургических процедурах, так и в сложных случаях, где важны снижение травмирования и герметизация шва [6, 24, 25].

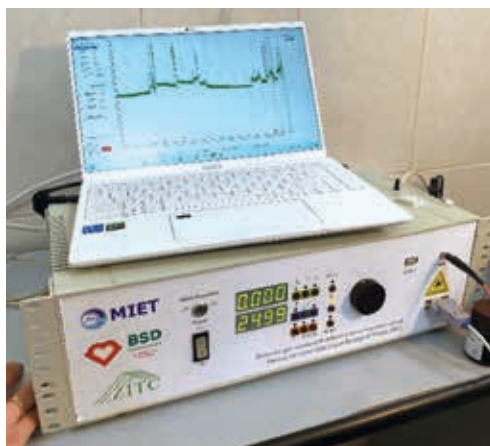
В связи с чем актуальной задачей является разработка методики соединения краев раны мягких тканей полости рта при хирургическом лечении стоматологических пациентов [12, 26]. Представляет интерес провести исследование применения биоприпоя на основе бычьего сывороточного альбумина, индоцианина зеленого и однослойных углеродных нанотрубок и излучения диодного лазера с длиной волны 970 нм для лазерной сварки мягких тканей полости рта.

Цель исследования

Повышение эффективности хирургического лечения стоматологических пациентов путем экспериментальной разработки методики лазерной пайки слизистой оболочки рта с использованием лазерного излучения и биоприпоя.

Материалы и методы

В экспериментальной работе для соединения краев раны использовали лазерный прибор, разработанный в научно-исследовательской лаборатории «Биомедицинские нанотехнологий» Института биомедицинских систем Национального исследовательского университета «МИЭТ» под руководством д.т.н. Герасименко А.Ю. Лазерный прибор был выполнен на основе полупроводникового лазера, генерирующего излучение с длиной волны 970 нм в непрерывном или непрерывно-периодическом режимах работы (рис. 1а). Лазерный прибор позволяет устанавливать температуру нагрева биоткани в области раны и наложения лазерного шва с точностью задания температуры $\sim 1^\circ\text{C}$, что предотвращает термический некроз кожи и слизистой оболочки рта. Для контроля температуры лазерного облучения прибор работает в автоматическом режиме, включая непрерывный или непрерывно-периодический режим, а также варьируя мощность излучения. Температура биологической ткани считывалась посредством инфракрасного датчика. Изменение температуры в зависимости от времени отображается графически на экране персонального компьютера. Лазерное излучение выводилось из лазерного прибора с помощью оптоволокна, помещенного в специальную оплетку с хирургическим оконечным устройством (лазерный «карандаш»), размещаемым



а



б

Рисунок 1. Лазерная установка для пайки биологических тканей с адаптивной термостабилизацией с длиной волны 970 нм (а); лазерный «карандаш» на конце оптоволоконна со специализированной титановой лапкой, наведенный на слизистую (б)

в области наложения шва на биоткани. Диаметр лазерного пятна составлял 2 мм при диаметре оптоволоконна 600 мкм. В лазерном «карандаше» на выходе из оптоволоконна находился коллиматор, который обеспечивал формирование плоскопараллельного пучка излучения. Лазерный «карандаш» оборудован специализированной лапкой из титана, которая является мишенью для обеспечения наведения на необходимую точку шва и поддержания заданной температуры нагрева биологической ткани (рис. 1б). Средняя температура в области лазерной сварки тканей составила $T = 42^\circ\text{C}$ на коже и $T = 40^\circ\text{C}$ на слизистой оболочке рта. При этом, мощность лазерного излучения варьировалась от $W = 1,1\text{--}2,5$ Вт.

В качестве белка альбумина использовался бычий сывороточный альбумин (БСА) с концентрацией 23–25 масс.%; белка коллагена – коллаген типа I с концентрацией 1–2 масс.%; лазерного поглотителя – краситель индоцианин зеленый (ИЦЗ) с концентрацией 0,1 масс.% и углеродных наночастиц – одностенные углеродные нанотрубки со средним диаметром 1,4–1,8 нм, длиной 0,3–0,8 мкм, удельной поверхностью $\sim 400\text{ м}^2/\text{г}$. Получение биоприпоя проводили с использованием многостадийного процесса гомогенизации путем механического перемешивания и ультразвуковой обработки. Полученный биоприпой может храниться при температуре 4°C сохраняя заданные физико-химические и биологические свойства более 15 дней. Входящий в состав биоприпоя белок коллаген I типа, обеспечивал увеличение вязкости биоприпоя до гелеобразного состояния, что предотвращало вытекание биоприпоя из области раны.

Для изучения репаративных процессов на слизистой оболочке рта в области соединения краев раны с помощью лазерного излучения и биоприпоя было использовано 16 половозрелых самцов кроликов породы Шиншилла, массой от 3,5 до 4,0 кг в возрасте 6 месяцев. На интактной слизистой оболочке рта кролика с вестибулярной стороны верхней челюсти слева и справа и нижней челюсти слева с помощью скальпеля № 15С формировали линейные разрезы длиной 1,0 см. Кролики были разде-

лены на 2 группы исследования: у животных 1 группы рассечение слизистой оболочки рта проводили скальпелем № 15С, края линейной раны соединяли 3 узловыми швами с помощью шовного материала Пролон 5,0; у животных 2 группы рассечение слизистой оболочки рта проводили скальпелем № 15С, края линейной раны соединяли с помощью биоприпоя на основе бычьего сывороточного альбумина (БСА) (25 масс.%), индоцианина зеленого (ИЦЗ) (0,1 масс. %), одностенных углеродных нанотрубок ОУНТ (0,1 масс. %), коллагена I типа (К1т) и лазерной установки с адаптивной термостабилизацией с длиной волны 970 нм и максимальной мощностью 1,5 Вт, температура воздействия 40°C , время экспозиции 15 сек, непосредственно после лазерной пайки на область лазерного шва накладывали 3 узловых шва с помощью шовного материала Пролон 5.0.

Методику лазерной пайки краев раны слизистой оболочки рта проводили следующим образом. В условиях операционной Центрального вивария Сеченовского университета с соблюдением правил асептики и антисептики у лабораторных животных кроликов под наркозом и местной анестезией делали линейный разрез на слизистой оболочке альвеолярной кости верхней челюсти с вестибулярной стороны слева длиной 1,0 см без нарушения целостности надкостницы, с помощью серповидной гладилки вносили биоприпой в рану и равномерно распределяли его по краям раны. Затем на рану воздействовали излучением лазерной установки, плавно перемещая наконечник лазера от начала разреза по всей его длине, в течении 15 секунд, процесс лазерной пайки биотканей показан на схеме (рис. 2). На лазерную рану накладывали 3 узловых шва с помощью шовного материала Пролон 5.0 для усиления прочности шва. Затем аналогичную операцию проводили на верхней челюсти с вестибулярной стороны справа и на нижней челюсти справа.

В послеоперационном периоде у лабораторных животных оценивали интенсивность боли, выраженность отека и интенсивность окраски гиперемии в области оперативного вмешательства на 1, 3 и 5 сутки в баллах. Опре-

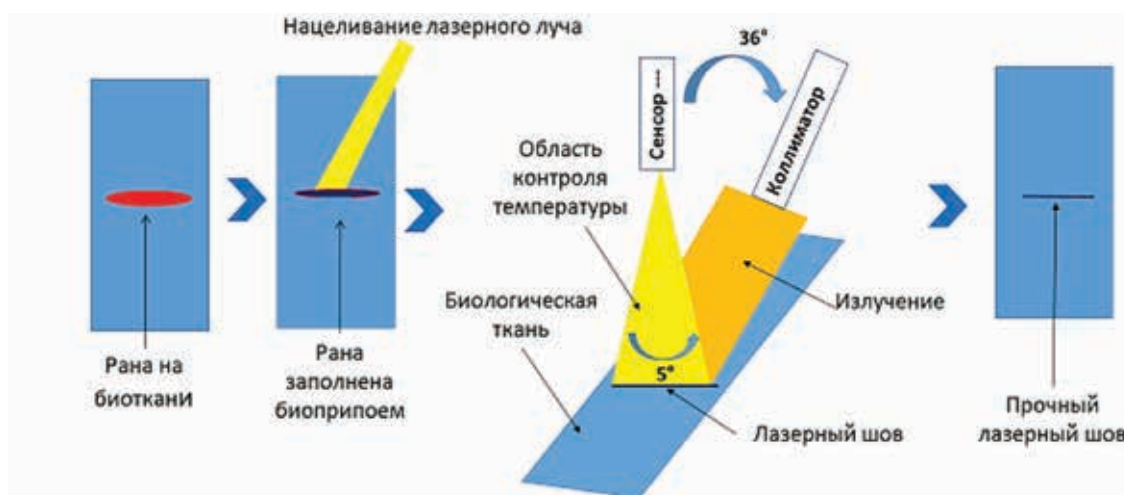


Рисунок 2. Схема процесса лазерной пайки биологических тканей с помощью биоприпоя и лазерного аппарата с длиной волны 970 нм

деление послеоперационной боли проводили по Шкале гримас кролика Rabbit Grimace Scale (RbtGS) [27]. В шкале гримас кролика описаны 5 признаков (глазная щель, опухание щек, форма ноздрей, изменение свойств усов и их положения, форма и положение ушей), интенсивность которых оценивали по 3-х бальной шкале. *In vivo* оценивали внешний вид операционной зоны в динамике, состоятельность швов, сроки эпителизации ран, развитие послеоперационных осложнений, таких как некроз слизистой оболочки на 1, 3, 5, 7 и 10 сутки.

Результаты и обсуждение

По данным экспериментального исследования в послеоперационном периоде на 1 сутки поведение кроликов в обеих группах после операции изменилось. В 1 группе (хирургический шов) кролики меньше двигались, сидели неподвижно, чаще в углу клетки, где меньше света, у двух кроликов была напряженная поза. Кролики полностью отказывались от еды. Во 2 группе (лазерный шов) кролики были более активны, они двигались по клеткам, однако проявляли меньший интерес к окружающим, были более осторожны по отношению к исследователю и сотрудникам вивария. Appetit сохранялся, но потребление пищи было меньше чем в обычных условиях. Напряженной осанки выявлено не было. На 3 сутки во 2 группе (лазерный шов) кролики активно двигались по клетке, проявляли интерес к окружающим, аппетит был восстановлен. В 1 группе (хирургический шов) у 3 кроликов сохранялся плохой аппетит, они мень-

ше двигались по клетке, но напряженной позы у кроликов не было, остальные кролики были более активны по сравнению с 1 сутками. На 5 сутки кролики обеих групп активно двигались по клетке и проявляли интерес к окружающим, что свидетельствовало об отсутствии боли в послеоперационной области.

При исследовании боли по шкале кролика (RbtGS) мы получили подтверждение полученных данных по исследованию боли по поведению кроликов. На 1 сутки у кроликов 1 группы (хирургический шов) боль была сильной интенсивности, об этом свидетельствовали следующие признаки: глазная щель у большинства кроликов была сильно сужена, щеки имели сильно округлую форму, форма ноздрей имела V-образную форму, усы потеряли естественный изгиб, стали жесткими и вытянулись горизонтально, уши были или умеренно прижаты к задней части тела или уши становились более жесткими и менее изогнутыми и были прижаты к спине, к бокам тела к шее (рис. 3), средний показатель интенсивности боли составил $1,88 \pm 0,22$ балла (табл. 1).

Во 2 группе (лазерный шов) на 1 сутки сильная боль была выявлена только у двух кроликов по шкале RbtGS, у них были сильно выражены только 3 признака: щеки имели сильно округлую форму, усы вытянулись горизонтально и уши были прижаты к спине. У остальных 6 кроликов боль была умеренной интенсивности: глазная щель была в норме или умеренно сужена, щеки были умеренно округлые, форма ноздрей имела U образную форму, усы свисали в небольшом изгибе или потеряли естественный

Признаки шкалы гримас	Баллы
Глазная щель	2
Опухание щек	2
Форма ноздрей	2
Изменение свойств усов и их положения	2
Форма и положение ушей	1
Общий бал боли	2



Рисунок 3. Фотоизображение кролика 1 группы (хирургический шов) и оценка по RbtGS на 1 сутки

Таблица 1
Интенсивность боли у кроликов после операции в динамике (в баллах), $p < 0,05$

Время / № группы	Боль	
	1 группа Хирургический шов	2 группа Лазерный шов
1 сутки	$1,88 \pm 0,22$ (1-2)	$1,37 \pm 0,47$ (1-2)
3 сутки	$1,25 \pm 0,35$ (1-2)	$0,38 \pm 0,46$ (0-1)
5 сутки	0	0

Признаки шкалы гримас	Баллы
Глазная щель	0
Опухание щек	1
Форма ноздрей	0
Изменение свойств усов и их положения	0
Форма и положение ушей	0
Общий бал боли	0

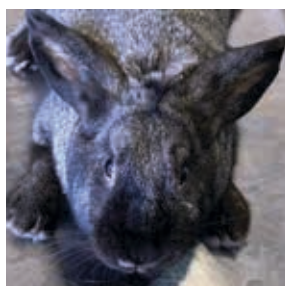


Рисунок 4. Фотоизображение кролика 2 группы (лазерный шов) и оценка по RbFGs на 1 сутки

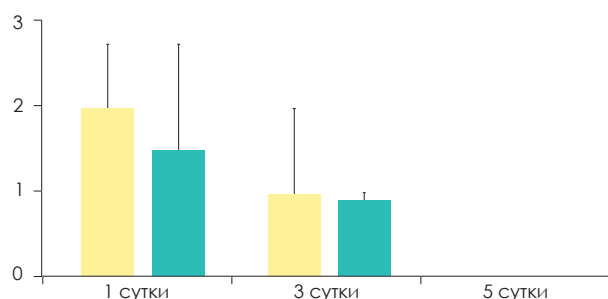


Рисунок 5. Динамика интенсивности и длительности боли при наложении швов на слизистую оболочку рта кроликов, баллы

Таблица 2
Выраженность отека слизистой оболочки рта кроликов в области наложения швов в динамике (в баллах), $p < 0,05$

Время / № группы	Боль	
	1 группа Хирургический шов	2 группа Лазерный шов
1 сутки	2,13±0,44 (1–3)	1,62±0,72 (0–3)
3 сутки	0,62±0,63 (0–2)	0,25±0,38 (0–1)
5 сутки	0	0

изгиб, уши были подняты вверх или умеренно прижаты к задней части тела (рис. 4), интенсивность боли составила $1,37 \pm 0,47$ баллов.

На 3 сутки в 1 группе (хирургический шов) отмечена положительная динамика, боль имела меньшую интенсивность и составила $1,25 \pm 0,35$ баллов, во 2 группе отмечали отсутствие боли или боль была умеренной интенсивности, средний показатель составил $(0,38 \pm 0,46)$ баллов. На 5 сутки в обеих группах исследования боли у кроликов не выявлено.

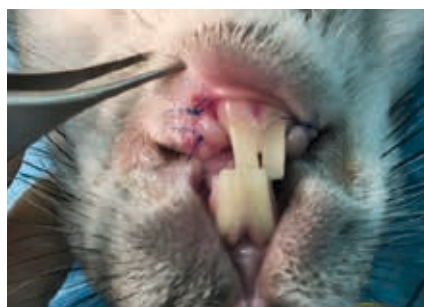
При сравнении интенсивности боли в динамике при наложении хирургического шва и лазерного шва с применением биоприпоя на линейные раны слизистой оболочки рта выявлено, что боль была сильнее при наложении хирургического шва, чем лазерного шва. Статистически значимых различий между группами животных выявлено не было, однако можно предположить, что при использовании лазерного излучения и биоприпоя для соединения краев раны на слизистой оболочке рта результат лучше (рис. 5).

При исследовании послеоперационного отека на 1 сутки после наложения швов на слизистую оболочку рта кроликов наиболее выраженный отек наблюдали в области хирургического шва ($2,13 \pm 0,44$ балла). При лазерной пайке тканей с использованием биоприпоя средний показатель послеоперационного отека был ниже и составил $(1,62 \pm 0,72)$ балла (табл. 2).

На 3 сутки отмечали снижение выраженности послеоперационного отека как в зоне хирургического шва ($0,62 \pm 0,63$ балла) (рис. 6), так и при лазерном шве ($0,25 \pm 0,38$ балла) (рис. 7). На 5 сутки отека в послеоперационной области в обеих группах не наблюдали.



а



б



в

Рисунок 6. Фото кролика 1 группы после наложения хирургических швов на слизистую оболочку рта кроликов: 1 сутки (а), 3 сутки (б), 5 сутки (в)



а



б



в

Рисунок 7. Фото кролика 2 группы после наложения лазерного шва на слизистую оболочку рта кроликов: 1 сутки (а), 3 сутки (б), 5 сутки (в)

По данным статистического анализа достоверного значимых различий по выраженности послеоперационного отека между хирургическим швом и лазерным швом с использованием биоприпоя (БСА, ИЦЗ, ОУНТ, КИт) выявлено

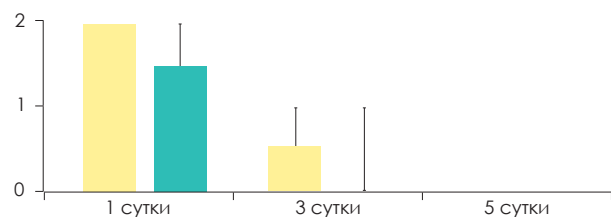


Рисунок 8. Динамика выраженности послеоперационного отека при наложении швов на слизистую оболочку рта кроликов, баллы

Таблица 3
Выраженность гиперемии слизистой оболочки рта кроликов в области наложения швов в динамике (в баллах), $p < 0,05$

Время / № группы	Боль	
	1 группа Хирургический шов	2 группа Лазерный шов
1 сутки	$1,61 \pm 0,73$ (1–3)	$1,21 \pm 0,33$ (1–2)
3 сутки	$1,42 \pm 0,47$ (1–2)	$0,62 \pm 0,51$ (0–1)
5 сутки	$0,22 \pm 0,31$ (0–1)	0

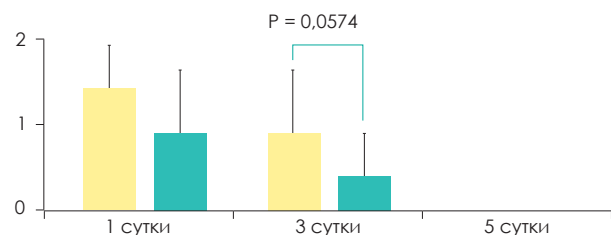


Рисунок 9. Динамика выраженности гиперемии при наложении швов на слизистую оболочку рта кроликов, баллы

но не было. Однако при использовании лазерного излучения и биоприпоя для соединения краев ран на слизистой оболочке рта отек был менее выражен (рис. 8).

Результаты исследования выраженности гиперемии показали, что на 1 сутки после наложения швов на линейные раны гиперемия в зоне операции была у всех животных в обеих группах. Яркую гиперемию наблюдали при наложении хирургического шва ($1,61 \pm 0,73$ балла), умеренную при лазерной пайке с использованием биоприпоя ($1,21 \pm 0,33$ балла) (табл. 3). На 3 сутки отмечена заметная тенденция к снижению гиперемии, в случае лазерного шва, средний показатель составил ($0,62 \pm 0,51$ балла), при наложении хирургического шва гиперемия была умеренная, однако цифровые показатели оставались высокими ($1,42 \pm 0,47$ балла). На 5 сутки гиперемия сохранялась только в 1 группе при наложении хирургического шва ($0,22 \pm 0,31$ балла).

По данным статистического анализа при исследовании гиперемии на 3 сутки после наложения швов выявлено достоверное отличие между хирургическим швом и лазерным швом с использованием биоприпоя, ($p < 0,05$) (рис. 9).

При исследовании раневой поверхности в течении всего срока наблюдения у животных обеих групп швы были состоятельны, расхождения краев раны и некроза тканей не наблюдали (рис. 10 и 11). На 5 сутки отмечена полная эпителизация ран при лазерной пайке тканей, на 7 сутки при наложении хирургических швов. На 7 сутки проведено снятие швов у животных в обеих группах. На 10 сутки отмечено формирование рубца, причем при лазерной пайке с использованием биоприпоя рубцовая ткань не отличалась от интактной слизистой оболочки, при хирургическом шве формирующийся рубец более заметен, чем при лазерной пайке.



Рисунок 10. Фото слизистой оболочки кролика 1 группы после наложения хирургического шва в динамике 1 (а), 3 (б), 5 (в), 7 (г) и 10 (д) сутки



Рисунок 11. Фото слизистой оболочки кролика 2 группы после наложения лазерного шва с помощью биоприпоя в динамике 1 (а), 3 (б), 5 (в), 7 (г) и 10 (д) сутки

Экспериментальные исследования на животных показали, что наилучшая регенерация была при соединении краев ран методикой лазерной пайки тканей с использованием лазерного излучения и биоприпоя. В послеоперационном периоде во все сроки динамического наблюдения у животных во всех группах исследования расхождения швов и некроза тканей не выявлено. Наиболее раннюю эпителизацию наблюдали в области лазерного шва, линия формирующегося эстетического рубца была едва различима от окружающих тканей.

Исследования по изучению влияния лазерного излучения и биоприпоев на биологические ткани при соединении краев ран очень немногочисленны. Однако, можно отметить, что полученные нами результаты согласовываются с данными авторов других исследований, в том числе и при применении лазерной пайки в реконструктивной хирургии [29, 30, 31].

Процессы регенерации мягких тканей зависят от клеточного состава, межклеточного матрикса, наличия кровеносных сосудов, нервных волокон. Роль в механизмах неспецифической защиты от потенциально опасных агентов выполняют макрофаги и нейтрофилы, так как способны узнавать и трансформировать поврежденные клетки, запуская воспалительный процесс. Репаративная регенерация тканей отличается от физиологической регенерационным гистогенезом, который характеризуется меняющейся морфологической картиной. При исследовании раневого процесса выявлено, что фибробласты, макрофаги, нейтрофилы и другие клетки оказывают строго определенное влияние на ход заживления, что находит отражение в патогенезе раневого процесса в проблеме воспаления и регенерации [31, 32]. Отличительной особенностью лазерных ран является слабая воспалительная реакция, отек и лейкоцитарная инфильтрация, при скальпельных ранах быстрее развивается воспаление, в первые сутки появляются нейтрофилы и формируется лейкоцитарный вал, развивается выраженный отек [26, 33, 34, 35, 36, 37].

Заключение

Таким образом, по данным проведенного экспериментального исследования *in vivo* разработанная методика соединения краев ран слизистой оболочки рта с помощью лазерного излучения с длиной волны 970 нм с адаптивной термостабилизацией и биоприпоя на основе БСА, ИЦЗ, ОУНТ и КИт позволяет соединять края послеоперационной раны без натяжения и травмирования тканей, способствуя дополнительной адгезии тканей. Лазерная пайка ран слизистой оболочки способствует сокращению фазы воспаления и повышает регенераторный потенциал, болевой синдром не выражен, фазы заживления раны протекают быстрее, формируется эстетичный рубец, что коррелирует с полученными данными исследований при лазерной пайке кожи. Методика представляется перспективной для клинических испытаний.

Список литературы / References

1. Евсеев М.А. Хирургический шов: эволюция нити и иглы. Клинический опыт Двадцатки. 2012; 4 (16):59–62. Evseev M.A. Surgical suture: the evolution of thread and needle. Clinical experience of the Twenties. 2012; 4 (16):59–62.
2. Семенов Г.М., Петришин В.Л., Ковшова М.В. Хирургический шов. 3-е изд. Санкт-Петербург: Питер. 2012: 256. ISBN 978-5-496-00023-9. Semenov G.M., Petrishin V.L., Kovshova M.B. Surgical stitching. The 3rd is decreasing. I've Been Through St. Petersburg: Peter. 2012: 256. ISBN 978-5-496-00023-9.
3. Робустова Т.Г. Хирургическая стоматология. 4-е изд. Москва: Медицина. 2010: 622. Robustova T.G. Surgical dentistry. 4th ed. Moscow: Medicine. 2010: 622.
4. La Rosa GRM., Scapellato S., Cicciu M., Pedulla E. Antimicrobial Activity of Antibacterial Sutures in Oral Surgery: A Scoping Review. International Dental Journal. 2024; 6539(24):00052-2. <https://doi.org/10.1016/j.identj.2024.01.029>
5. Faris A., Khalid L., Hashim M., Yaghi S., Magde T., Bouresly W., Hamdoon Z., Uthman AT., Marei H., Al-Rawi N. Characteristics of Suture Materials Used in Oral Surgery: Systematic Review. Int Dent J. 2022;72(3):278-287. <https://doi.org/10.1016/j.identj.2022.02.005>.
6. Рябкин Д.И., Сучкова В.В., Герасименко А.Ю. Предсказание прочности на разрыв лазерных сварных швов биотканей методами машинного обучения. Медицинская техника. 2023;2(338):26–29. Ryabkin D.I., Suchkova V.V., Gerasimenko A.Yu. Prediction of tensile strength of laser welds of biological fabrics by machine learning methods. Medical equipment. 2023;2(338):26–29.
7. Peterson AW., Halter M., Tona A., Plant AL. High resolution surface plasmon resonance imaging of single cells. BMC Cell Biology. 2014;15(35):2–14. doi:10.1186/1471-2121-15-35. PMC 4289309. PMID 25441447.

8. Македонова Ю.А., Афанасьева О.Ю., Александров А.В., Кабытова М.В., Чаплиева Е.М. Возможности применения медицинского геля при пластике перфорации верхнечелюстной пазухи. *Cathedral-Кафедра. Стоматологическое образование*. 2023;(85):62–65.
Makedonova Yu.A., Afanasyeva O.Yu., Alexandrov A.V., Kabytova M.V., Chaplieva E.M. The possibilities of using medical gel for plastic perforation of the maxillary sinus. *Cathedral-Department. Dental education*. 2023;(85):62–65.
9. Сигал З.М., Бабушкин Ф.Г., Никифорова А.Н., Капустин Б.Б. Хирургические швы. Учебное пособие. Ижевск. 2009:136.
Sigal Z.M., Babushkin F.G., Nikiforova A.N., Kapustin B.B. Surgical sutures. The training manual. Izhevsk. 2009:136.
10. Акопов А.Л., Артюх Д.Ю., Молнар Т.Ф. История механического скобчатого хирургического шва (обзор литературы). *Вестник хирургии им. И.И. Грекова*. 2020;179(6):81–88.
Akopov A.L., Artyukh D.Yu., Molnar T.F. History of mechanical brace surgical suture (literature review). *Bulletin of Surgery named after I.I. Grekov*. 2020;179(6):81–88.
11. Глиник А.А., Авлас С.Д., Стебунов С.С., Руммо О.О., Германович В.И. Бариатрические операции при морбидном ожирении. *Новости хирургии*. 2021;29(6):662–670.
Glinnik A.A., Avlas S.D., Stebunov S.S., Rummo O.O., Germanovich V.I. Bariatric surgery in morbid obesity. *Surgery news*. 2021;29(6):662–670.
12. Ашурко И.П., Крылова Д.А., Белкин В.О., Яценко А.Г., Тарасенко С.В. Результаты применения коллагенового матрикса при менеджменте мягких тканей в области дентальных имплантатов во фронтальном отделе верхней челюсти. *Проблемы стоматологии*. 2023;19(4):69–76.
Ashurkov I.P., Krylova D.A., Belkin V.O., Yatsenko A.G., Tarasenko S.V. Results of the use of collagen matrix in soft tissue management in the field of dental implants in the frontal maxilla. *Problems of dentistry*. 2023;19(4):69–76.
13. Sudarshan P.K.S., Lata J., Kojia P., Sooch S.P.S., Prashar S. Comparative study between the efficacy of conventional plain vycril and antibacterial vycril containing triclosan. *International Journal of Advanced Research*. 2023;11(07):241–250. <https://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/17225>.
14. Kim H., Hwang K., Yun S. Catgut and its Use in Plastic Surgery. *Journal of craniofacial surgery*. 2020;31(3):876–878. <https://doi.org/10.1097/SCS.0000000000000149>.
15. Parmar G.S., Ghodke B., Meena A.K. Releasable Suture versus Autologous Blood for Pterygium Surgery using Conjunctival Autografts. *J Ophthalmic Vis Res*. 2020;15(1):32–37. <https://doi.org/10.18502/jovr.v15i1.5938>.
16. Muth D.R., Wolf A., Kreutzer T., Shajari M., Vounotrypidis E., Priglinger S., Mayer W.J. Safety and Efficacy of Current Sclera Fixation Methods for Intraocular Lenses and Literature Overview. *Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde*. 2021;238(08):868–874. <https://doi.org/10.1055/a-1333-3199>.
17. Mohammad S., Hanstein R., Lo Y., Levy I. Validating a Low-Fidelity Model for Microsurgical Anastomosis Training. *JBS Open Access*. 16;6(3):e20.00148. <https://doi.org/10.2106/JBJS.OA.20.00148>.
18. Тучин В.В. Лазеры и волоконная оптика в биомедицинских исследованиях. Монография. Москва. Ай Пи Ар Медиа. 2021:495. ISBN 978-5-4497-0568-6.
Tuchin V.V. Biomedical optics fiber research and laser technology. A monograph. Moscow. A Man of Very Media Hips. 2021:495. ISBN 978-5-4497-0568-6.
19. Hsu V.M., Aldahan A.S., Tsatalis J.P., Perper M., Nouri K. Efficacy of Nd:YAG laser therapy for the treatment of verrucae: a literature review. *Lasers in Medical Science*. 2017;32(5):1207–1211. <https://doi.org/10.1007/s10103-017-2219-5>.
20. Nadhreen A.A., Alamoudi N.M., Elkhodary H.M. Low-level laser therapy in dentistry: Extra-oral applications. *Nigerian Journal of Clinical Practice*. 2019;22(10):1313–1318. https://doi.org/10.4103/njcp.njcp_53_19.
21. Li Da H., Zhen L., Yu P., Muhamadlqbal S., Yu-Feng Z., Li L. A review on biodegradable materials for cardiovascular stent application. *Frontiers of Materials Science*. 2016;10(3): 238–259. <https://doi.org/10.1007/s11706-016-0344-x>.
22. Matteini P., Ratto F., Rossi F., de Angelis M., Cavigli L., Pini R. Hybrid nanocomposite films for laser-activated tissue bonding. *Journal of Biophotonics*. 2012;5(11–12):868–877. <https://doi.org/10.1002/jbio.201200115>.
23. Ark M., Cosman P.H., Boughton P., Dunstan C.R. Photochemical Tissue Bonding (PTB) methods for sutureless tissue adhesion. *International Journal of Adhesion and Adhesives*. 2016;71:87–98. <https://doi.org/10.1016/j.jadhadh.2016.08.006>.
24. Gerasimenko A.Y., Morozova E.A., Ryabkin D.I., Fayzullin A., Tarasenko S.V., Molodikh V.V., Pyankov E.S., Savelyev M.S., Sorokina E.A., Rogalsky A.Y., Shekhter A., Telyshev D.V. The study of the interaction mechanism between bovine serum albumin and single-walled carbon nanotubes depending on their diameter and concentration in solid nanocomposites by vibrational spectroscopy. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 2020;227:117682. <https://doi.org/10.3390/bioengineering9060238>.
25. Barry R.M. Book Review: Biomedical Photonics Handbook. *Journal of Biomedical Optics*. 2003;9(5):1864. <https://doi.org/10.1117/1.1776177>.
26. Тарасенко С.В., Благушина Н.А. Гистологическая оценка использования биорезорбируемых коллагеновых мембран при закрытии раневых дефектов слизистой оболочки рта в эксперименте. *Вятский медицинский вестник*. 2022;1(73):67–75.
Tarasenko S.V., Blagushina N.A. Histological assessment of the use of bioresorbable collagen membranes in the closure of wound defects of the oral mucosa in an experiment. *Vyatka Medical Bulletin*. 2022;1(73):67–75.
27. Keating S.C., Thomas A.A., Flecknell P.A., Leach M.C. Evaluation of EMLA cream for preventing pain during tattooing of rabbits: Changes in physiological, behavioural and facial expression responses. *PLOS ONE*. 2012;7(9):e44437. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0044437>.
28. Kramer E.A., Rentschler M.E. Energy-Based Tissue Fusion for Sutureless Closure: Applications, Mechanisms, and Potential for Functional Recovery. *Annual Review of Biomedical Engineering*. 2018;20:1–20. <https://doi.org/10.1146/annurev-bioeng-071516-044702>.
29. Pablittei D.R., de Boon W., Heger M., van Golen R.F., Balm R., Legemate D.A., de Mol B.A. Laser-assisted vessel welding: state of the art and future outlook. *J Clin Transl Res*. 2015;30(1/2):1–18. <https://doi.org/10.1146/annurev-bioeng-071516-044702>.
30. Ashbell I., Agam N., Katzir A., Basov S., Platkov M., Avital I., Nisky I., Netz U. Laser tissue soldering of the gastrointestinal tract: a systematic review of the gastrointestinal tract. *Heliyon*. 2023; 9(5): e16018. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16018>.
31. Гемонов В.В., Лаврова Э.Н., Фалин А.И. Гистология и эмбриология органов полости рта и зубов. М.: ГЭОТАР-Медиа. 2019:320. ISBN 978-5-9704-5180-9.
Gemonov V.V., Lavrova E.N., Falin A.I. Histology and embryology of the organs of the oral cavity and teeth. Moscow: GEOTAR-Media. 2019:320. ISBN 978-5-9704-5180-9.
32. Berkovitz B.K., Hoiand G.R., Moxam B.J. Oral Anatomy, Histology and Embryology. St Louis: Mosby. 2009:416.
33. Александров М.Т. Лазерная клиническая биофотометрия (теория, эксперимент, практика). М. Техносфера. 2008:581. ISBN 978-5-94836-148-1.
Alexandrov M.T. Laser clinical biophotometry (theory, experiment, practice). M. Technosphere, 2008:581. ISBN 978-5-94836-148-1.
34. Баграмов Р.И., Александров М.Т., Сергеев Ю.Н. Лазеры в стоматологии, челюстно-лицевой хирургии и реконструктивно-пластической хирургии. М. Техносфера. 2010:576. ISBN 978-5-94836-148-2.
Bagramov R.I., Alexandrov M.T., Sergeev Yu.N. Lasers in dentistry, maxillofacial surgery and reconstructive plastic surgery. M. Technosphere. 2010:576. ISBN 978-5-94836-148-2.
35. Минаев В.П., Жилин К.М. Современные лазерные аппараты для хирургии и силовой терапии на основе полупроводниковых и волоконных лазеров: рекомендации по выбору и применению: Научно-техническое объединение «ИРЭ-Полюс». Москва: И.В. Балабанов. 2009:47. ISBN 978-5-91563-037-9. С. 5–11.
Minaev V.P., Zhilin K.M. Modern laser devices for surgery and power therapy based on semiconductor and fiber lasers: recommendations for selection and application: Scientific and Technical Association «IRE-Polyus». Moscow: I.V. Balabanov. 2009:47. ISBN 978-5-91563-037-9. pp. 5–11.
36. Рисованный С.И., Рисованная О.Н., Масычев В.И. Лазерная стоматология. Краснодар: Кубань-Книга. 2005:74–124.
Risovanny S.I., Risovannaya O.N., Masychev V.I. Laser dentistry. Krasnodar: Kuban-Book. 2005:74–124.
37. Тарасенко С.В., Царев В.Н., Гарилов Р.Д., Дьякова Е.Ю., Репина С.И. Микробиологическое обоснование и эффективность применения эрбиевого и неодимового лазеров у пациентов с воспалительными заболеваниями пародонта и перимплантационных тканей. *Клиническая стоматология*. 2019;4 (92):41–45.
Tarasenko S.V., Tsarev V.N., Garipov R.D., Dyachkova E.Yu., Repina S.I. Microbiological justification and effectiveness of the use of erbium and neodymium lasers in patients with inflammatory periodontal diseases and peri-implantation tissues. *Clinical dentistry*. 2019;4 (92):41–45.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России (Проект FSMR-2024-0003).

Статья поступила / Received 05. 02.2025
Получена после рецензирования / Revised 10. 02.2025
Принята в печать / Accepted 11. 02.2025

Информация об авторах

Сорокина Елена Александровна¹, ассистент кафедры детской, профилактической стоматологии и ортодонтии
E-mail: sorokina_e_a@staff.sechenov.ru.
ORCID <https://orcid.org/0009-0002-7968-8524>. eLibrary SPIN:1390-8967
Морозова Елена Анатольевна², д.м.н., доцент, проф. кафедры пропедевтики стоматологических заболеваний
E-mail: morozova_elan@pfur.ru. ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5312-9516>.
eLibrary SPIN: 5490-3554
Герасименко Александр Юрьевич^{1,3}, д.т.н., доцент, профессор, зав. лаб.
E-mail: gerasimenko@bms.zone. ORCID: 0000-0001-6514-2411.
eLibrary SPIN: 2010-1600

Тарасенко Светлана Викторовна¹, д.м.н., проф., зав. кафедрой хирургической стоматологии
E-mail: tarasenko_s_v@staff.sechenov.ru.
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8595-8864>. eLibrary SPIN: 3320-0052; 4451-4512

¹ ФГБУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова» МЗ РФ, Москва, Российская Федерация
² ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», Москва, Российская Федерация

³ Национальный исследовательский университет «МИЭТ», г. Зеленоград, Российская Федерация

Контактная информация:

Морозова Елена Анатольевна. E-mail: morozova_elan@pfur.ru

Для цитирования: Сорокина Е.А., Морозова Е.А., Герасименко А.Ю., Тарасенко С.В. Безболезненное формирование эстетического рубца слизистой оболочки рта методом лазерной пайки ран в эксперименте // Медицинский алфавит. 2025;(1):97–104. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2025-1-97-104>

Author information

Sorokina Elena A.¹, Associate Professor of Department of Pediatric, Preventive Dentistry and Orthodontics
E-mail: sorokina_e_a@staff.sechenov.ru.
ORCID <https://orcid.org/0009-0002-7968-8524>. eLibrary SPIN:1390-8967
Morozova Elena A.², DM Sci, Professor of the Department of Propaedeutics of Dental diseases
E-mail: morozova_elan@pfur.ru. ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5312-9516>.
eLibrary SPIN: 5490-3554

Gerasimenko Alexander Yu.^{1,3}, DM, Professor at the Institute of Biomedical Systems, Head of the laboratory
E-mail: gerasimenko@bms.zone. ORCID: 0000-0001-6514-2411. eLibrary SPIN: 2010-1600
Tarasenko Svetlana V.¹, M.D., Ph.D., Professor, Chief of Department of Surgical Dentistry
E-mail: tarasenko_s_v@staff.sechenov.ru.
ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8595-8864>. eLibrary SPIN: 3320-0052; 4451-4512

¹ Sechenov First Moscow State Medical University, Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation

² Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (RUDN University), Moscow, Russian Federation

³ National Research University of Electronic Technology «MIET», Zelenograd, Russian Federation

Contact information

Morozova Elena A. E-mail: morozova_elan@pfur.ru

For citation: 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. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2025-1-97-104>

