УДК 616-001.4-003.9:615.468.6:615.849.19

ВЛИЯНИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КАПРОНОВЫХ НИТЕЙ С ТКАНЯМИ РАН (ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ)

И.М. Байбеков, А.Х. Бутаев, Д.Н. Мардонов

ГУ «Республиканский специализированный научно-практический медицинский центр хирургии им акад. В. Вахидова», Ташкент, Узбекистан

Резюме

Цель: исследовать влияние низкоинтенсивного лазерного излучения (НИЛИ) на заживление кожных ран и взаимодействие моно- и полифиламентных капроновых нитей с биотканями. *Материал и методы*. Линейные раны воспроизводили в области спины белых крыс, разделенных на следующие группы: основная группа – 28 животных, подвергнутых лазерному воздействию; контрольная группа – 24 крысы, которые не подвергались лазерному воздействию, а также 6 интактных крыс (норма). Раны облучали лазером «Матрикс-ВЛОК» с головкой «КЛ-ВЛОК», длина волны 0,63 мкм, выходная мощность 2 мВт. Для оценки изменений ран и взаимодействия биотканей с нитями капрона использованы методы морфологии, для оценки микроциркуляции ран – лазерная допплеровская флоуметрия аппаратами ЛАКК-01 или АЛТ-Восток, ЛДФ-01 с одноканальными анализаторами, которые сопряжены с компьютером. Проводили оценку соотношения нормальных и патологических форм эритроцитов в ранах. *Результаты.* Установлено, что полифиламентные нити вызывают более выраженную воспалительную реакцию тканей. НИЛИ снижает проявления воспалительных изменений тканей при контакте с капроновыми нитями, способствует нормализации соотношения нормальных и патологических форм эритроцитов, интенсифицирует микроциркуляцию и способствует ускорению заживления ран. *Заключение.* Проведенные исследования указывают на эффективность лазерного излучения для уменьшения воспаления и ускорения заживления ран, ушитых капроном.

Ключевые слова: *раны, капроновые нити, лазерное воздействие, эритроциты, микроциркуляция.*

Для цитирования: Байбеков И.М., Бутаев А.Х., Мардонов Д.Н. Влияние лазерного излучения на взаимодействие капроновых нитей с тканями ран // Лазерная медицина. – 2019. – Т. 23. – Вып. 2. – С. 37–43.

Контакты: Байбеков И.М., e-mail: baibekov@mail.ru

LASER LIGHT EFFECTS AT THE INTERACTION OF NYLON THREADS WITH WOUND TISSUES

Baybekov I.M., Butaev A. Kh., Mardonov D.N.

Republican Specialized Scientific and Practical Medical Center of Surgery named after Akad. Vakhidov, Tashkent, Uzbekistan

Abstract

Purpose: to study effects of low-level laser irradiation (LLLI) at the healing process in skin wounds and at the interaction of monofilament and polyfilament nylon threads with biological tissues. *Material and methods.* Linear wounds were made on the back of white rats. Animals were divided into the following groups: main group – 28 animals subjected to laser irradiation; control group – 24 rats not exposed to laser irradiation; 6 intact rats (normal). Wounds were irradiated with laser Matrix-VLOK with KL-VLOK head, wavelength 0.63 μm, output power 2 mW. Morphological examination assessed changes in wounds and interaction of biotissue with nylon threads. Laser Doppler flowmetry was used for assessing wound microcirculation with devices LAKK-01 or ALT-Vostok and LDF-01 with single-channel analyzers attached to the computer. The ratio of normal and pathological forms of erythrocytes in wounds was analyzed. *Results*. Polyfilament threads have been found to cause more pronounced inflammatory tissue reactions. LLLI decreases inflammatory changes in tissues which contact nylon threads; it also normalizes the ratio of normal and pathological forms of erythrocytes, intensifies microcirculation and accelerates wound healing. *Conclusion.* Laser irradiation has been found effective in decreasing inflammation and in accelerating healing process in wounds which are sutured with nylon threads.

Keywords: *wounds, nylon threads, laser effects, erythrocytes, microcirculation*.

For citation: Baybekov I.M., Butaev A.H., Mardonov D.N. Laser light effects at the interaction of nylon threads with wound tissues. *Lasernaya Medicina.* 23 (2): 37–43. [In Russ.].

Contacts: Baybekov I.M., e-mail: baibekov@mail.ru

Введение

Биоэффекты низкоинтенсивного лазерного излучения (НИЛИ) проявляются в редукции воспалительных реакций, активизации процессов регенерации и местного иммунитета, в основе которых лежит стимуляция микроциркуляции. Это определяет «универсальность» действия НИЛИ при его использовании в лечении различных патологических процессов, в том числе и для заживления ран. Адекватность микроциркуляции во многом определяется формой эритроцитов: соотношением нормальных эритроцитов – дискоцитов (Д) и их патологических форм (ПФЭ) [2–5].

Успехи современной хирургии во многом определяются применением различных видов искусственных и биологических компонентов, в первую очередь, шовных материалов [6, 15, 17]. Полиамидные (капроновые) нити занимают до 60% от общего объема, используемого в России традиционного шовного материала. Результаты операций зависят от многих качеств этих материалов и особенностей их взаимодействия с клетками и тканями организма. Реактогенность полиамида зависит от вида используемого волокна: наименьшая – на монофиламентные нити, средняя – на плетеные нити и сильно выраженная – на крученые нити [6].

Однако структурные аспекты взаимодействия моно- и полифиламентных капроновых нитей с клетками и тканями организма не изучены, не исследовано влияние НИЛИ на их взаимодействие с биотканями.

Цель: исследовать реакции тканей ран на моно- и полифиламентные нити из капрона и определить эффект НИЛИ на взаимодействие шовного материала с биотканями.

Материал и методы

Исследования проведены на белых крысах, которые были распределены в 3 группы: основная группа – 28 животных, подвергнутых лазерному воздействию; контрольная группа – 24 крысы, которые не подвергались лазерному воздействию, а также 6 интактных крыс (норма).

С использованием комплекса морфологических методик изучен процесс заживления линейных ран кожи спины крыс, ушитых с помощью полифиламентных и монофиламентных капроновых нитей, у экспериментальных животных контрольной и основной групп.

Раны изучали на 3, 7 и 10-й день после нанесения. Морфометрическая оценка проводилась в норме (кожа спины), на 3-й и 7-й день раневого процесса.

Лазерное воздействие осуществляли лазером «Матрикс-ВЛОК» с головкой «КЛ-ВЛОК», длина волны 0,63 мкм – аналог гелий-неонового лазера ГНЛ (красное излучение), выходная мощность 2 мВт. Облучение ран проводили ежедневно по 3 минуты в течение 10 дней.

Для световой микроскопии ткань фиксировали в 10–12% растворе формалина на фосфатном буфере по Лили. Парафиновые срезы окрашивали гематоксилином – эозином.

Для сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) препараты после фиксации в 2,5% растворе глютарового альдегида на фосфатном буфере и дофиксации в 1% растворе четырёхокиси осмия подвергали обезвоживанию в спирте-ацетоне, затем высушивали методом критической точки в аппарате НСР-2, напыляли золотом в аппарате ІВ-2 и исследовали в микроскопах JEOL JSM-6010LV.

В лаборатории патологической анатомии ГУ «РСНПМЦХ им. акад. Вахидова» Республики Узбекистан разработана методика изучения дискретных структур – экспресс-методика «толстой капли» (ЭМТК) для практических и научных целей. Данная методика «Способ определения форм эритроцитов» зарегистрирована в Патентном ведомстве Республики Узбекистан № МКИ 6 А 61 В 10/00, также запатентована программа «Экспресс диагностика форм эритроцитов» № ED-5-05. ЭМТК позволяет сохранить естественное состояние эритроцита и оценить соотношение дискоцитов (нормальных эритроцитов – Д) и их патологических форм – ПФЭ (Д/ПФЭ) в течение 10–15 мин. На основании этого возможен мониторинг состояния эритроцитов и оценка эффективности проводимых мероприятий.

Микроциркуляцию кожи ран оценивали с помощью лазерной допплеровской флоуметрии (ЛДФ) аппаратами ЛАКК-01 или АЛТ-Восток ЛДФ-01 с одноканальными анализаторами, которые сопряжены с компьютером. Источник излучения аппарата – гелий-неоновый лазер, 0,63 мкм, 25 мВт, со стандартным диагностическим зондом. Аппарат обеспечивает определение показателя капиллярного кровотока в диапазоне скоростей от 0,03 до 6 мм/с. ЛДФ-сигнал регистрирует интегральную характеристику поверхностного кровотока (параметр микроциркуляции), который равен произведению концентрации эритроцитов ($N_э$) в измеряемом объёме ткани 1–1,5 мм^2 на величину средней скорости их движения ($V_{ср}$): ПМ = $N_э$*V_{ch}. Лазерное излучение к поверхности исследуемого объекта подводили с помощью трехканального светового кабеля (зонда), общий диаметр поперечного сечения которого 3 мм.

Анализатор имеет интерфейсный блок, позволяющий подключать прибор к компьютеру типа IBM любой конфигурации. В составе с компьютером аппарат позволяет получать высококачественные ЛДФ-граммы, графики анализа амплитудно-частотных характеристик. Сохраняет полученные данные в базе и позволяет проводить анализ и статистическую обработку данных [15, 17].

Результаты и обсуждение

Исследование с помощью СЭМ моно- и полифиламентных нитей показало, что поверхность мононитей гладкая (рис. 1), а между филаментами и особенно пучками филамент полифиламентных нитей определяются различного размера щели (рис. 2).

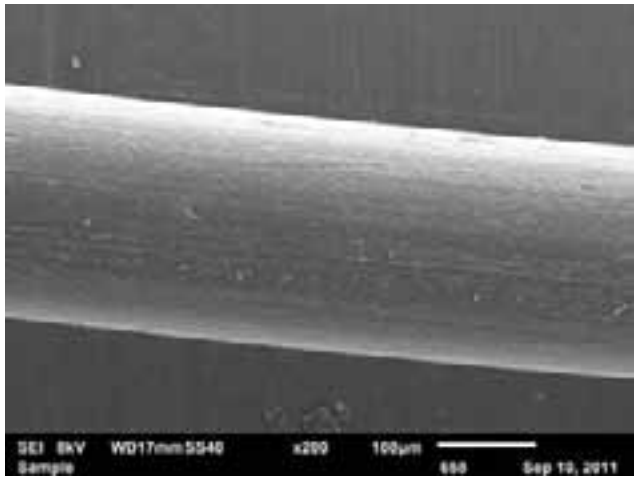

Рис. 1. Монофиламентная капроновая нить. СЭМ ×200

Fig. 1. Monofilament nylon thread. SEM ×200

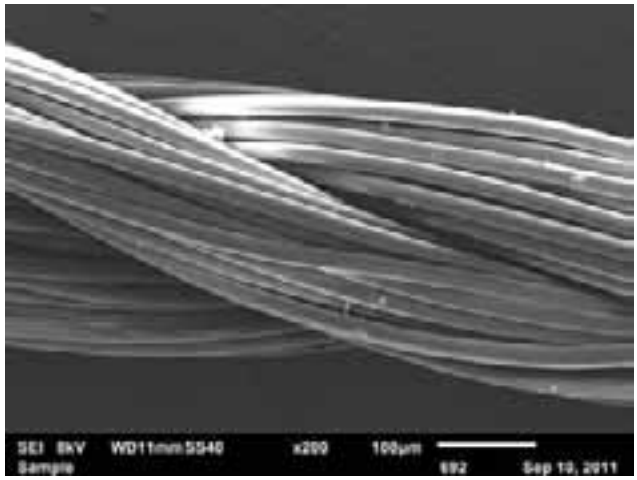

Рис. 2. Полифиламентная капроновая нить. СЭМ ×200

Fig. 2. Polyfilament nylon thread. SEM ×200

В табл. 1 представлены относительные объемы морфологических элементов тканей ран, ушитых капроновыми нитями, экспериментальных животных основной и контрольной групп.

Таблица 1
Относительный объем (в%) морфологических элементов тканей ран, ушитых капроном, у животных основной и контрольной групп

Table 1
Relative amount (%) of morphological elements in wound tissues which were sutured with nylon threads in animals of the main and control groups

Морфологические элементы Morphological elements	Контрольная группа, n = 24 Control group				Основная группа (воздействие НИЛИ), n = 28 Main group (LLLI effect)			
	3-и сутки day 3		7-е сутки day 7		3-и сутки day 3		7-е сутки day 7	
	Монофиламентные Monofilament	Полифиламентные Polyfilament	Монофиламентные Monofilament	Полифиламентные Polyfilament	Монофиламентные Monofilament	Полифиламентные Polyfilament	Монофиламентные Monofilament	Полифиламентные Polyfilament
Бесклеточные зоны Cell-free zones	32,7 ± 0,9	38,8 ± 1,1	30,7 ± 0,9 p < 0,01	34,7 ± 0,9 p < 0,01	*26,4 ± 1,0	24,4 ± 1,0	*18,4 ± 0,6	22,4 ± 0,7
Сосуды, в том числе эндотелиоциты Vessels including endothelial cells	6,6 ± 0,2	6,8 ± 0,3	8,6 ± 0,2	8,8 ± 0,2	12,0 ± 0,2	10,0 ± 0,2	10,0 ± 0,3	9,0 ± 0,4
Жировые клетки Fat cells	8,8 ± 0,8	9,1 ± 1,0	7,8 ± 0,8	7,9 ± 0,8	26,4 ± 1,0	27,5 ± 1,0	26,0 ± 0,3	7,6 ± 0,4
Внесосудистые эритроциты Extravascular erythrocytes	10,3 ± 0,7	12,0 ± 0,8	8,2 ± 0,7	10,2 ± 0,7	5,2 ± 0,6	7,3 ± 0,8	**2,3 ± 0,4	2,8 ± 0,5
Нейтрофилы Neutrophils	8,6 ± 0,4	9,8 ± 0,5	6,4 ± 0,4	9,4 ± 0,4	*6,86 ± 0,9	8,9 ± 0,9	**4,6 ± 0,8	5,7 ± 0,9
Лимфоциты Lymphocytes	8,8 ± 0,4	10,0 ± 0,9	8,0 ± 0,4	9,0 ± 0,4	*4,5 ± 0,4	6,8 ± 0,5	**1,4 ± 0,4	2,4 ± 0,5
Фибробласты Fibroblasts	1,8 ± 0,3	1,6. ± 0,4	2,9 ± 0,3	2,6 ± 0,3	*6,4 ± 0,4	5,8 ± 0,4	**5,8 ± 0,7	5,2 ± 0,8
Макрофаги Macrophages	1,6 ± 0,2	2,1 ± 0,3	1,8 ± 0,2	1,9 ± 0,2	*2,7 ± 0,2	4,6 ± 0,2	**1,2 ± 0,2	2,3 ± 0,2
Плазмобласты и плазмоциты Plasmoblasts and plasmocytes	6,4 ± 0,7	7,2 ± 0,8	6,9 ± 0,7	7,2 ± 0,7	*3,6 ± 0,6	4,8 ± 0,7	**2,4 ± 0,6	3,2 ± 0,7
Эозинофилы Eosinophils	1,5 ± 0,3	1,7 ± 0,3	1,4 ± 0,3	1,6 ± 0,3	*1,6 ± 0,2	2,8 ± 0,3	*1,2 ± 0,3	2,3 ± 0,3
Лаброциты Labrocytes	2,3 ± 0,4	2,8 ± 0,5	2,9 ± 0,4	2,2 ± 0,4	*1,4 ± 0,4	1,8 ± 0,5	*1,2 ± 0,3	2,3 ± 0,3
Моноциты и неидентифицируемые клетки Monocytes and non-identificated cells	11,0 ± 0,5	14,0 ± 0,6	9,0 ± 0,5	9,8 ± 0,5	*10,1 ± 0,4	12,3 ± 0,4	**8,7 ± 0,4	10,4 ± 0,4

Примечание. В случаях, отмеченных (*), критерий Стьюдента использовался для оценки отличий от нуля средней разности в парах. В случаях, отмеченных (**), использовался критерий знаков.

Note. In cases marked with (*), the Student criterion test was used to estimate differences from zero of mean difference in pairs. In cases marked with (**), the Sign criterion was used.

Как видно из табл. 1, в ранние сроки наблюдения (3 суток) основной объём раны в контрольной группе у линии шва занимают бесклеточные зоны – участки отёка, внесосудистые эритроциты и лимфоидные клетки. Причём эти изменения более выражены при использовании полифиламентных нитей.

В ранние сроки наблюдения ран контрольной группы животных на поверхности монофиламентных нитей не выявляются клетки инфильтрата, в то время как на поверхности полифиламентных нитей и между филаментами определяются скопления клеток воспалительного инфильтрата (рис. 3, 4).

Уже через 3 сеанса лазеротерапии с использованием НИЛИ отмечено существенное снижение проявлений воспалительных реакций вокруг нитей капрона с формированием грануляционной ткани, увеличение относительной объёмной доли микрососудов и фибробластов. Это сопровождается снижением относительной объёмной доли внесосудистых эритроцитов, лимфоцитов и бесклеточных зон (рис. 5, 6, табл. 1).

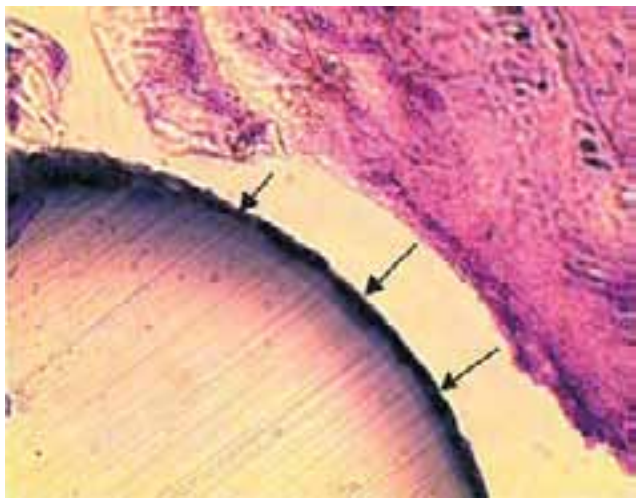

Рис. 3. Гладкая поверхность монофиламентной капроновой нити (стрелки). Рана на 3-и сутки контрольной группы. Г-Э 10–20

Fig. 3. Smooth surface of monofilament nylon thread (arrows). Wound on day 3 in the control group. G-E 10–20

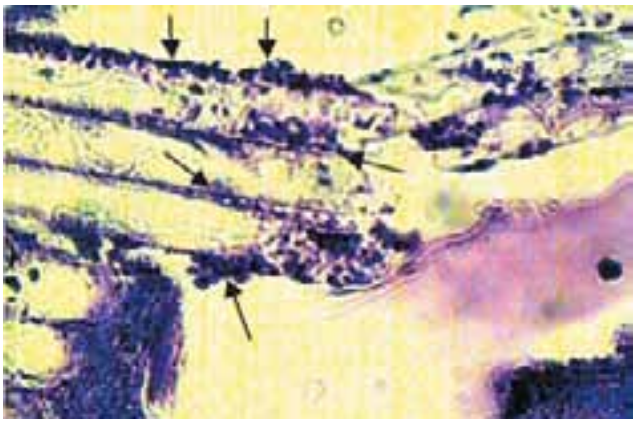

Рис. 4. Клетки воспалительного инфильтрата на поверхности филамент и между ними полифиламентной капроновой нити (стрелки). Рана на 3-и сутки контрольной группы. Г-Э 10–20

Fig. 4. Inflammatory infiltrate cells seen on the filament surface and between them on the polyfilament nylon thread (arrows). Wound on day 3 in the control group. G-E 10–20

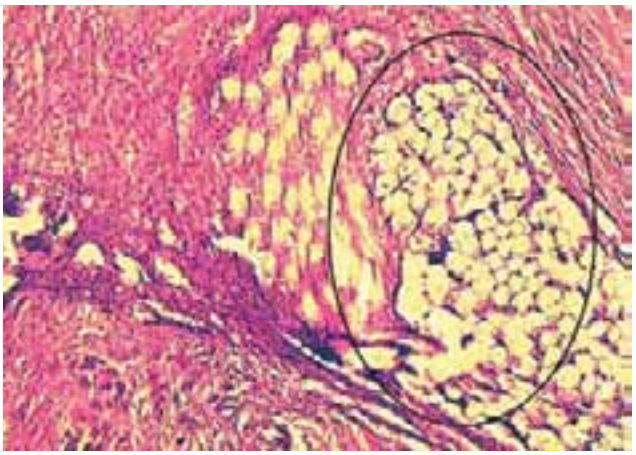

Рис. 5. Снижение воспалительной инфильтрации на поверхности полифиламентной капроновой нити. Рана на 3-и сутки после воздействия НИЛИ. Г-Э 10–20

Fig. 5. Decrease of inflammatory infiltration on the surface of polyfilament nylon thread. Wound on day 3 after after exposure to LLLI. G-E. 10–20

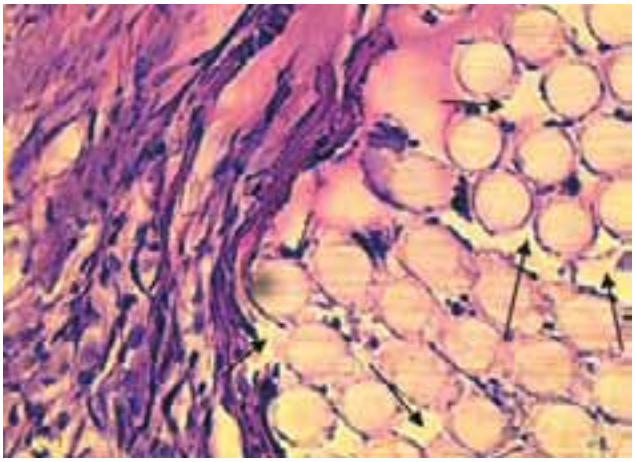

Рис. 6. Выраженное снижение воспалительной инфильтрации на поверхности полифиламентной капроновой нити (стрелки). Рана на 3-и сутки после воздействия НИЛИ. Г-Э 10–40

Fig. 6. Marked decrease of inflammatory infiltration on the surface of polyfilament nylon thread (arrows). Wound on day 3 after exposure to LLLI. G-E 10–40

На 7-е сутки в группе облучённых животных имеет место разрастание фибробластов вокруг нитей с отсутствием воспалительной реакции (рис. 7).

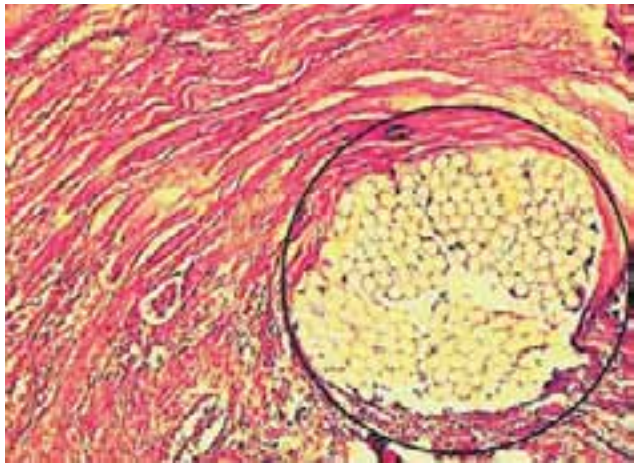

Рис. 7. Отсутствие воспалительной инфильтрации на поверхности полифиламентной капроновой нити. Рана на 7-е сутки после воздействия НИЛИ. Г-Э 10–20

Fig. 7. No inflammatory infiltration on the surface of polyfilament nylon thread. Wound on day 7 after exposure to LLLI. G-E. 10–20

На 10-е сутки наблюдается выраженная эпителизация раневого дефекта у животных, подвергнутых лазеротерапии. При этом языки эпителия наползают на развитую грануляционную ткань с большим числом микрососудов (рис. 8).

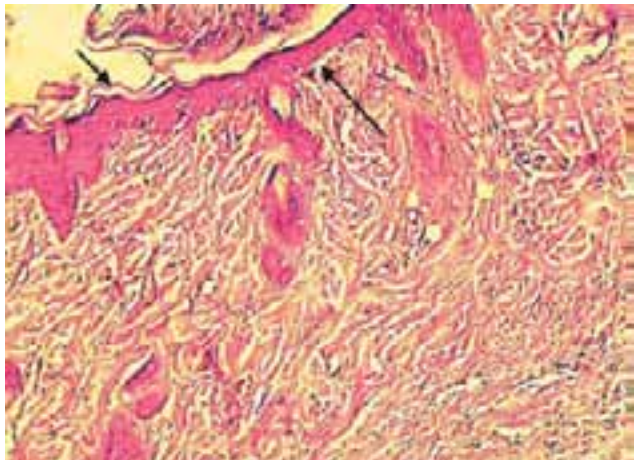

Рис. 8. Эпителизация раневого дефекта (стрелки). Рана на 10-е сутки после воздействия НИЛИ. Г-Э 10–20

Fig. 8. Epithelialization of wound defect (arrows). Wound on day 10 after exposure to LLLI. G-E 10–20

Однако прослеживается снижение относительной объёмной доли микрососудов, и фибробластов (табл. 1). Это указывает на начало стадии ремодулирования рубцовой ткани.

При изучении соотношения Д/ПФЭ в различные сроки раневого процесса и влияние на этот показатель НИЛИ выявлено, что в ранние сроки облучения имеет место снижение числа Д эритроцитов, особенно при использовании полифиламентных нитей (почти на 1/3). У необлучённых животных доля Д эритроцитов не достигает показателей

нормы даже на 7-е сутки. В ранах у контрольной группы животных наиболее резко возрастает число эритроцитов с гребнем и стоматоцитов (табл. 2).

Как видно из табл. 2, воздействие на раны НИЛИ приводит к тенденции нормализации соотношения Д/ПФЭ уже в ранние сроки облучения. К 7-м суткам эти показатели приближаются к контролю, особенно в ранах, ушитых мононитями.

Нарушение соотношения Д/ПФЭ приводит к существенному изменениям показателей микроциркуляции. Ранее нами показано [4, 5], что доминирование патологических форм эритроцитов в крови сопровождается нарушением микроциркуляции не только в зоне повреждения, но и в организме в целом.

Проведенная оценка микроциркуляции интактной кожи спины и кожи в области линейных ран позволили выявить существенные различия показателей микроциркуляции.

Почти в 3 раза в зоне ран снижается значение AmaxCF/AmaxB, отражающее относительный показатель артериального компонента микроциркуляции. Показатель AmaxHF/AmaxB, отражающий венозный компонент микроциркуляции, также существенно снижается, особенно при использовании полифиламентных нитей. Этот показатель возрастает через 3 суток после воздействия на раны НИЛИ. Индекс эффективности микроциркуляции (ИЭМ), показывающий соотношение пассивных и активных процессов в системе микроциркуляции, в зоне раневого дефекта снижается более чем в 2 раза и не достигает значений контроля и на 7-е сутки.

При воздействии НИЛИ основные параметры, отражающие состояние микроциркуляции ран, восстанавливаются быстрее. Причём это более выражено при использовании монофиламетных, чем при использовании полифиламентных нитей (табл. 3). Параметр $\boldsymbol{\Sigma}$, отражающий статистически значимые колебания скорости эритроцитов в коже у края ран, уменьшается в два раза, а при действии НИЛИ приближается к контрольным значениям на 7-е сутки. В коже вблизи раневого дефекта отмечено снижение коэффициента вариации (Ку), отражающего вазомоторную активность микрососудов. При воздействии НИЛИ этот показатель существенно возрастает на 7-е сутки.

Современные хирургические нити изготавливаются из синтетических полимерных материалов. Они характеризуются физическими, химическими и биологическими свойствами, во многом превосходящими нити из природных материалов. Капрон, относящийся к нерассасывающимся синтетическим нитям, в этом ряду занимает своё достойное место. Синтетические нити в зависимости от структуры по-разному взаимодействуют с тканями. Наши исследования показали, что наименьшие воспалительные изменения вызывают мононити из капрона. Это в полной мере согласуется с проведенными ранее исследованиями [6].

Стимуляция процесса заживления ран с помощью лазерного излучения была и остаётся важной проблемой с самого начала зарождения лазерной медицины [10, 16, 19–22]. Экспериментальные исследования по изучению заживления кожных ран позволяют дать визуальную оценку действия НИЛИ.

Лазерное воздействие, как показали наши исследования, оказывает существенное влияние на взаимодействие клеток с шовным материалом, снижая проявления воспалительных реакций, что отмечается уже через 2–3 сеанса.

Таблица 2
Соотношение форм эритроцитов (%) ран, ушитых капроном, у животных основной и контрольной групп

Table 2
Ratio of erythrocyte forms (%) in wounds sutured with nylon threads in animals of the main and control groups

Форма эритроцитов Shape of red blood cells	а) кожа спины, норма a) back skin (normal)	Контрольная группа, n = 24 Control group				Основная группа (воздействие НИЛИ), n = 28 Main group (LLLI effect)			
		б) рана, 3-и сутки б) Wound on day 3		в) рана, 7-е сутки в) Wound on day 7		г) рана, 3-и сутки г) Wound on day 3		д) рана, 7-е сутки д) Wound on day 7	
		Монофиламентные Monofilament	Полифиламентные Polyfilament	Монофиламентные Monofilament	Полифиламентные Polyfilament	Монофиламентные Monofilament	Полифиламентные Polyfilament	Монофиламентные Monofilament	Полифиламентные Polyfilament
Дискоциты Diskocytes	90 ± 0,5	66 ± 1*	62 ± 1*	72 ± 2,0**	67 ± 2,0**	80 ± 1***	72 ± 1**	85 ± 1***	81 ± 1****
Эхиноциты Echinocytes	8 ± 0,3	9 ± 0,5	12 ± 0,5	8 ± 1,6	11 ± 1,6	8 ± 0,1	8 ± 0,4**	6 ± 0,1	7 ± 0,1
Стоматоциты Stomatocytes	1 ± 0,05	11 ± 0,4*	12 ± 0,4*	8 ± 1,6	9 ± 1,6	6 ± 0,2***	8 ± 0,02**	3 ± 0,2***	6 ± 0,2****
Эритроциты с гребнем Red blood cells with crest	0,5 ± 0,02	12 ± 0,03*	11 ± 0,03*	10 ± 0,1**	11 ± 0,1**	4 ± 0,1***	10 ± 0,01**	4 ± 0,1***	4 ± 0,1****
Необратимые формы Irreversible forms	0,5 ± 0,05	2 ± 0,01*	3 ± 0,01*	2 ± 0,1**	2 ± 0,1**	2 ± 0,1	2 ± 0,01**	2 ± 0,1	2 ± 0,1

Примечание. * – достоверно по отношению к норме; ** – достоверно по отношению к группе «б»; *** – достоверно по отношению к группе «в» (до лазеротерапии); **** – достоверно по отношению к группе «г».

Note. * – reliable as to the norm; ** – reliable as to group «б»; *** – reliable as to group «в» (before laser therapy); **** – reliable as to group «г».

Таблица 3
Показатели лазерной доплеровской флоуметрии ран, ушитых капроном, у животных основной и контрольной групп

Table 3
Laser Doppler flowmetry findings in wounds sutured with nylon threads in animals of the main and control groups

	а) кожа спины норма a) back skin (normal)	Контрольная группа, n = 24 Control group				Основная группа (воздействие НИЛИ), n = 28 Main group (LLLI effect)			
		б) кожа края раны, 3-и сутки; б) skin wound margins on day 3		в) кожа края раны, 7-е сутки; в) skin wound margins on day 7		г) кожа края раны, 3-и сутки; г) skin wound margins on day 3		д) кожа края раны, 7-е сутки; д) skin wound margins on day 7	
		Монофиламентные Monofilament	Полифиламентные Polyfilament	Монофиламентные Monofilament	Полифиламентные Polyfilament	Монофиламентные Monofilament	Полифиламентные Polyfilament	Монофиламентные Monofilament	Полифиламентные Polyfilament
AmaxCF/AmaxB (LF) Амплитудный коэффициент (артерии/вазомоторы) Amplitude coefficient (arteries/vasomotors)	0,27 ± 0,1	0,11 ± 0,02*	0,10 ± 0,02*	0,20 ± 0,01**	0,18 ± 0,01**	0,2**	0,19**	0,24 ± 0,02	0,24 ± 0,02
AmaxHF/AmaxB (LF) Амплитудный коэффициент (вены/вазомоторы) Amplitude coefficient (veins/vasomotors)	0,4 ± 0,01	0,3 ± 0,01*	0,2 ± 0,01*	0,3 ± 0,07	0,2 ± 0,07	0,3 ± 0,08**	0,28 ± 0,08**	0,34 ± 0,06	0,32 ± 0,06
ИЭМ = A_{LF}/ (A_{CF} + A_{HF}) Индекс эффективности микроциркуляции Microcirculation efficiency index	2,9 ± 0,1	1,5 ± 0,01*	1,2 ± 0,01*	2,1 ± 0,03	2,0 ± 0,03	2,6 ± 0,04**	2,4 ± 0,04**	2,6 ± 0,01	2,5 ± 0,01
M Уровень перфузии (в относительных единицах) Perfusion level (in relative units)	16 ± 0,2	8,6 ± 0,3*	8,1 ± 0,3*	10,1 ± 0,3*	10,0 ± 0,3*	12 ± 0,2**	10 ± 0,2**	14,2 ± 0,2***	14,02 ± 0,2***
Σ Среднее отклонение уровня перфузии колебания скорости эритроцитов Average deviation of perfusion level in speed fluctuations in red blood cells	4,0 ± 0,3	2,0 ± 0,2*	2,0 ± 0,2*	2,8 ± 0,1*	2,4 ± 0,1*	3,3 ± 0,1**	3,0 ± 0,1**	3,4 ± 0,1***	3,2 ± 0,1***
Kv Коэффициент вариации уровня перфузии Coefficient of variation in perfusion level	18,6 ± 0,5	9,9 ± 0,5*	9,1 ± 0,5*	12,0 ± 0,4*	10,0 ± 0,4*	14,2 ± 1,0*	12,1 ± 1,0*	14,0 ± 0,5	12,8 ± 0,5

Примечание. * – достоверно по отношению к норме; ** – достоверно по отношению к группе «б»; *** – достоверно по отношению к группе «в» (до лазеротерапии); **** – достоверно по отношению к группе «г».

Note. * – reliable as to norm; ** – reliable as to group «б»; *** – reliable as to group «в» (before laser irradiation); **** – reliable as to group «г».

Курс лазеротерапии приводит к выраженному ускорению заживления ран [5, 10, 11, 18–22]. Ни в одном случае в группе животных с использованием НИЛИ не отмечалось нагноение ран.

Проведенные нами исследования влияния НИЛИ на состояние микроциркуляции кожи вблизи раневого дефекта и интактной выбритой кожи спины показали выраженное улучшение изученных параметров микроциркуляции. Причём это обусловлено как нормализацией соотношения Д/ПФЭ, так и непосредственным действием НИЛИ на микрососуды. Это также в полной мере соответствует проведенными ранее исследованиями влияния НИЛИ на микроциркуляцию [2–4, 14, 15].

Заключение

Взаимодействие тканей ран с моно- и полифиламентными капроновыми нитями существенно отличается. Мононити вызывают меньшие воспалительные изменения тканей ран. Действие НИЛИ на раны, ушитые нитями капрона, морфологически проявляется в трёх взаимосвязанных эффектах: 1) снижении воспалительных реакций, в том числе и обусловленных контактом нитей с биотканями; 2) восстановлении соотношения нормальных эритроцитов и их патологических форм: Д/ПФЭ; 3) стимуляции микроциркуляции. В совокупности это приводит к ускорению заживления ран.

Литература

1. *Байбеков И.М., Назыров Ф.Г., Ильхамов Ф.А. и др.* Морфологические аспекты лазерных воздействий (на хронические язвы и печень). – Ташкент: Изд-во мед. лит. им. Абу Али ибн Сино, 1996. – 208 с.
2. *Байбеков И.М., Мавлян-Ходжаев Р.Ш., Эрстекис А.Г., Москвин С.В.* Эритроциты в норме, патологии и при лазерных воздействиях. Тверь: Триада, 2008. – 256 с.
3. *Байбеков И.М., Ибрагимов А.Ф., Байбеков А.И.* Влияние лазерного облучения донорской крови на форму эритроцитов // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. – 2011. – Т. 152. – № 12. – С. 703–706.
4. *Байбеков И.М. Ибрагимов А.Ф., Байбек-Палмос М.И.* Лазерные воздействия на кожу и эритроциты в норме и патологии. Саарбрюккен: Lambert. – 2014. – 272 с.
5. *Байбеков И.М., Бутаев А.Х., Мардонов Д.Н.* Влияние лазерного излучения на взаимодействие нитей Этибонда с тканями ран и их заживление //Лазерная медицина. – 2017. – Т. 21. – Вып. 4. – С.11–15.
6. *Бонцевич Д.Н.* Хирургический шовный материал // Проблемы здоровья и экологии. – 2005. – № 3 (5). – С. 43–48.
7. *Брилль Г.Е.* Двойственный эффект низкоинтенсивного лазерного излучения на развитие воспалительного процесса // Лазерная медицина. – 2011. – Т. 15. – Вып. 2. – С. 108–109.
8. *Гейниц А.В., Москвин С.В., Азизов Г.А.* Внутривенное лазерное облучение крови. – Тверь: Триада, 2006. – 250 с.
9. *Гейниц А.В., Цыганова Г.И.* ГНЦ лазерной медицины – четверть века на пути создания лазерных инновационных технологий в медицине // Лазерная медицина. – 2011. – Т. 15. – Вып. 2. – С. 16–18.
10. *Елисеенко В.И.* Патологическая анатомия и патогенез лазерной раны // Лазерная медицина. – 2017. – Т. 21. – Вып. 4. – С.5–10.
11. *Елисеенко В.И.* 30 лет ФГБУ «ГНЦ лазерной медицины ФМБА России» // Лазерная медицина. – 2016. – Т. 20. – Вып. 3. – С. 114–115.
12. *Козлов В.И.* Лазерная стимуляция микроциркуляции крови // Современные достижения лазерной медицины и их применение в практическом здравоохранении: материалы научно-практической конференции 5–6 октября 2006, г. Москва. – М.: Триада, 2006. – С. 174–175.
13. *Крупаткин А.И., Сидоров В.В.* Лазерная допплеровская флоуметрия микроциркуляции крови. – М.: Медицина, 2005. – 256 с.
14. *Москвин С.В.* Основы лазерной терапии. Серия «Эффективная лазерная терапия» Т. 1. – М.–Тверь: Триада, 2016. – 896 с.
15. *Baybekov I.M., Kartashev V.P., Mardohnov J.* Influence of laser irradiation on interaction of prolen sutures with the wound tissues and their healing. Economic and social developmentю Book of Proceedings. – M.: Российский государственный социальный университет, 2017: 15–24.
16. *Hamblin M.R., Ferraresi C., Huang Y., Freitas L.* Low-Leve Light Therapy: Photobiomodulation SPIE PRESS. Bellingham, Washington USA, 2018: 367.
17. *Karakozov P.E., Ibadov B.I., Mardonov J., Baybekov I.M.* The Surface of Various Types of Surgical Sutures by Scanning Electron Microscopy. *American Journal of Thoracic and Cardiovascular*. 2017; 2 (2): 35–40.
18. *Ozcelik O., Cenk Haytac M., Kunin A., Seydaoglu G.* Improved wound healing by low-level laser irradiation after gingivectomy operations: a controlled clinical pilot study. *J. Clin Periodontol.* 2008; 35 (3): 250–254.
19. Photomedicine: Advances in Clinical Practice (Edited by Yohei Tanaka) Published by ExLiEvA Copyright © 2017: 252.
20. *Simunovic Z.* (Ed-r) Lasers in medicine science and praxis in medicine, surgery, dentistry and veterinary Trilogy updates with emphasis on LILT-photobiostimulation photodynamic therapy and laser acupuncture. Locarno, 2009: 772.
21. *Tuner J., Hode L.* The New Laser Therapy Hand boor Prima book. Stockholm, 2010: 847.
22. *Wu C.S., Hu S.C., Lan C.C. et al.* Low-energy helium-neon laser therapy induces repigmentation and improves the abnormalities of cutaneous microcirculation in segmental-type vitiligo lesions. *Kaohsiung J. Med Sci.* 2008; 24 (4): 180–189.

References

1. *Baybekov I.M., Nazyrov F.G., Ilkhamov F.A. et al.* Morphological aspects of laser effects (on chronic ulcers and liver) Published by Abu Ali Ibn Sina Medical Literature Publishing House. 1996: 208. [In Russ.].
2. *Baybekov I.M., Mavlyan-Khojaev R. Sh., Erstekis A.G., Moskvin S.V.* Erythrocytes in norm, pathology and under laser influence. Tver: Publishing House «Triada», 2008: 256. [In Russ.].
3. *Baybekov I.M., Ibragimov A.F., Baybekov A.I.* Effects of laser irradiation of donor blood at erythrocyte form. *Bulleten experimentalnoy biologii i medicini*. 2011; 152 (12): 703–706. [In Russ.].
4. *Baybekov I.M. Ibragimov A.F., Baybek-Palmos M.I.* Laser effects at skin and red blood cells in healthy and diseased states. Saardrucken: Lambert, 2014: 272. [In Russ.].
5. *Baybekov I.M., Butaev A. Kh., Mardonov D.N.* Effects of laser irradiation at the interaction of Ethibond threads with wound tissues and healing process. *Lasernaya Medicina.* 2017; 21 (4): 11–15. [In Russ.].
6. *Bontsevich D.N.* Surgical sutural material. *Problemi zdorovia i ekologii.* 2005; 3 (5): 43–48. [In Russ.].
7. *Brill G.E.* Dual effects of low-level laser irradiation at inflammatory process. *Lasernaya Medicina.* 2011; 15 (2): 108–109. [In Russ.].
8. *Geynitz A.V., Moskvin S.V., Azizov G.A.* Intravenous laser blood irradiation. Tver: Triada, 2006: 250. [In Russ.].
9. *Geynitz A.B., Ziganova G.I.* Skobelkin State Scientific Center of Laser Medicine – a quarter of century on the way to creating laser innovative technologies in medicine. *Lasernaya Medicina.* 2011; 15 (2): 16–18. [In Russ.].
10. *Yeliseenko V.I.* Pathologic anatomy and pathogenesis of laser wounds. *Lasernaya Medicina.* 2017; 21 (4): 5–10. [In Russ.].
11. *Yeliseenko V.I.* 30 year-anniversary State Research Center of Laser Medicine of the Federal Medical and Biological Agency of Russia. *Lasernaya Medicina.* 2016; 20 (3): 114–115. [In Russ.].
12. *Kozlov V.I.* Laser stimulation of blood microcirculation // Modern achievements of laser medicine and their application in practical healthcare. *Proceedings of conference.* October 5–6, 2006, Moscow. M.: Triada, 2006: 174–175. [In Russ.].
13. *Krupatkin A.I., Sidorov V.V.* Laser Doppler flowmetry of microcirculation of blood. M.: Medicina, 2005: 256. [In Russ.].
14. *Moskvin S.V.* Basics of laser therapy. A series of «Effective laser therapy» V. 1. M.–Tver: Triada, 2016: 896. [In Russ.].
15. *Baybekov I.M., Kartashev V.P., Mardohnov J.* Influence of laser irradiation on interaction of prolen sutures with the wound tissues and their healing. Economic and social developmentю Book of Proceedings. – M.: Russian State Social University, 2017: 15–24.
16. *Hamblin M.R., Ferraresi C., Huang Y., Freitas L.* Low-Leve Light Therapy: Photobiomodulation SPIE PRESS. Bellingham, Washington USA, 2018: 367.
17. *Karakozov P.E., Ibadov B.I., Mardonov J., Baybekov I.M.* The Surface of Various Types of Surgical Sutures by Scanning Electron Microscopy. *American Journal of Thoracic and Cardiovascular*. 2017; 2 (2): 35–40.
18. *Ozcelik O., Cenk Haytac M., Kunin A., Seydaoglu G.* Improved wound healing by low-level laser irradiation after gingivectomy operations: a controlled clinical pilot study. *J. Clin Periodontol.* 2008; 35 (3): 250–254.
19. Photomedicine: Advances in Clinical Practice (Edited by Yohei Tanaka) Published by ExLiEvA Copyright © 2017: 252.
20. *Simunovic Z.* (Ed-r) Lasers in medicine science and praxis in medicine, surgery, dentistry and veterinary Trilogy updates with emphasis on LILT-photobiostimulation photodynamic therapy and laser acupuncture. Locarno, 2009: 772.
21. *Tuner J., Hode L.* The New Laser Therapy Hand boor Prima book. Stockholm, 2010: 847.
22. *Wu C.S., Hu S.C., Lan C.C. et al.* Low-energy helium-neon laser therapy induces repigmentation and improves the abnormalities of cutaneous microcirculation in segmental-type vitiligo lesions. *Kaohsiung J. Med Sci.* 2008; 24 (4): 180–189.