

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ГЛАВНЫЙ ВОЕННЫЙ КЛИНИЧЕСКИЙ ГОСПИТАЛЬ ИМЕНИ АКАДЕМИКА
Н.Н.БУРДЕНКО» МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

На правах рукописи



Беседин Владимир Дмитриевич

**Применение физических методов лечения ран конечностей
при огнестрельном ранении у военнослужащих**

3.1.8. Травматология и ортопедия

Диссертация

на соискание ученой степени

кандидата медицинских наук

Научный руководитель:

доктор медицинских наук, профессор

Давыдов Денис Владимирович

Москва – 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|-----|
| ВВЕДЕНИЕ..... | 4 |
| ГЛАВА 1. ОГНЕСТРЕЛЬНАЯ РАНА: МОРФОЛОГИЯ, ДИАГНОСТИКА И ЛЕЧЕНИЕ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)..... | 13 |
| 1.1. Поражающие факторы при огнестрельных ранениях..... | 13 |
| 1.2. Особенности морфологии и раневого процесса..... | 20 |
| 1.3. Классификация и оценка состояния огнестрельных ран..... | 27 |
| 1.4. Методы лечения..... | 31 |
| 1.5. Применение лазерного излучения в клинической практике..... | 37 |
| ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ..... | 43 |
| 2.1. Дизайн исследования..... | 43 |
| 2.2. Общая характеристика пациентов..... | 46 |
| 2.3. Методики обследования..... | 48 |
| 2.4. Методики лечения | 54 |
| 2.5. Статистическая обработка данных..... | 65 |
| ГЛАВА 3. ВЕРИФИКАЦИЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ РАНЫ И АЛГОРИТМ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ (ПЕРВЫЙ ЭТАП ИССЛЕДОВАНИЯ)..... | 68 |
| 3.1. Программа «АналиРан»..... | 68 |
| 3.2. Оценка результатов пластического закрытия раневого дефекта..... | 77 |
| 3.3. Алгоритм выбора хирургической тактики..... | 78 |
| ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЛЕЧЕНИЯ (ВТОРОЙ ЭТАП ИССЛЕДОВАНИЯ)..... | 81 |
| 4.1. Группа контроля..... | 81 |
| 4.2. Основная группа..... | 88 |
| ГЛАВА 5. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ..... | 100 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ..... | 115 |

| | |
|--|-----|
| ВЫВОДЫ..... | 122 |
| ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ..... | 123 |
| СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ..... | 124 |
| Приложение А. Оценка тяжести повреждений по шкале кафедры военно-полевой хирургии (для огнестрельных ранений) Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова..... | 145 |
| Приложение Б. Шкала Бейтс–Дженсен (1995)..... | 146 |
| Приложение В. Публикации по использованию лазерного излучения низкой интенсивности в медицине..... | 148 |
| Приложение Г. Публикации по влиянию низкоинтенсивной лазерной терапии на различные клеточные линии..... | 151 |

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

В современных военных конфликтах в структуре санитарных потерь преобладают ранения конечностей, которые составляют абсолютное большинство боевой хирургической патологии [31, 100]. Раны, нанесённые современными высокоэнергетическими ранящими снарядами, отличаются большим объёмом повреждения тканей конечностей, что предопределяет длительные сроки лечения [9, 29, 44, 52], и часто приводят к тяжёлой инвалидизации и значительному снижению качества жизни [72].

Для успешного восстановления анатомии и функции повреждённого сегмента необходимо провести как можно более быструю санацию огнестрельной раны, основой которой служит хирургическая обработка. Вторым этапом осуществляют выполнение реконструктивных операций, результат которых во многом определяется ранним закрытием раневого дефекта [47].

Таким образом, подготовка огнестрельной раны к ранним реконструктивным вмешательствам является определяющим элементом в достижении успеха и возвращении раненого в строй.

Эффективным средством при лечении огнестрельных ран является методика вакуумного дренирования – её положительный эффект обусловлен защитой раны от внешней среды, что предотвращает вторичное инфицирование, активным удалением раневого отделяемого, созданием оптимальной для пролиферации кератиноцитов и фибробластов влажной раневой среды, ускорением пролиферации сосудов, усилением локальной гемодинамики, уменьшением интерстициального отёка, сокращением площади и объёма раны благодаря сближению её стенок под воздействием постоянного отрицательного давления, повышением концентрации и эффекта медикаментозного лечения за счёт усиления местного крово- и лимфообращения в тканях [3, 29, 47].

Однако для подготовки обширной раны с вовлечением костных структур к

реконструктивным операциям применяемые в настоящее время методы физического воздействия всё же недостаточно эффективны. Так, например, вакуум-терапия не обеспечивает в короткие сроки равномерного очищения сложной раневой поверхности, снижения микробной обсеменённости, равномерности репаративных процессов, что определяет высокую (до 18%) частоту послеоперационных осложнений [18].

За последние годы в клинической практике активно применяют фотобиомодуляционную терапию на основе светодиодов и широкополосного света в видимом и инфракрасном диапазонах. Лазерное воздействие широко применяют для стимуляции регенерации и проведения резекционных манипуляций. Доказано, что оно модулирует биологические процессы, такие как пролиферация и дифференцировка, повышая жизнеспособность клеток, однако публикации о возможности применения лазерного облучения в лечении огнестрельных ран конечностей до сих пор носят единичный характер и не имеют достаточной доказательной базы [13, 25, 32, 61, 90, 155].

Соответственно, добавление методики лазерной терапии к комплексу лечения огнестрельных ран конечностей может улучшить результаты, однако исследований в этом направлении не проводилось, что и послужило основанием для выполнения данной работы.

Степень разработанности темы исследования

Конечности наиболее часто подвержены ранениям и повреждениям, а особенностью поражающих факторов современных военных действий является значительное повышение доли обширных дефектов мягких тканей. Применение различных методов их пластики широко освещено в научной литературе последних 40–50 лет и нацелено на широкое внедрение методов замещения дефектов мягких тканей конечностей в клиническую практику военно-медицинских и гражданских лечебных учреждений [31, 44, 52, 100].

Совершенствование методов этапного лечения раненых и пострадавших с

дефектами мягкотканых структур увеличило процент сохранённых конечностей при тяжёлых повреждениях и ранениях, более чётко определило место и задачи военных и гражданских хирургов в системе лечения раненых с повреждениями конечностей [25].

Однако применяемые методики подготовки таких ран к реконструктивным и пластическим операциям с применением физических факторов воздействия недостаточно эффективны и требуют дальнейшего изучения. В связи с этим продолжаются поиски эффективных методик комплексного лечения, включающие новые средства воздействия на огнестрельную рану, в целях её очищения, снижения воспаления, стимуляции регенерации тканей, и в конечном итоге создания возможности раннего выполнения реконструктивно-пластического закрытия раневого дефекта, что сократит сроки лечения и позволит более полноценно восстановить нарушенную функцию конечности [13, 25, 32, 61, 90, 155].

В доступной литературе отсутствует упоминание об опыте применения комбинированных методик физического воздействия при лечении огнестрельных ран конечностей с включением в комплекс лазерного излучения, не исследованы возможности таких комбинаций, не разработан алгоритм определения оптимальной хирургической тактики.

Следовательно, остаётся нерешённой задача оптимизации лечения раненых с огнестрельными ранениями конечностей, что в соответствии с современными вызовами, стоящими перед медициной, имеет крайне высокую значимость для медицинской науки и практики. Это и определило актуальность предпринятого исследования.

Цель и задачи исследования

Цель: повысить эффективность подготовки огнестрельных ран конечностей к реконструктивному этапу хирургического лечения за счёт применения узкополосного лазерного излучения.

Задачи:

1. Усовершенствовать систему оценки состояния раневых тканей с помощью компьютерного анализа их цифрового изображения за счёт адаптации интерпретации данных, полученных с помощью программы «АналиРан», к особенностям огнестрельной раны.
2. Оценить динамику изменений характера тканей в обширных огнестрельных ранах на фоне лечения, проводимого с применением вакуум-терапии.
3. Разработать и обосновать алгоритм принятия решения о готовности огнестрельной раны к выполнению реконструктивного этапа лечения с пластическим закрытием обширного кожного дефекта.
4. Разработать методику подготовки обширных огнестрельных ран конечностей к кожной пластике, включающую сочетанное применение вакуум-терапии и лазерного облучения.
5. Внедрить разработанную методику в клиническую практику и обосновать эффективность применения лазерного излучения при подготовке огнестрельных ран конечностей к кожной пластике.

Научная новизна

Впервые на основе морфологических исследований адаптирована к особенностям огнестрельной раны программа компьютерного анализа цифрового изображения раневой поверхности «АналиРан» с определением характера выполняющих рану тканей и их доли в общей её площади. На обновлённую версию программы «АналиРан 2.0» получено свидетельство о регистрации № 2024665846 от 08.07.2024 г. [50].

Впервые создан алгоритм принятия решения о готовности огнестрельных ран конечностей к кожной пластике, основанный на данных компьютерной программы «АналиРан».

Разработана и успешно внедрена в клиническую практику оригинальная методика выполнения хирургической обработки огнестрельной раны с применением методов физического воздействия «Способ лечения огнестрельных

ран конечностей», на которую получен патент РФ № 2818931 от 07.05.2024 г. [38].

Впервые доказана эффективность обработки огнестрельных ран с применением узкополосного лазерного излучения с длиной волны 980 нм.

Теоретическая и практическая значимость работы

Разработанный алгоритм позволяет при огнестрельных ранениях конечностей определить оптимальные сроки реконструктивно-пластических операций, выполняемых с целью закрытия раневого дефекта.

Использование методики комплексного лечения с сочетанным воздействием на огнестрельную рану вакуум-терапии и лазерного излучения позволяет существенно сократить сроки подготовки раны к кожной пластике.

Применение в клинической практике оригинальной методики обработки огнестрельной раны в сочетании с алгоритмом определения хирургической тактики позволило избежать местных осложнений после выполнения кожной пластики, добиться приживления кожных лоскутов у всех пациентов и улучшения результатов их лечения.

Методология и методы исследования

На основе изучения литературных источников определено направление научного исследования, сформулированы его цель и задачи, обоснована актуальность, определена корреляция данных о состоянии тканей в огнестрельной ране, полученных с помощью компьютерной программы «АналиРан», с данными гистологического исследования, на основе чего рассчитаны и введены в клиническую практику поправочные коэффициенты. Разработана методика подготовки огнестрельных ран к реконструктивному этапу хирургического лечения с включением лазерной терапии в комплекс выполняемых мероприятий. По этой методике получено положительное решение по заявке на изобретение. На основе данных, полученных с помощью программы «АналиРан» и показателей

шкалы Бейтс–Дженсен, разработан алгоритм определения готовности огнестрельной раны к выполнению кожной пластики, а также выбора оптимальной хирургической тактики. Выполнено проспективное одноцентровое клиническое исследование, в ходе которого в сопоставимых группах (всего 64 наблюдения) показано преимущество разработанной нами методики, включающей лазерную обработку раневой поверхности, перед традиционными подходами с использованием вакуум-терапии.

Положения, выносимые на защиту

1. Программа компьютерной оценки цифрового изображения «АналиРан» может быть использована для оценки состояния тканей в огнестрельной ране с применением корректировочных коэффициентов.
2. Готовность ран к выполнению реконструктивно-пластических операций следует определять с учетом долевого соотношения различного состояния тканей дна раны, а также показателей шкалы оценки ран Бейтс–Дженсен. Для определения показаний к реконструктивным операциям эти объективные критерии должны соответствовать требованиям разработанного нами алгоритма.
3. Включение лазерного облучения в сочетании с вакуум-терапией в комплекс лечения огнестрельных ран позволяет существенно ускорить их подготовку к пластическому замещению раневого дефекта и тем самым способствует улучшению конечных результатов лечения раненых.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Диссертационная работа соответствует паспорту научной специальности 3.1.8. Травматология и ортопедия, а именно посвящена улучшению результатов лечения ран конечностей при огнестрельном ранении у военнослужащих путём повышения эффективности подготовки огнестрельных ран конечностей к реконструктивному этапу хирургического лечения за счёт применения

узкополосного лазерного излучения.

Направления исследования: разработка, усовершенствование методов диагностики и лечения повреждения опорно-двигательной системы и внедрение их в клиническую практику.

Задачи и положения, выносимые на защиту диссертации, соответствуют формуле научной специальности 3.1.8. Травматология и ортопедия. Результаты проведенного исследования соответствуют пункту 3 «Разработка, усовершенствование и внедрение в клиническую практику методов диагностики, профилактики и диспансеризации при заболеваниях и повреждениях опорно-двигательной системы, а также их последствия» и 4 «Экспериментальная и клиническая разработка и совершенствование методов лечения заболеваний и повреждений опорно-двигательной системы, их последствий, а также предупреждение, диагностика и лечение возможных осложнений».

Степень достоверности и апробация результатов

Результаты исследования диссертации были доложены и обсуждены на следующих научно-практических конференциях, форумах и конгрессах: научно-практической конференции «Огнестрельная рана. Современные организационные и клинические аспекты» (Москва, 2022 г.); VIII Всероссийском конгрессе с международным участием «Медицинская помощь при травмах. Новое в организации и технологиях. Фактор травмы в современном мире. Травматические эпидемии и борьба с ними» (Санкт-Петербург, 2023 г.); IV Конгрессе ОРТОБИОЛОГИЯ 2023 «Patient Cases – от теории к практике» с международным участием (Москва, 2023 г.); Всероссийском междисциплинарном конгрессе «Современная медицина – новые реалии в меняющемся мире» (Москва, 2023 г.); XIII научно-практической конференции «Илизаровские чтения» (Курган, 2023 г.); XV Съезде хирургов России (Москва, 2023 г.); форуме по хирургии современных вооружённых конфликтов «Огнестрельная рана. Организация, клиника, технологии» (Москва, 2023 г.); II Международном форуме по хирургии

современных вооружённых конфликтов (Москва, 2023 г.).

Результаты диссертационного исследования используются в практической работе центра травматологии и ортопедии (ЦТиО) федерального государственного бюджетного учреждения «Главный военный клинический госпиталь имени академика Н.Н.Бурденко» Министерства обороны российской Федерации (ФГБУ «ГВКГ им. Н.Н.Бурденко» Минобороны России), а также при обучении ординаторов, аспирантов и травматологов-ортопедов, проходящих усовершенствование по программам дополнительного образования в госпитале.

Личный вклад автора

Автор самостоятельно провёл анализ профильной отечественной и зарубежной научной литературы для обоснования цели и задач диссертационного исследования, лично выполнил все методики исследования, провёл анализ полученных результатов.

Диссертант является соавтором патента РФ на применённый в работе способ лечения огнестрельных ран конечностей и обновленной версии программы «АналиРан 2.0».

В ходе клинической части работы автор принимал участие в отборе пациентов, участвовал в качестве оператора во всех операциях, проводил контрольные осмотры прооперированных пациентов на всех сроках наблюдения, заносил в протоколы результаты измерений и лабораторных анализов, анализировал данные гистологического исследования, а также провёл статистическую обработку полученных количественных данных.

Автором был написан текст диссертации, сформулированы выводы и практические рекомендации диссертационной работы. Диссертант принимал активное участие в подготовке публикаций, выступал с научными докладами по результатам проведённых исследований.

Публикации по теме диссертации

По результатам исследования автором опубликовано 8 печатных работ, в том числе 2 – в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий Сеченовского Университета/ Перечень ВАК при Минобрнауки России, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук; 1 обзорная статья – в издании, индексируемом в базе данных RSCI; 2 иные публикации по результатам исследования, патент – 1, свидетельство на государственную регистрацию программы для ЭВМ – 1, публикации в сборниках материалов международных и всероссийских научных конференций – 1.

Структура и объём диссертации

Диссертационная работа изложена на 153 страницах текста и состоит из введения, 5 глав собственных исследований, заключения, выводов, практических рекомендаций, списка литературы и приложений. Текст работы содержит 70 рисунков, 15 таблиц и 4 приложения. Список литературы включает 190 источников, из них 64 отечественных и 126 иностранных.

ГЛАВА 1. ОГНЕСТРЕЛЬНАЯ РАНА: МОРФОЛОГИЯ, ДИАГНОСТИКА И ЛЕЧЕНИЕ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

Статистика военных действий последних лет показывает, что более 80% от общего объёма огневых задач приходится на долю подготовленных ударов ракетных войск и авиации, в том числе беспилотных летательных аппаратов, а также огня артиллерии. Обращаясь к опыту современных вооружённых конфликтов, в этот список необходимо включать подразделения, применяющие барражирующие боеприпасы, беспилотные летательные аппараты и FPV (First Person View) – дроны для выполнения разведывательно-ударных задач [63]. Отмечается возрастающее количество осколочных ранений, которые составляют до 70%, причём в структуре огнестрельных ранений конечности составляют 55,3% [5, 117].

1.1. Поражающие факторы при огнестрельных ранениях

К боевой хирургической патологии относят огнестрельные и неогнестрельные ранения, закрытые и открытые травмы, комбинированные поражения различными видами оружия, которые определяются таким общим понятием, как «боевая хирургическая травма», а также заболевания хирургического профиля: острые заболевания внутренних органов, гнойные и инфекционные заболевания и т. д. (Таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Классификация боевой хирургической травмы

| | |
|-----------------------------------|---------------------------|
| Боевая хирургическая травма | Взрывные поражения |
| | Огнестрельные ранения |
| | Комбинированные поражения |
| | Неогнестрельные ранения |
| | Механические травмы |
| | Новые виды поражений |

Ранение (огнестрельное, колото-резаное и др.) является частным видом травмы, наносимой ранящим снарядом (предметом), обязательным компонентом которой является нарушение целостности кожного покрова или слизистых оболочек на всю их толщину, а часто – и повреждение глубже расположенных тканей и органов. Наиболее распространёнными первичными последствиями огнестрельного ранения являются повреждения мягких тканей, объёмная потеря мышечной массы, кровоизлияние, переломы костей и боль [72, 163].

Поражающие факторы в современной войне весьма разнообразны, однако преобладающими являются боеприпасы взрывного действия (осколочно-фугасные, шрапнельные, кассетные, мины, гранаты, гранатомётные выстрелы, артиллерийские снаряды, авиационные бомбы, ракеты, миномётные мины).

Для поражения живой силы противника используют ранящие снаряды в виде осколков естественно-дробимого корпуса боеприпасов, стальные или вольфрамовые шарики, стреловидные элементы, кубики, пули различного калибра. Перспективным считают оружие, основанное на физических принципах (энергия направленного действия, высокоэнергетические лазеры) [5].

Баллистика ранений относится к изучению снарядов, проникающих в тело человека, с особым вниманием: такие ранения могут включать как пулевые, так и взрывные травмы [149].

Основными факторами, участвующими в образовании огнестрельной раны, являются ударно-волновые процессы, прямое поражающее действие ранящего снаряда, сопровождающееся возникновением энергии бокового удара с последующим вихревым следом.

Свойства снаряда (т. е. пули или осколков, взрывчатого вещества) и поражённой мышечной ткани определяют тяжесть ранения, которая зависит от энергии ранящего снаряда, воздействия ударной волны, а также от свойств пули и её способности к фрагментации.

Огнестрельное ранение может варьироваться от очень тяжёлого (например, с обширным дефектом тканей) до лёгкого (например, незначительная рваная рана).

Своевременность оказания медицинской помощи и клиническое ведение пациента играет чрезвычайно важную роль для определения исходов лечения раненого и функционального восстановления, которое включает первичное и вторичное лечение наряду с долгосрочной реабилитацией (Рисунок 1.1) [153].

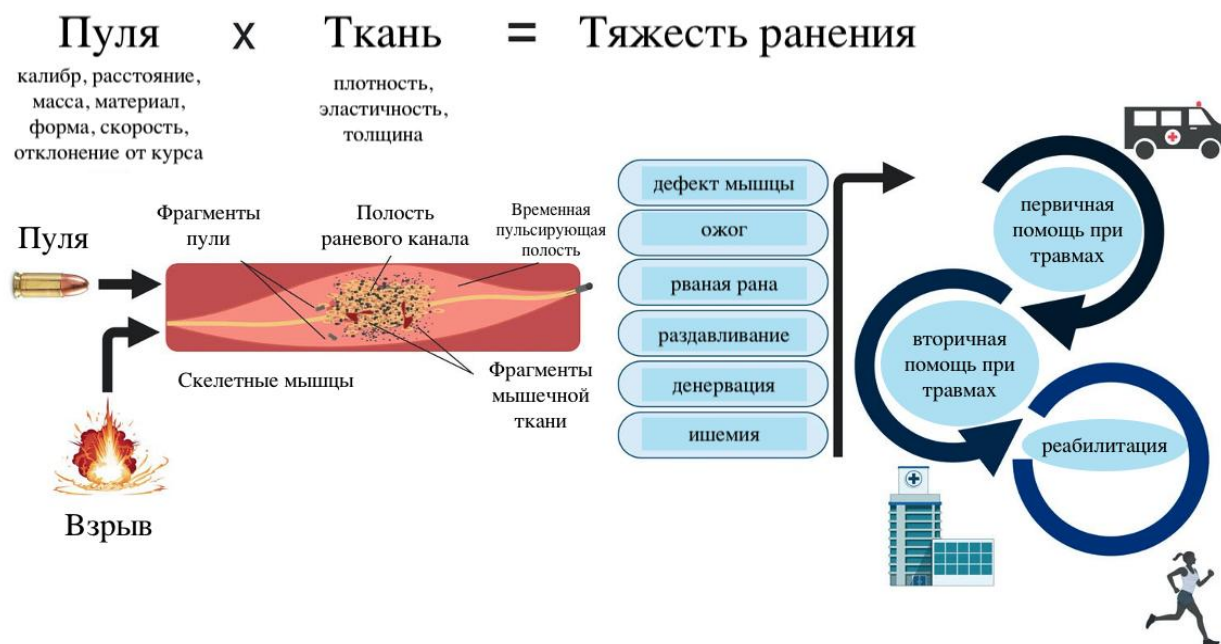


Рисунок 1.1 – Воздействие огнестрельного ранящего снаряда на ткани и этапы лечения [153]

Глубина и площадь огнестрельной раны в значительной степени зависят как от характеристик снаряда (скорость, масса, форма, калибр, материал, отклонение и расстояние удара), так и от параметров поражаемой ткани (плотность, эластичность, толщина) [186].

Т. Gonzalez и соавт. (2020) выделили следующие основные факторы развития патологического каскада в огнестрельной ране [119]:

Общая кинетическая энергия, которой обладает снаряд в момент удара. Выстрелы с большей дистанции и сопутствующим снижением скорости из-за сопротивления воздуха во время полёта будут иметь меньшую передачу энергии, в отличие от огнестрельных выстрелов, производимых с близкого расстояния.

Устойчивость и профиль входа снаряда. При отклонении в 90° (вбок)

достигается максимальная передача энергии. Отклонение имеет тенденцию уменьшаться на больших расстояниях, позволяя пуле поражать цель носом вперёд. Однако при ударе снаряд начнёт раскачиваться, и в тканях может произойти его кувыркание.

Калибр, конструкция и конфигурация пули. Масса снаряда и скорость попадания определяют его потенциальную способность проникать в ткани, в то время как форма и конструкция определяют, насколько сильно повреждена ткань на самом деле [148]. Например, пули большего калибра и снаряды с тупым или полым наконечником приведут к большей передаче энергии и нанесению большего урона.

Глубина и путь, пройденный внутри тела. Пули, которые проникают в ткани, не выходя из тела, передают всю свою заключённую в них кинетическую энергию, в то время как снаряды, которые выходят из тела, передают значительно меньше. Кроме того, чем сильнее деформация при ударе, тем большее количество энергии передаётся ткани [73, 127].

Биологические характеристики поражённых тканей. Снаряды, попадающие в кость, обычно приводят к перелому. Кость плотная, с ограниченной способностью к пластической деформации, что приводит к значительной передаче энергии от снаряда. Кроме того, в отличие от внутренних органов и жировой ткани, соприкосновение с костью часто приводит к фрагментации ранящего снаряда.

Механизм разрушения тканей (растяжение, разрыв, раздавливание). На основе взаимодействий между этими многочисленными факторами будут возникать различные картины повреждения или даже сосуществовать. Неэффективная передача энергии высокоскоростной пулей с минимальной деформацией, которая выходит из тела, может привести к минимальному повреждению. Напротив, полное высвобождение энергии даже низкоскоростным снарядом может нанести обширные, смертельные ранения.

Воздействие ранящего снаряда характеризуется поражающим действием в зависимости от скорости, угла нутации пули и деформации в полёте, которые

делятся на низкоскоростные ($V_0 < 400$ м/с), среднескоростные и высокоскоростные ($V_0 > 700$ м/с). Изменение угла нутации пули и деформации в полёте приводит к увеличению площади поперечного сечения ранящего снаряда, входящего в ткани, возрастанию коэффициента лобового сопротивления и, в результате – увеличению кинетической энергии, передаваемой тканям. Наибольшее значение имеет не масса снаряда, остающаяся постоянной, а его скорость при ударе, которая является важнейшим фактором при учёте общего количества энергии, сообщаемой тканям снарядом. В отношении самого эффекта ранения особенно важное значение имеют быстрота и степень амортизации, то есть истощение энергии снаряда в тканях в определённую единицу времени. Быстрота истощения энергии снаряда (время, в течение которого кинетическая энергия снаряда в тканях иссякает) обратно пропорциональна интенсивности разрушения. Вот почему огнестрельные ранения диафиза бедра с быстрой амортизацией энергии снаряда при встрече его с резистентной структурой толстой кости дают максимальный эффект разрушения, напоминающий взрыв.

Быстрота и степень амортизации энергии движущегося снаряда при поражении тканей получают нередко даже большее значение, чем его величина, вес и скорость. С другой стороны, два снаряда одинакового веса и формы, несмотря на различную скорость, произведут приблизительно одинаковые разрушения, если при прохождении одинаковых тканей они в одинаковой мере потеряют свою энергию [8]. Если большая живая сила снаряда будет амортизирована на коротком пространстве, заканчивающемся слепо, то в конце раневого канала будут иметь место особенно тяжёлые разрушения.

Плотность различных тканей и органов колеблется в сравнительно малом масштабе, причём эти колебания могут быть связаны с изменениями функционального состояния тканей: напряжённая или расслабленная кожа, мышца в состоянии сокращения или расслабления, наполненный или пустой желудок, систола или диастола сердца и т. д. Наивысшее сопротивление оказывает компактная кость. Она же часто бывает и главным амортизатором живой силы снаряда, подвергаясь при этом тяжелейшим разрушениям.

Большое значение для механизма ранения и характера повреждения тканей имеет ударная поверхность снаряда: чем эта поверхность больше, тем больше сопротивление со стороны тканей, тем быстрее идёт амортизация энергии и тем значительнее причиняемые разрушения. Иногда поверхность соприкосновения снаряда с тканями имеет даже большее значение, чем скорость снаряда или его масса.

Если металлический осколок, имеющий вид пластинки, падает на тело широкой стороной, то эффект повреждения будет наибольшим в связи с быстротой амортизации энергии. Если тот же осколок (например, осколок стекла) имеет узкую или острую поражающую поверхность, то он при той же скорости даёт наибольший эффект проникновения при меньшем повреждении самих тканей. Наибольший эффект разрушения несут металлические осколки (минные, артиллерийских снарядов, авиабомб) в связи с огромной живой силой, неровными краями и значительной шириной поражающей поверхности, не говоря о массе, часто превышающей вес и объем пули. Кроме того, осколки снарядов не имеют и вращательного движения, облегчающего проникновение в ткань и несколько удлиняющего время истощения энергии.

Снаряды, сохраняющие свою длинную ось параллельно направлению полёта, дают меньшее повреждение, чем снаряды, рикошетирующие или кувыркающиеся. Сопротивление тканей движению остроконечной пули, интенсивно вращающейся вокруг своей длинной оси, является минимальным. Вот почему пулевые ранения относительно часто бывают не только сквозными, но иногда и малозаметными как у входа, так и у выхода. Пуля при выходе может даже сохранить свою боевую силу [8].

Воздействие ударно-волновых процессов связано с высоким положительным пиком давления (>1000 кПа), при этом время нарастания давления от нуля до максимальной амплитуды составляет менее одной микросекунды, вслед за ударной волной идут волны сжатия, или сдвига, что приводит к формированию «временно пульсирующей полости» [6]. Воздействие энергии бокового удара приводит к смещению мягких тканей в прямом и

радиальных направлениях от раневого канала. Пришедшие в движение участки тканей передают свою энергию периферическим слоям до тех пор, пока сопротивление не остановит их движение. Данные изменения приводят к формированию «временной пульсирующей полости». Между баллистическими параметрами (потерей кинетической энергии ранящего снаряда, объёмом «временной пульсирующей полости») и размерами деструктивных изменений тканей в огнестрельной ране существует прямая связь. Решающей величиной в раневой баллистике является не кинетическая энергия ранящего снаряда при встрече с целью, а та её часть, которая передана тканям.

Пульсации «временной пульсирующей полости», проявляющиеся в периодическом сжатии и растяжении тканей, продуцируют волны давления, которые и формируют так называемый «боковой удар» пули. Они способны вызвать морфофункциональные изменения не только в стенках раневого канала, но и при тяжёлых ранениях, и на удалении за пределами раны, формируя контузионные (дистантные) повреждения органов и тканей, например, тромбоз или даже разрыв кровеносного сосуда [6]. Взрывные волны часто вызывают наиболее разрушительные повреждения из-за множественных эффектов, которые приводят к формированию проникающих, раздавливающих, термических и инфекционных ран.

Что касается скелетных мышц, поражённых снарядом или взрывной травмой, то повреждения наносятся различными путями: рваная рана, ушиб/раздавливание, денервация, сосудистые нарушения (кровоизлияние, ишемия), ожоги. Как первичные огнестрельные, так и взрывные ранения, могут быть усугублены вторичной травмой, которая ещё больше отягощает состояние и прогноз [6, 153]. Раны, нанесённые современными высокоэнергетическими снарядами, отличаются большим объёмом повреждения костной и мягких тканей, что увеличивает сроки заживления ран, требует выполнения реконструктивно-восстановительных операций для замещения мягкотканых дефектов и предопределяет длительные сроки выздоровления.

1.2. Особенности морфологии и раневого процесса

Огнестрельная рана характеризуется сложной формой и контуром, что связано с направлением траектории ранящего снаряда в тканях по причине соударения с костными структурами (первичные девиации) и сокращением тканей после ранения (вторичные девиации).

Огнестрельная рана, в отличие от ран другого происхождения (колотых, резаных, рубленых), имеет следующие особенности [6, 31]:

- сложную конфигурацию раневого канала (первичные и вторичные девиации);
- некротизированные ткани вокруг раневого канала (первичный некроз) и формирование новых очагов некротической ткани в ближайшие часы и дни после ранения (вторичный некроз);
- неравномерную величину некротизированных тканей вокруг раневого канала;
- наличие в ране инородных тел – ранящих снарядов и их фрагментов, металлических и костных осколков, обмундирования и защитного снаряжения;
- первичное микробное загрязнение (контаминация) огнестрельной раны, которое (при отсутствии антимикробной профилактики) в течение 6 часов выходит за её пределы, приводя к развитию раневой инфекции;
- быстрое развитие травматического отёка, ухудшающего перфузию тканей и способствующего развитию инфекционных осложнений.

Кроме того, имеют значение ишемия из-за выраженных нарушений микроциркуляции, избыточный протеолиз вследствие прямого повреждения структур клеток и ишемического повышения проницаемости клеточных мембран, ударно-волновое повреждение субклеточных структур.

В соответствии с морфологическими и функциональными изменениями в пределах раневого канала выделяют три зоны огнестрельной раны, впервые описанные М. Борстом в 1925 г. (Рисунок 1.2) [6].

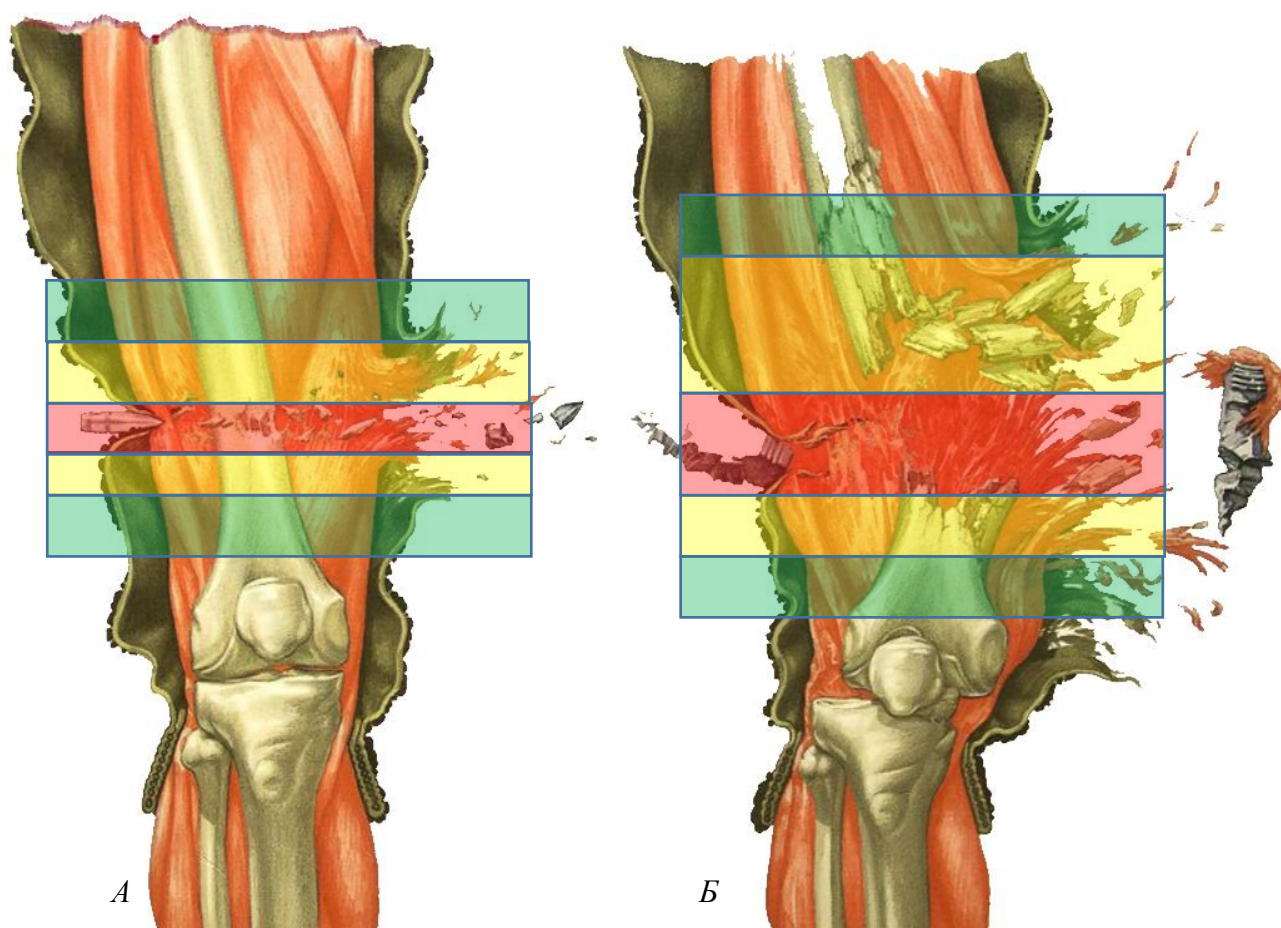


Рисунок 1.2 – Зоны огнестрельной раны при сквозном пулевом (*А*) и осколочном (*Б*) ранении бедра: красным цветом выделена зона раневого дефекта, жёлтым цветом – зона первичного некроза, зелёным цветом – зона вторичного некроза (зона «молекулярного сотрясения» по Н.И. Пирогову) [6]

Зона раневого дефекта формируется после прямого действия ранящего снаряда, представлена извитым раневым каналом, в котором присутствуют раневой детрит, кровяные сгустки, инородные тела, костные осколки. Данная зона служит ориентиром при выполнении первичной хирургической обработки (ПХО) и требует радикального дебридмента с удалением патологического содержимого.

Зона первичного некроза формируется в результате действия всех факторов, приводящих к образованию огнестрельной раны. Для данной зоны характерно наличие тканей, полностью утративших жизнеспособность. При ПХО все патологические ткани должны быть полностью иссечены и удалены.

Зона вторичного некроза («молекулярного сотрясения») образуется в

результате действия энергии бокового удара и образования временной пульсирующей полости и характеризуется мозаичным (неравномерным) характером по выраженности морфологических проявлений, размером, величиной и глубиной расположения от зоны раневого дефекта. Макроскопически отмечаются очаговые кровоизлияния, пониженная кровоточивость, блёклость тканей; микроскопически – нарушение микроциркуляции в виде спазма или паретической дилатации мелких сосудов, стаз форменных элементов, деструкции клеток и внутриклеточных структур [6, 31].

Вышеуказанные особенности в значительной степени нивелируют эффект от компенсаторно-приспособительных реакций, вследствие чего в большинстве случаев заживление протекает по одному из самых неблагоприятных вариантов течения раневого процесса. Прежде всего, это касается резкого травматического отёка, приводящего к закрытию раневого канала и сдавлению окружающих тканей, из-за чего усиливаются их некробиотические изменения. Выраженный травматический отёк, нарушения кровообращения, тканевая гипоксия, большое количество мёртвых тканей и инородных тел при непрременной микробной обсеменённости раны обуславливают более выраженную воспалительную реакцию и нередкое развитие различных форм раневой инфекции.

Давыдовский И.В. (1952) отмечал, что нагноение в огнестрельной ране замедляет процесс её очищения и созревания грануляций: они становятся тусклыми, вялыми, в их поверхностных слоях возникает некроз, а в толще – кровоизлияния и микроабсцессы. Всё это может приводить к возникновению абсцесса и флегмоны, анаэробной инфекции, длительному протеканию раневого процесса с возможным развитием гнойно-резорбтивной лихорадки, раневого истощения и к сепсису [8]. Вайль С.С. (1944) также указывал на развитие так называемого раннего склероза грануляций, который приводит к нарушению эпителизации раны. Огнестрельная рана при естественном течении раневого процесса зачастую заживает путём вторичного натяжения. Однако наличие обширного количества нежизнеспособных тканей и выраженный воспалительный процесс затягивают лечение и приводят к более длительным срокам, чем при

механической травме мирного времени. Заживление вторичным натяжением возможно при сравнительно небольших по площади ранах, радикальной хирургической обработке и правильном консервативном лечении, что приводит к снижению выраженности воспалительной реакции и способствует развитию грануляций [23].

Огнестрельное ранение приводит к травмированию мышечных волокон, вторичной атрофии и повреждению сосудов. Травматическое повреждение миофибрилл приводит к возникновению цепочки событий, включая некроз и воспаление, которые затем активируют клетки-сателлиты, способствующие регенерации мышц. Клетки-сателлиты проходят через хорошо установленный цикл событий, начиная с активации и заканчивая слиянием, которое жёстко контролируется многочисленными факторами транскрипции (например, Pax7, MyoD) [87]. Пациенты, получившие точечные повреждения мышц, имеют высокие шансы на полное выздоровление, поскольку процесс регенерации протекает в нормальном режиме. Напротив, у пациентов с тяжёлой мышечной травмой восстановление будет нарушено из-за обширной потери мышечной ткани и нарушения функции клеток-сателлитов, что препятствует регенерации мышечной ткани с развитием хронического болевого синдрома и фиброзом. Вторичная атрофия и повреждение сосудов также могут способствовать нарушению регенерации мышц за счёт подавления нормальной функции клеток-сателлитов (Рисунок 1.3) [153]. Сразу после ранения развивается некроз повреждённых мышечных волокон, сопровождающийся повышением концентрации внутриклеточного кальция с последующим протеолизом повреждённой ткани [66, 190]. Впоследствии ключевые воспалительные клетки (нейтрофилы) являются первыми клетками, рекрутируемыми в повреждённую ткань (в течение 6 часов после повреждения мышцы) [190].

Затем провоспалительные макрофаги (также называемые макрофагами M1) проникают в повреждённую ткань, достигая максимальной концентрации примерно через 24 часа. Они наиболее распространены в повреждённой области в период от 2 до 4 дней после повреждения, выделяя провоспалительные цитокины

(IL-1, IL-4), способствующие пролиферации клеток-сателлитов, и таким образом – последующему слиянию и регенерации миофибрилл [88, 147].

Общим результатом является значительная зона некроза, которая распространяется за пределы самого места попадания снаряда, главным образом из-за повреждения мембраны волокон скелетных мышц (сарколеммы), что часто связано с большим притоком кальция из внеклеточной среды, и в свою очередь способствует пагубному воздействию на внутримышечный гомеостаз.

Одним из основных последствий для жизнеспособности мышц после огнестрельного ранения является тяжесть механически-термического повреждения и последующей травмы мышечных волокон, которая характеризуется различными стадиями, включая некроз, воспаление и регенерацию мышц.

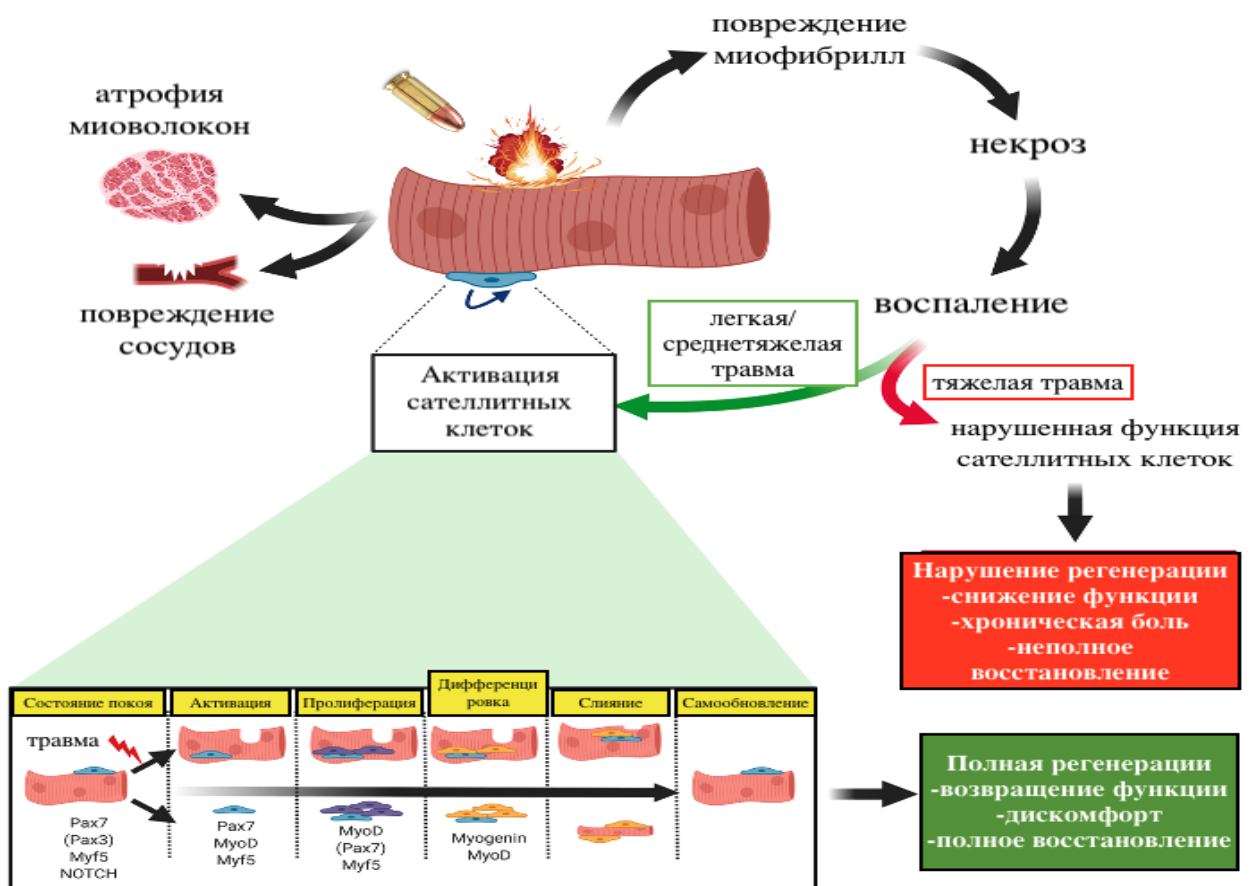


Рисунок 1.3 – Механизм репаративного процесса, направленного на восстановление мышечной ткани [190]

Механотермическая травма мышц характеризуется резким проникновением в мягкие ткани и выделением тепла при трении снаряда, что сопровождается обширными структурными нарушениями и атрофией мышечных волокон, а также повреждением соединительной ткани, нервной сети и сосудистого русла [153].

В нескольких исследованиях использовались модели на животных для непосредственного изучения и характеристики реакции мышц бедра и последующего развития ран после попадания пуль огнестрельного оружия или стальных снарядов.

Сообщалось, что после огнестрельного ранения овец в мышцах задних конечностей наблюдалось немедленное разрушение тканей и ишемия, а затем, через 3 дня, некроз. В ответ на попадание реактивных снарядов ранние данные (в исследованиях как на свиньях, так и на собаках) также показали, что скелетные мышцы характеризуются сильным набуханием волокон, потерей мышечной архитектуры, свёртыванием саркоплазмы и серьёзными метаболическими нарушениями (т. е. повышенными концентрациями лактата и сниженными концентрациями высокоэнергетических фосфатов) [124, 125, 139].

Дальнейшие данные подтвердили, что мышечные нарушения более серьёзны при кровотоке [137] со снижением кровотока и низким содержанием PO_2 [68, 123] в тканях, что подчёркивает важность сосудистой функции для поддержания мышечного гомеостаза и обмена белка.

Таким образом, в совокупности баллистические повреждения мышц могут характеризоваться потерей функции, что подкрепляется некрозом, фиброзом, жировой инфильтрацией и атрофией мышц.

В дополнение к этому возникают сосудистые и нервные нарушения, которые указывают на широкий спектр потенциальных терапевтических мишеней.

К счастью, многие повреждения скелетных мышц при наличии достаточного времени можно обратить вспять с помощью эндогенных восстановительных процессов в организме, которые требуют адекватных иммунных, метаболических и сосудисто-нервных реакций, включающих

активацию клеток-сателлитов для содействия регенерации мышечных волокон.

Одним из основных отягощающих факторов непосредственно после огнестрельного ранения является кровотечение, однако своевременно проведённая интенсивная инфузионная терапия позволяет стабилизировать гемодинамику и улучшить гомеостаз [179].

Ангиогенез имеет решающее значение не только для заживления ран, но и для состояния скелетных мышц, предотвращения мышечной атрофии и поддержания функции сателлитных клеток. Известно не менее 20 ангиогенных факторов роста, которые стимулируют образование новых кровеносных сосудов, предупреждают их чрезмерный рост, улучшают кровообращение и усиливают диффузный обмен кислорода в тканях с ишемией [68, 123].

Исследования показывают, что многие огнестрельные ранения конечностей связаны с травмой сосудов, что приводит к нарушению кровоснабжения как из-за физиологической вазоконстрикции, так и физического нарушения сосудистой сети [72, 153].

Приживление полнослойных лоскутов после реконструктивных операций зависит от выраженности кровоснабжения, при этом большое значение имеют метаболические потребности лоскута, его объём и вариант его васкуляризации. Было показано, что функция ткани хорошо коррелирует с функциональной плотностью капилляров, а терапевтическое воздействие и начало ранней реабилитации могут улучшить показатели кровоснабжения тканей [113].

Зона вторичного некроза в огнестрельной ране развивается в ближайшие часы и дни после ранения, что связано с наличием участков вазоконстрикции, ишемии мягких тканей и серьёзными метаболическими нарушениями, сопровождающимися деструкцией клеток и внутриклеточных структур.

Восстановление кровоснабжения мягких тканей и предотвращение прогрессирования зон вторичного некроза, улучшение клеточного метаболизма и усиление репаративного процесса могут быть достигнуты путём применения методов терапевтического воздействия на огнестрельную рану.

1.3. Классификация и оценка состояния огнестрельных ран

Известно множество классификаций ран, основанных на разных критериях. Так, при воздействии огнестрельного оружия возникают огнестрельные раны, при воздействии холодного оружия – колотые, резаные, колото-резаные, рубленые раны, которые бывают одиночными или множественными. При воздействии других повреждающих факторов возникают рваные, ушибленные, рвано-ушибленные, скальпированные раны. По длительности существования раневого процесса различают острые и хронические раны. Выделяют также термические и химические раны, образующиеся как результат воздействия тепла, холода, кислот, щелочей, трофические язвы кожи, возникающие вследствие локальных нарушений питания. Раны, локализующиеся в пределах одной анатомической области, принято называть изолированными, а располагающиеся в нескольких анатомических областях – сочетанными [5, 28].

Повреждения мягких тканей подразделяют на ограниченные и обширные (более 5 см²), в том числе с травматической отслойкой кожно-фасциальных лоскутов, которые требуют замещения дефекта тканей с помощью реконструктивно-пластического лечения [31].

По тяжести полученных повреждений раны разделяют на лёгкие, средней тяжести, тяжёлые и крайне тяжёлые. Объективность оценки достигается использованием количественных критериев тяжести путём присвоения каждому повреждению определённого балла в соответствии с оценочными шкалами кафедры военно-полевой хирургии для огнестрельных ранений (ВПХ-П (ОР)) Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова, где лёгкому ранению соответствует диапазон 0,05–0,4 балла, средней тяжести – 0,5–0,9 балла, тяжёлому – 1,0–12,0 балла и крайне тяжёлому – более 12 баллов (Приложение А).

Ассоциация остеосинтеза разработала анатомическую классификацию, включающую оценку кожного покрова, мышечно-сухожильной и нейрососудистой систем [167].

Простую систему классификации для быстрой сортировки боевых ранений,

особенно огнестрельных, разработал R.M. Coupland [96]. Данная классификация широко применяется в госпиталях Международного Красного Креста. Основные особенности этой системы – оценка входного и выходного отверстий раны, наличия в ране металлических тел, полости раны, особенностей перелома и любых повреждений жизненно важных органов. Эта классификация важна с точки зрения учёта входящего потока раненых, но она не применима для лечения ран [184].

На сегодняшний день отсутствует единая классификация огнестрельных ран, учитывающая характер повреждений мягких тканей, размер раневого дефекта и тактику лечения при боевой хирургической травме. Клиницисты опираются на объективную оценку состояния мягких тканей, морфологические особенности огнестрельной раны и дополнительные методы оценки раны.

В настоящее время имеется множество методов, которые позволяют производить расчёт площади раны и её размеров с определением структурных элементов. Для расчёта площади раны используют измерительные приспособления методом взвешивания шаблонов, а также методы ручного и автоматического подсчётов. Существенным недостатком данных методик является необходимость использования образцов однородной бумаги, плёнок, планиметров, точных весов и контакта с раневой поверхностью, что значительно затрудняет их использование с учётом необходимости соблюдения асептики и антисептики [16].

Следующим этапом стала разработка методов бесконтактного измерения параметров раны с использованием фото- и видеоаппаратуры. Среди прочих выделяют способы ручного бесконтактного подсчёта, цифрового и аналогового фотографирования, цифрового сканирования (методы двухмерного сканирования), волюмометрические методы, методы и технологии трёхмерного сканирования дефектов покровных тканей, методы «структурного подсвечивания» и др. [16]. Однако существенными недостатками вышеуказанных методов являются необходимость наличия специального оборудования и специального обучения персонала, длительность получения результатов,

дороговизна, сложность.

Существуют программы ЭВМ для определения площади «Wound Desk» и «Lesion Meter», а также методика оценки и динамики морфологических изменений раны с применением компьютерной программы «Wound Analyser». Однако явным недостатком «Wound Desk» и «Lesion Meter» является вычисление только площади, а «Wound Analyser» требует обязательного использования Интернет-соединения, применения искусственного интеллекта (на базе удалённого сервера), соблюдения специфических условий выполнения цифрового снимка, связи с зарубежным производителем и приобретения лицензии [116].

Указанные недостатки были устранены группой авторов, которые разработали программу «АналиРан» для ЭВМ, позволяющую производить расчёт размеров раны и её структурных элементов [2, 16, 19]. Данная программа позволяет выполнять анализ цифрового изображения без необходимости использования Интернет-соединения, фиксируя результат в своей базе с последующим анализом выборки динамики лечения ран различной этиологии.

Группой авторов произведена оценка лечения инфекционных осложнений у пациентов с синдромом диабетической стопы с учётом применения методики компьютерной планиметрии «АналиРан». Было установлено, что российская программа «АналиРан» объективизирует динамику относительной площади грануляций, некроза, фибрина и эпителия в ране, позволяет определить стадию раневого процесса, спланировать тактику дальнейшего лечения [19].

Объективная оценка раны и раневого процесса является основополагающей при принятии решений относительно тактики лечения, а также признаков ухудшения, требующих дополнительных вмешательств. Увеличение затрат на лечение ран объясняется вариабельностью оценки их состояния и несовершенством документации. Использование стандартизированного инструмента оценки состояния раны помогает клиницистам оценивать характеристики раны систематическим и последовательным образом.

В начале 1990-х годов компания «Bates–Jensen» [76] разработала инструмент для определения состояния пролежней (Pressure Sore Status Tool),

который был протестирован медицинскими работниками, работающими в учреждениях длительного ухода, и разрабатывался в 3 этапа. Авторы рассмотрели и проанализировали 23 системы классификации и стадирования, чтобы описать область воспалённого дефекта кожного покрова. В результате этого процесса было получено 15 показателей, предназначенных для оценки формы, расположения, размера, глубины, краёв, типа некротической ткани, количества некротизированной, грануляционной и эпителизирующейся ткани, типа и количества экссудата, цвета окружающей кожи, отёка и уплотнения. Два элемента, описывающие форму и местоположение, не имели числовой оценки, но остальные 13 характеристик были оценены с использованием модифицированной шкалы Лайкерта, измеряющей положительную или отрицательную реакцию на утверждение. Оценка в 1 балл указывала на наиболее полезный балл для каждой характеристики, а оценка в 5 баллов – на наиболее вредный для здоровья.

В исследовании использовали также модифицированную методику Дельфи, представляющую собой структурированный процесс получения экспертных мнений и отзывов по конкретной теме или проблеме. За несколькими раундами анонимных опросов следуют контролируемая обратная связь и анализ до тех пор, пока не будет достигнут консенсус или удовлетворительный диапазон мнений. Результаты исследования Дельфи были использованы для пересмотра пунктов, формата и оценки инструмента для определения состояния пролежней [77].

В 2001 г. Pressure Sore Status Tool был пересмотрен и переименован в «инструмент оценки ран Бейтс–Дженсен» [188], который широко используют для оценки состояния ран, вызванных различными причинами, во время первичного обследования и в динамике при изменениях состояния раны (Приложение Б). Шкала является проверенным и надежным методом документальной оценки состояния ран и может помочь установить контрольные показатели для заживления ран различной этиологии [78, 164].

Поскольку определение размеров огнестрельной раны и состояния выполняющих её тканей имеет важнейшее значение для выбора лечебной тактики, объективные критерии для таких оценок крайне необходимы. Весьма

перспективными в этом плане являются российская программа «АналиРан» и шкала Бейтс–Дженсен, однако они предназначены для оценки ран различного происхождения, без учёта специфики огнестрельных повреждений.

1.4. Методы лечения

В современном военном конфликте в структуре санитарных потерь преобладают ранения конечностей, которые составляют абсолютное большинство боевых хирургических травм [44]. Раны, нанесённые современными высокоэнергетическими ранящими снарядами, отличаются большим объёмом повреждения кости и мягких тканей, что предопределяет длительные сроки выздоровления [9, 31, 52, 100].

Для успешного восстановления анатомии и функции повреждённого сегмента необходимо провести как можно более быструю санацию огнестрельной раны, основой которой служит хирургическая обработка. Вторым этапом осуществляют выполнение реконструктивных операций [9, 57]. Некоторые пулевые ранения низкой скорости (травмы лёгкой степени тяжести) могут заживать только за счёт эндогенных механизмов, без какого-либо реконструктивного хирургического вмешательства, приводя к функциональному восстановлению при соблюдении стандартных принципов лечения огнестрельных ран [23, 91, 101, 153].

Однако обширные дефекты мягких тканей с потерей мышечной массы, превышающие внутренние возможности организма, приводят к необратимым нарушениям функции конечностей. Следовательно, когда травмы имеют высокоэнергетический характер и приводят к тяжелому массивному повреждению тканей, часто необходимы хирургические вмешательства, которые включают не только хирургическую обработку, но и реконструктивные операции с применением методик кожно-мышечной пластики [72].

Известно, что травмы, полученные высокоскоростными ранящими снарядами, сопровождаются высоким уровнем инфицирования [126].

Стандартные рекомендации по лечению таких травм включают широкую и тщательную обработку раны с удалением инородных тел, стабилизацию перелома и введение антибиотиков внутривенно в течение 48–72 часов [85].

В соответствии с общими принципами хирургии основные оперативные вмешательства при боевой хирургической травме должны быть направлены на устранение повреждений различных органов и тканей. Золотым стандартом лечения является комплекс специальных хирургических мероприятий, направленных на устранение особенностей огнестрельной раны (первичного и вторичного некроза, микробного загрязнения), который обозначается термином «хирургическая обработка раны» [31, 148, 172]. Хирургическая обработка огнестрельной раны – это операция, целью которой является предупреждение либо лечение инфекционных осложнений и создание благоприятных условий для заживления раны.

Огнестрельные ранения конечностей, сопровождающиеся переломами костей, в соответствии с принципами «Damage control orthopaedics» стабилизируют в аппаратах внешней фиксации, что даёт возможность провести эвакуацию пострадавшего, обеспечить возможность закрытия раневого дефекта и на ранней стадии перейти к внутренней или внешней фиксации как окончательному методу лечения перелома [75, 81, 99, 174].

Выделяют первичную хирургическую обработку, направленную на профилактику развития раневой инфекции, и вторичную, направленную на лечение инфекционных осложнений. В случае появления обстоятельств, приводящих к удлинению сроков лечения огнестрельного ранения (оставление в ране инородных тел и некротизированных тканей, формирование новых очагов некроза, прогрессирование раневой инфекции), хирургическая обработка может повторяться (повторная первичная или повторная вторичная хирургическая обработка). В период локальных вооружённых конфликтов и интенсивных боевых действий хирургическая обработка может быть ранней (в течение 1-х суток), отсроченной (2-е сутки) и поздней (3-и сутки и позже) [31, 99, 120, 148].

Предупреждение прогрессирования раневой инфекции может быть

достигнуто за счёт:

- рассечения входного и выходного отверстий;
- фасциотомии для устранения ишемии тканей вследствие травматического отёка, удаления инородных тел (промывание ран с помощью методов пульсирующей струи и ультразвуковой кавитации);
- радикального дебридмента огнестрельной раны (удаление нежизнеспособных тканей);
- остановки кровотечения;
- дренирования раны (пассивное дренирование через широкую однопросветную или двухпросветную трубку, приливно-отливное дренирование, вакуумное дренирование раны);
- проведения антибактериальной терапии;
- применения методов физического воздействия, направленных на стимуляцию репаративного процесса (лазерная терапия), и ортобиологии (фибриновый клей, обогащённый тромбоцитами, гидрогели, биомиметики внеклеточного матрикса и др.) [2, 5, 31, 33, 40, 48, 159, 183].

Выполнение ПХО показано в случаях обширных повреждений мягких тканей с наличием зон некроза, диагностируемого компартмент-синдрома, наличия ранений, проникающих в сустав, повреждения сосудисто-нервных образований. Отсутствие адекватно выполненной ПХО неизбежно ведёт к формированию более обширных зон вторичного некроза, нагноению раны и развитию раневой инфекции.

Объём некрэктомии мышечной ткани возможно определить с помощью правила «четырёх С» (color, consistency, contractility, and capacity), а именно определить цвет, консистенцию, сократимость и способность кровоточить.

В целях уменьшения вероятности развития инфекционных осложнений и улучшения заживления раны следует соблюдать принципы хирургической обработки огнестрельной раны – удаление некротизированных тканей и инородных тел для снижения патологических явлений в зоне вторичного некроза, уменьшение выраженности ишемии тканей, дренирование раны, стабилизация

огнестрельного перелома костей конечностей, тщательное промывание ран растворами антисептиков, ведение огнестрельной раны без ушивания при обширных дефектах тканей с наложением асептических повязок.

Наложение первичного шва считают допустимым лишь в виде исключения при лечении ран лица и волосистой части головы, мошонки, полового члена, закрытии полостей организма при проникающих ранениях.

Жизнеспособными тканями укрывают магистральные кровеносные сосуды, нервы, кости и сухожилия. Швы накладывают также на раны, нанесённые в качестве дополнительных доступов к повреждённым структурам [31, 120, 148].

Наиболее частыми ошибками при выполнении ПХО огнестрельных ран считают:

- необоснованное иссечение жизнеспособного кожного покрова;
- неполноценную ревизию раны с оставлением в ней раневого детрита и инородных тел (отсутствие полноценной фасциотомии при наличии показаний для её выполнения);
- продолжающееся кровотечение с образованием внутритканевых гематом;
- неадекватное дренирование раны (тугая тампонада ран марлевыми повязкам может мешать оттоку раневого отделяемого);
- наложение первичного шва огнестрельной раны (за исключением случаев, где ушивание показано);
- сохранение интраоперационного болевого синдрома;
- выполнение хирургической обработки при обширных дефектах мягких тканей с наличием постгеморрагической анемии [5, 31].

При необходимости выполнения реконструктивных вмешательств как завершающего этапа лечения такие операции должны быть выполнены как можно раньше, что является определяющим элементом в достижении успеха и возвращении раненого в строй. Поэтому интенсивная подготовка огнестрельной раны к реконструктивному этапу крайне важна.

Эффективным средством является методика вакуумного дренирования. Её положительный эффект обусловлен защитой раны от внешней среды, что

предотвращает вторичное инфицирование, активным удалением раневого отделяемого, созданием оптимальной для пролиферации кератиноцитов и фибробластов влажной раневой среды, ускорением пролиферации сосудов, усилением локальной гемодинамики, уменьшением интерстициального отёка, сокращением площади и объёма раны благодаря сближению её стенок под воздействием постоянного отрицательного давления, повышением концентрации и эффекта медикаментозного лечения за счёт усиления местного крово- и лимфообращения в тканях [5, 8, 44]. Вместе с тем эта методика не лишена определённых недостатков: сохраняется риск развития раневой инфекции при применении вакуум-терапии (до 8%); нарушение работы аппаратов вакуум-терапии (до 10%) приводит к появлению раневой инфекции; при применении в реципиентной зоне после пластического замещения расщеплённым аутодермотрансплантатом увеличивается риск развития некроза (до 58%); болевой синдром при применении вакуум-повязки требует приёма анальгетиков (до 16%); отмечены случаи возникновения кровотечения (до 10%) [47, 89, 92, 181].

Для реконструктивно-пластического замещения обширных (свыше 5 см²) дефектов мягких тканей используют несвободную пластику (аутокрани на питающей ножке), свободную пластику полнослойным лоскутом, а также замещение кожного дефекта расщеплённым аутодермотрансплантатом. Несвободное пластическое замещение на питающей ножке предусматривает связь выкроенного тканевого лоскута с исходным ложем.

Свободная пластика – это пересадка тканей, полностью отделённых от донорской зоны. Расщеплённый с помощью перфоратора аутодермотрансплантат используют с целью закрытия поверхностных дефектов мягких тканей. Для его приживания достаточно питательных веществ с раневой поверхности, а в питающих сосудах нет необходимости.

Предложено большое количество самых разнообразных способов аутопластики с использованием разных типов лоскутов: осевых, фасциально-кожных, мышечных или мышечно-кожных [189]. Выбор варианта закрытия

дефекта зависит от таких параметров, как общее состояние раненого, размер, глубина и расположение раневого дефекта, наличие неповреждённых магистральных сосудов рядом с дефектом мягких тканей, наличие сочетанного характера ранения. Немаловажное значение имеют расположение раневого дефекта, тонкая кожа (дефицит подкожно-жировой клетчатки), физиологические зоны нагрузки, подкожное расположение плотных и подвижных анатомических структур (костная ткань, сустава, связки, сухожилия).

С учётом вышеуказанных параметров закрытие дефекта мягких тканей первичным или вторичным швом, пластическим замещением местными тканями или расщеплённым перфорированным аутодермотрансплантатом в ряде случаев не представляется возможным, и требуется использование методов свободного или несвободного пластического замещения [190]. По данным литературы процент некрозов при пластическом замещении в лечении боевой травмы конечностей составляет 9,7–12%, а осложнения при перемещении мышечных или кожно-фасциальных лоскутов существенно не отличаются [142, 151].

Таким образом, подготовка обширной раны с вовлечением костных структур к реконструктивным операциям представляет сложный процесс, требующий комплексного персонифицированного подхода. Использование такого распространённого дополнительного средства воздействия на рану, как вакуум-терапия, имеет ряд осложнений, связанных прежде всего с сохраняющимся риском развития раневой инфекции, и не обеспечивает в короткие сроки равномерного очищения сложной раневой поверхности, снижения микробной обсеменённости, равномерности репаративных процессов.

Осложнения после выполненного реконструктивно-пластического замещения дефектов мягких тканей огнестрельных ран конечностей составляют до 12%, что связано как с недостатками подготовки раны к реконструктивному этапу, так и с отсутствием методик объективной оценки её степени готовности к пластическим операциям.

1.5. Применение лазерного излучения в клинической практике

Интерес человечества к свету и его свойствам был во все времена. Воздействие солнечного света на здоровье человека, использование его в процессе лечения заболеваний и ранений были известны ещё в древние времена. О положительном влиянии света можно найти упоминания в трудах Геродота и Гиппократов. Авиценна в своём произведении «Канон врачебной науки» рассматривал свет как важный элемент диагностики и терапии. В 1878 г. американец Эдвин Д. Баббит выпустил книгу «Принципы света и цвета», в которой затрагивается возможность использования света в хирургических и терапевтических целях. В 1903 г. датский учёный Нильс Рюберг Финзен получил Нобелевскую премию за изучение действия ультрафиолетового излучения на организм человека. Он продемонстрировал лечебное действие излучения при туберкулёзе и нагноении при заболевании оспой [7, 15, 21, 32, 58].

В своей современной форме световое излучение появилось после изобретения лазера в 1960 г., который и в настоящее время широко применяется в медицине [104, 132, 143]. С 1974 г. в России лазерная терапия входит в стандарт государственной медицинской помощи, проведено большое число исследований и опубликовано множество научных трудов. Биостимулирующее действие лазерного излучения было отмечено в том числе и в публикациях, посвящённых лечению длительно незаживающих ран и трофических язв [33–35].

Стоит отметить, что наиболее часто применяется лазер низкой интенсивности. Низкоуровневым воздействием считают лазерное излучение в диапазоне от видимого до ближнего инфракрасного спектра (390–1100 нм). Это излучение не выделяет тепла [156] и обеспечивает фотохимический эффект [141], что обуславливает широкий спектр его применения [177].

Низкоинтенсивное лазерное излучение (НИЛИ) хорошо изучено и применяется на протяжении многих лет как метод для лечения многих заболеваний в различных областях медицины [115, 134, 168, 180, 187].

Наиболее широкое применение метод лазерной терапии нашёл в России, где

использовался эффект НИЛИ в виде биомодуляции или биостимуляции.

Биологическое воздействие НИЛИ имеет три точки приложения: купирование воспаления и отёка [70]; стимуляция регенерации поверхностных и глубоких ран мягких тканей [118, 143]; лечение неврологических расстройств и болевого синдрома [177].

В отличие от лазеров высокой мощности, НИЛИ обеспечивает энергию, не повреждающую мягкие ткани, но достаточную для стимуляции регенеративных процессов.

В зависимости от длины волны лазер способен изменять клеточную функцию при отсутствии нагревания и последующего разрушающего термического воздействия [156, 171, 177].

Установлено, что лечение с применением НИЛИ оказывает стимулирующее действие на клеточном уровне [144]. На основании исследований красного или ближнего инфракрасного светового облучения сделан вывод о возможности предотвращения апоптоза клеток [67, 82], стимулирования митохондриальной активности и деления клеток [145]. Кожа человека является самым большим органом [30]. Обладая особыми свойствами, она по-разному может взаимодействовать с лазерным излучением: пропускать, отражать, рассеивать и поглощать [138]. Характер действия на ткани в первую очередь определяется количеством энергии, попавшей в направленную область [32].

Поглощённая энергия излучения в биологических тканях преобразуется в тепло [111, 150, 152–157, 159, 176]. Для осуществления фотобиологического эффекта необходимо поглощение фотонов лазерного излучения [175].

Эндогенные или экзогенные хромофоры являются исходными фотоакцепторными молекулами [83]. Основными хромофорами кожного покрова являются вода, гемоглобин и меланин [128, 177]. С увеличением длины волны до инфракрасного диапазона увеличивается и проникновение лазерного излучения в биологические ткани [41, 162].

Данные отечественных и зарубежных исследований доказывают большой перечень лечебного действия НИЛИ (Приложение Г), определяемого такими

эффектами, как активация микроциркуляции [3, 54, 131, 136, 144, 185], иммуномодулирующее и противовоспалительное действие [20, 71, 108, 121, 140, 142, 158, 185], обезбоживание [59, 70, 71, 74, 106, 110–112, 136, 146, 152, 169, 170, 189], активация пролиферации и регенерации тканей [26, 53, 60, 71, 94, 105, 109, 114, 182], разноплановое воздействие на нервную ткань, в том числе рефлекторное [1, 10, 11, 36, 49, 51, 55, 56, 69, 165, 166].

На основании обширных научных трудов была определена единая последовательность развития биологических и терапевтических эффектов в результате применения НИЛИ (Рисунок 1.4) [33, 34]. Применение НИЛИ в зависимости от заданных параметров нашло своё отражение во многих сферах медицины, что подтверждается многочисленными публикациями (Приложение В).

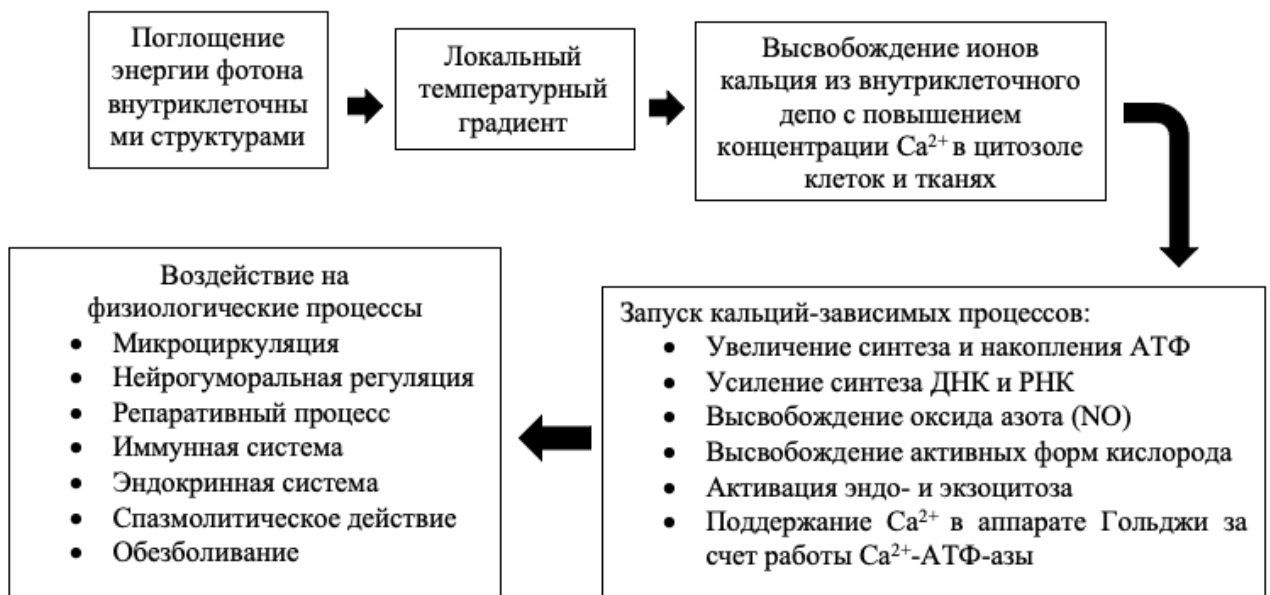


Рисунок 1.4 – Биологический эффект воздействия низкоинтенсивного лазерного излучения [33, 34]

Поглощение лазерного излучения зависит от взаимодействия с различными хромофорами – эндогенными соединениями, которые поглощают определенные длины волн. Вода, меланин и гемоглобин являются тремя основными эндогенными кожными хромофорами [103].

Более того, рассеяние лазера в биологической ткани определяет интенсивность световой энергии. Количество рассеиваемой энергии лазера обратно пропорционально длине волны.

Проникновение лазерного излучения в биологическую ткань увеличивается с увеличением длины волны вплоть до среднего инфракрасного диапазона, где вода, присутствующая в тканях, поглощает большую часть энергии лазерного излучения (Рисунок 1.5) [103].

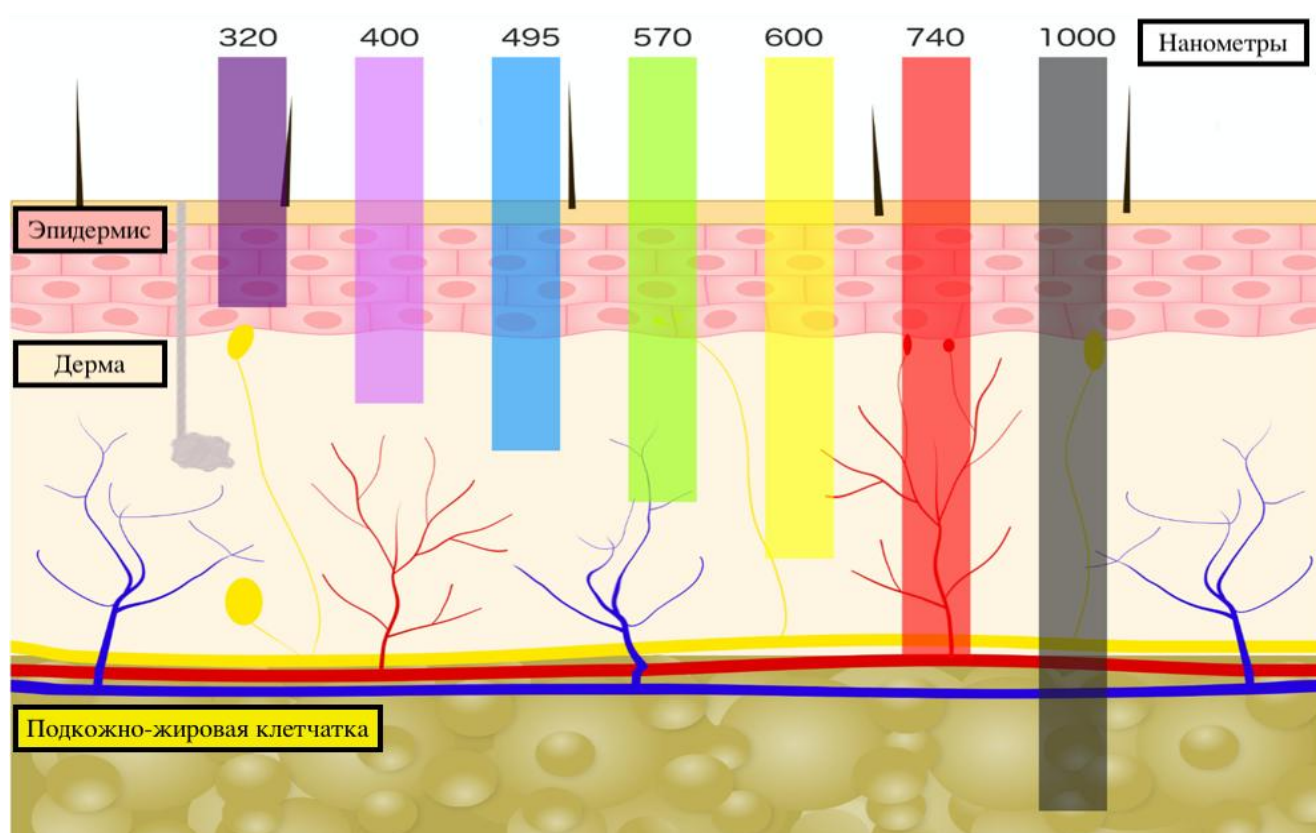


Рисунок 1.5 – Проникновение света с различными длинами волн. По порядку слева направо: ультрафиолетовые лучи средневолновые, ультрафиолетовые лучи длинноволновые, синий свет, зелёный свет, жёлтый свет, красный свет, инфракрасный свет [103]

Для обработки огнестрельных ран, с учётом их особенностей (извитой ход и протяжённость раневого канала, находящегося на разной глубине, обширность раневого дефекта), наибольший интерес в инфракрасном излучении представляет диапазон от 740 до 1000 нм, имеющий наиболее глубокое проникновение в ткани.

Сведения, содержащиеся в публикациях, доказывают положительное

действие НИЛИ на биологические ткани, что обуславливает возможность его применения при боевой хирургической травме, а именно при лечении огнестрельных ранений конечностей с переломами костей. Так, при переломе бедренной кости применение лазера низкой интенсивности позволяет снизить воспалительный процесс, улучшить формирование костного матрикса, что способствует более интенсивному образованию костной мозоли [107]. Низкоинтенсивное лазерное излучение оказывает стимулирующее воздействие на фибро- и остеобласты [80], применяется как метод для ускорения регенерации костной ткани [86, 93, 95, 97, 122, 129, 133, 161]. Консолидация перелома большеберцовой кости после применения лазера с длиной волны 808 нм происходит гораздо быстрее [98]. Изучение влияния импульсного диодного лазера с длиной волны 940 нм на пролиферацию остеобластов показывает положительное влияние на рост клеток, активизируя их пролиферацию [102, 173].

Основываясь на данных исследований, можно сделать вывод, что лазерное воздействие в инфракрасном диапазоне оказывает биостимулирующее действие на костную ткань [12, 22, 37, 62, 84, 103, 130]. Примечательно, что при облучении мягких тканей лазером низкой интенсивности в инфракрасном диапазоне происходит индукция биологических эффектов, например, клеточной пролиферации, синтеза коллагена, высвобождения факторов роста из клетки, что значительно ускоряет процесс заживления хирургических ран [79, 103, 178]. Кроме того, терапия лазером влияет на скорость образования новых кровеносных сосудов – ангиогенеза. Этот процесс определяется факторами роста эндотелия, после выделения которых происходит пролиферация и миграция клеток, выстилающих внутренние стенки сосудов, вследствие чего образуются новые капиллярные сети [185].

Лазеры низкой интенсивности безопасны – они не оказывают разрушающего, токсического или аллергического воздействия, просты в применении, благодаря чему получили широкое распространение во многих сферах медицины [135]. Лазеры имеют широкий спектр применения в медицине, особенно где требуется стимуляция заживления, и способствуют уменьшению

апоптоза клеток и некроза тканей.

До сих пор ведутся споры о том, какие длины волн лазерного излучения и/или их комбинации приносят наилучшие результаты [70]. Доказано, что низкоинтенсивная лазерная терапия в инфракрасном диапазоне с длиной волны от 740 до 1000 нм улучшает клеточную пролиферацию, синтез коллагена, увеличивает скорость образования новых кровеносных сосудов, оказывает биостимулирующее действие на костную ткань.

Большой интерес представляет исследование возможности применения лазерной терапии в комплексном лечении огнестрельных ранений конечностей, однако такие публикации носят единичный характер.

На базе военного госпиталя в Чеченской Республике было проведено лечение пациентов с огнестрельными ранениями конечностей, которые подвергли лазерному излучению в инфракрасном диапазоне с длиной волны 890 нм. Авторами отмечено купирование болевого синдрома, уменьшение инфильтрации тканей и площади раневого дефекта [17].

Таким образом, несмотря на множество публикаций по использованию НИЛИ в разных областях медицины и травматологии, применение лазерного излучения при лечении огнестрельных ран конечностей не нашло достаточного отражения. В доступной литературе отсутствуют убедительные доказательства целесообразности применения такого воздействия для данного контингента пациентов.

Вместе с тем большое число неудовлетворительных результатов лечения раненых с огнестрельными ранениями конечностей обусловили актуальность поиска повышения эффективности методик комплексного решения данной проблемы, чему посвящено данное исследование.

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Дизайн исследования

В исследование были включены пациенты с огнестрельными осколочными ранениями конечностей, проходившие стационарное лечение в ЦТиО ФГБУ «ГВКГ им. Н.Н.Бурденко» Минобороны России с марта 2022 по ноябрь 2023 гг.

Критерии включения: изолированное огнестрельное ранение конечности с площадью дефекта мягких тканей не менее 80 см², давностью не более 7 суток; тяжесть общего состояния раненого по шкале ВПХ-П (ОР) не более 12 баллов; возможность наблюдения пациента до момента заживления раны; информированное согласие пациента на участие в исследовании.

Критерии невключения: стандартные противопоказания для применения запланированных лечебных методик – вакуумной терапии и лазерного облучения раны [4, 24, 33, 35, 65]; сопутствующие повреждения и их осложнения, диктующие необходимость изменения плана лечения раны; психическая или характерологическая неспособность пациента к активному осознанному сотрудничеству.

Критерии исключения: развившиеся в процессе наблюдения общие и местные осложнения (патология грудной и брюшной полости, последствия черепно-мозговой травмы, сепсис, гангрена, пролежни, остеомиелит, артериальный тромбоз и др.), существенно изменившие план лечения; отказ пациента от дальнейшего участия в исследовании или грубое нарушение им предписанного режима лечения.

При отборе пациентов для включения в исследование ограничений по тяжёлой декомпенсированной хронической соматической или психической патологии не было, так как все наши пациенты были военнослужащими, признанными годными к несению строевой военной службы. Ограничения могли быть связаны только с патологическими состояниями, развившимися в результате полученного ранения.

Исследование было одноцентровым проспективным контролируемым, и проведено в два этапа.

На первом этапе было проведено тестирование программы «АналиРан», предназначенной для оценки площади раны и состояния её тканей. Мы адаптировали эту программу для исследования огнестрельных ран и верифицировали полученные оценки с помощью гистологического исследования биопсийного материала, определив точность и чувствительность этой программы в отношении огнестрельных поражений, а также достоверности и специфичности оценки различных тканей раны (грануляционной, фибрина, некротической).

Всего было исследовано 134 образца тканей у 30 пациентов. На основании анализа полученных результатов был разработан алгоритм, определяющий степень готовности раны к выполнению реконструктивного этапа – пластическому закрытию раневого дефекта.

На втором этапе для участия в исследовании в соответствии с критериями включения было отобрано 70 пациентов, в процессе лечения выбыло 6 человек: в 2 случаях у пациентов развились общие осложнения, не имеющие отношения к раневому процессу (свернувшийся гемоторакс и острая кишечная непроходимость), а в 4 случаях пациенты были переведены в филиалы госпиталя, по медико-тактической обстановке.

Таким образом, окончательному анализу были подвергнуты результаты лечения 64 пациентов.

Конечной точкой наблюдения было заживление раны, промежуточной точкой – выполнение реконструктивного хирургического вмешательства (пластическое замещение раны расщеплённым аутодермотрансплантатом или полнослойным лоскутом).

Основной гипотезой, подтверждения которой ожидали на втором этапе исследования, было повышение эффективности подготовки огнестрельных ран конечностей к реконструктивному этапу хирургического лечения за счет включения в комплекс проводимого лечения обработки раны с помощью узкополосного лазерного излучения.

Все пациенты были разделены на две группы: группу контроля (n=33), где в качестве дополнительного физического метода воздействия применяли вакуум-терапию по традиционной методике в режиме постоянной аспирации, с уровнем отрицательного давления 120 мм рт. ст., и основную группу (n=31), где вакуум-терапию сочетали с обработкой раны узкополосным лазерным излучением с длиной волны 980 нм по разработанной нами методике.

При отборе пациентов мы учитывали описанные в литературе противопоказания к применению указанных физических факторов воздействия (Таблица 2.1), и при выявлении этих противопоказаний не включали таких раненых в исследование.

Таблица 2.1 – Противопоказания к применению физических методов лечения [4, 24, 33, 35, 65]

| Вакуум-терапия | Лазерное облучение раны |
|---|---|
| <p>Раны, развившиеся на фоне критической ишемии тканей.</p> <p>Воздействие отрицательного давления на магистральные сосуды (лечение может начинаться после того, как сосуд будет прикрыт мягкими тканями).</p> <p>Неадекватная первичная хирургическая обработка раны с оставлением некротических тканей.</p> <p>Наличие некомпенсированной коагулопатии или кровотечения в ране.</p> <p>Аллергия на какой-либо компонент, необходимый для этой процедуры</p> | <p>Геморрагический синдром.</p> <p>Гипертермический синдром (температура тела больного выше 38°C).</p> <p>Синдром системной (сердечной, сосудистой, дыхательной, почечной и печёночной) и полиорганной (общее тяжёлое состояние больного) недостаточности.</p> <p>Кахектический синдром (резкое общее истощение).</p> <p>Эпилептический синдром.</p> <p>Истерический синдром.</p> <p>Судорожный синдром</p> |

Данное исследование было одобрено Независимым этическим комитетом при ФГБУ «ГВКГ им. Н.Н.Бурденко» Минобороны России.

Все раненые были информированы о цели, задачах и плане проведения исследования и подписали информированное согласие до его начала.

2.2. Общая характеристика пациентов

В общей когорте все раненые ($n=64$) были мужского пола в возрасте от 21 до 50 лет, средний возраст составил $30,7 \pm 5,8$ года (Рисунок 2.1).

В основной группе средний возраст составил 29,6 года, в группе контроля – 31,7 года ($p > 0,05$).

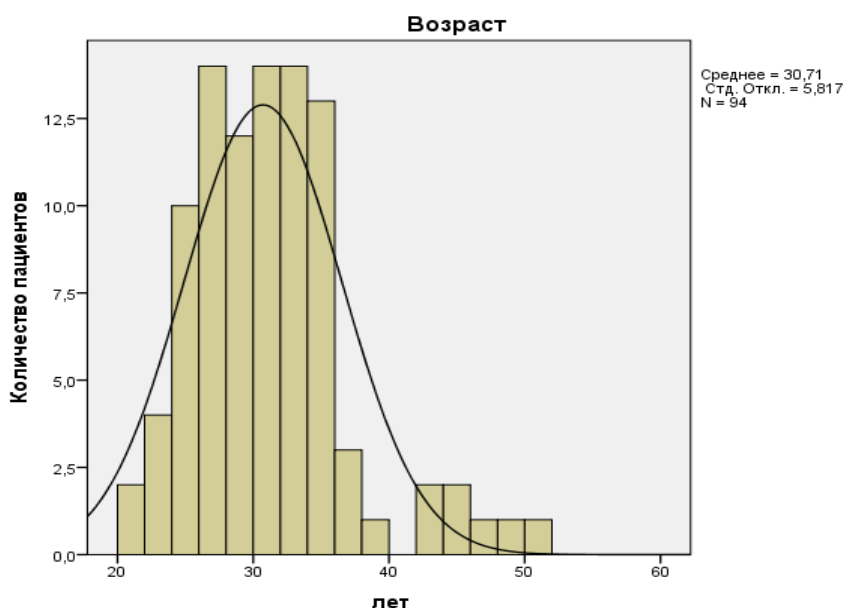


Рисунок 2.1 – Распределение раненых по возрасту (лет)

По локализации были отобраны только ранения конечностей. Площадь ран при поступлении раненых в госпиталь в среднем составила от 81 до 250 см^2 , в среднем $142,5 \pm 39,1$ см^2 (Рисунок 2.2).

В основной группе средняя площадь ран составила 143,8 см^2 , в группе контроля – 141,3 см^2 ($p > 0,05$).

Тяжесть общего состояния раненых по шкале ВПХ-П (ОР) составила от 2,9 до 9 баллов, в среднем $5,3 \pm 1,7$ балла, что соответствует оценке «тяжёлое состояние» (Рисунок 2.3).

В основной группе этот показатель в среднем составил 5,4 балла, в группе контроля – 5,2 балла ($p > 0,05$).

Время от момента ранения до госпитализации составило от 2 до 7 суток, в

среднем $4,5 \pm 1,5$ суток.

В основной группе этот показатель в среднем составил 4,4 суток, в группе контроля – 4,6 суток ($p > 0,05$).

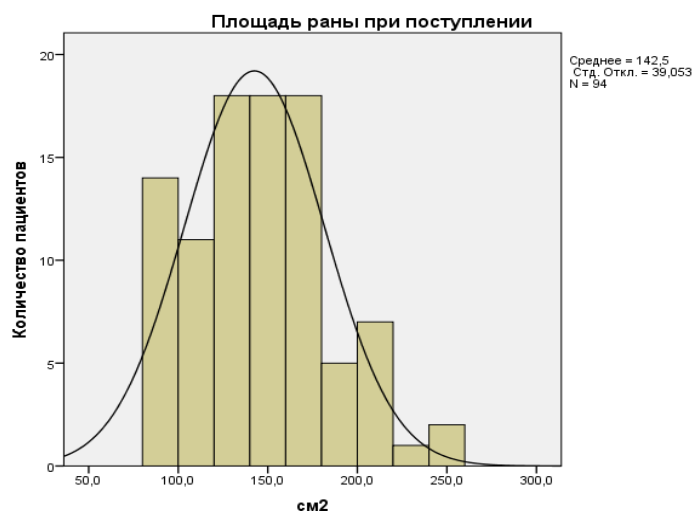


Рисунок 2.2 – Площадь раны при поступлении в госпиталь (см²)

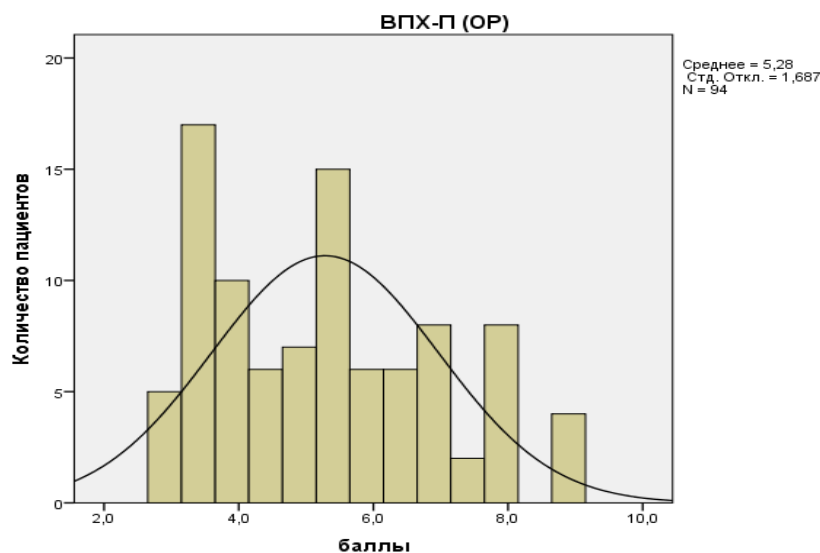


Рисунок 2.3 – Тяжесть состояния по шкале ВПХ-П (ОР) (баллы)

Средний рост пациентов составил $177,5 \pm 7,4$ см, средний вес – $83,3 \pm 9$ кг. Индекс массы тела (ИМТ) для всей когорты в среднем составил $26,2 \pm 2,9$ кг/м², что соответствует границе между оценками «норма» и «избыточная масса»

(Рисунок 2.4). В основной группе этот показатель в среднем составил 25,8 кг/м², в группе контроля – 26,6 кг/м² ($p>0,05$).

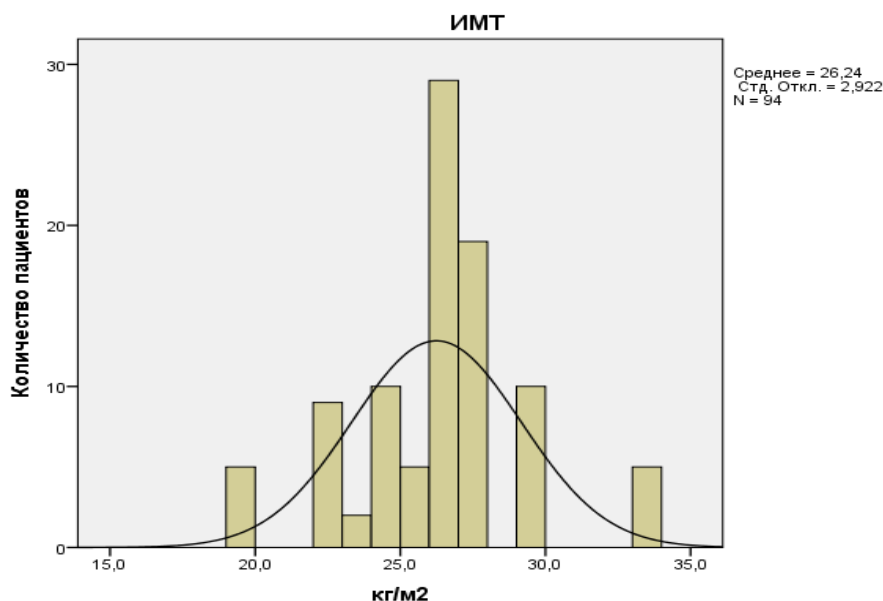


Рисунок 2.4 – Индекс массы тела (кг/м²)

Таким образом, по результатам дисперсионного анализа для независимых выборок можно сделать заключение об отсутствии статистически значимых отличий по основным параметрам, что говорит о сравнимости групп наблюдения.

2.3. Методики обследования

Клиническое обследование

По результатам клинико-рентгенологического обследования 64 раненых у 61 были выявлены переломы различной степени тяжести в области раневого сегмента (30 – в основной группе и 31 – в группе контроля). Данные переломы расценены как открытые.

При поступлении всем раненым выполняли стандартные лабораторные исследования, рентгенографию конечностей в целях оценки наличия и характера перелома, а также положения наложенного сразу после ранения аппарата внешней фиксации.

Микробиологическое исследование

При поступлении производили посев из раны с определением чувствительности микрофлоры к антибиотикам. В дальнейшем исследование повторяли 1 раз в неделю. На основании полученных результатов корректировали антибактериальную терапию. При развитии осложнений их фиксировали по дате установления диагноза в истории болезни.

Шкала ВПХ-П (ОР) разработана для оценки тяжести травмы при огнестрельных поражениях конечностей (Приложение А). Мы использовали эту шкалу, интерпретируя полученные результаты следующим образом: лёгкое поражение – 0,05–0,49 балла, средней тяжести – 0,5–0,99 балла, тяжёлое – 1,0–12 баллов, крайне тяжёлое – свыше 12 баллов.

Шкала Бейтс–Дженсен [84, 158] разработана для оценки состояния раневого процесса (Приложение Б). Она содержит 13 параметров (размер раны, её глубина, края раны, наличие карманов, вид и площадь некротических тканей, вид и количество экссудата, цвет кожи вокруг раны, периферические отёки, уплотнение периферических тканей, грануляции, эпителизация), каждый из которых оценивают в диапазоне от 1 до 5 баллов. Далее полученные баллы суммируют. Минимально возможная сумма баллов – 13, максимально возможная – 65. Сумма баллов в диапазоне от 13 до 39 баллов свидетельствует о регенеративных процессах, свыше 39 баллов – о дегградации тканей (Рисунок 2.5).



Рисунок 2.5 – Интерпретация данных шкалы Бейтс–Дженсен (баллы)

Принято считать, что при оценке состояния тканей по данной шкале как

«деградация», успешное выполнение пластического закрытия раневого дефекта невозможно или крайне маловероятно. И чем меньше показатель данной шкалы, тем больше шансов на успех пластической операции.

Анализ цифрового изображения

В целях объективизации диагностики состояния огнестрельной раны и динамики течения репаративного процесса применяли компьютерный анализ цифрового изображения поверхности раны. С помощью мультимедийного устройства, фиксированного на штативе, со специальной меткой для цветокоррекции производили фотофиксацию раны с последующим анализом цифрового изображения. Для этого применяли разработанную нами обновленную версию компьютерной программы «АналиРан 2.0» (Рисунок 2.6).


| | | |
|--|--|--|
| РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ  ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ | | RU2024665846 |
| Номер регистрации (свидетельства): 2024665846 Дата регистрации: 08.07.2024 Номер и дата поступления заявки: 2024615179 13.03.2024 Дата публикации и номер бюллетеня: 08.07.2024 Бюл. № 7 Контактные реквизиты: +79162277923, doctorigg@yandex.ru | Автор(ы): Иванов Георгий Геннадьевич (RU), Балашов Илья Андреевич (RU), Кисленко Андрей Михайлович (RU), Романов Никита Альбертович (RU), Хорошайлов Александр Вячеславович (RU), Беседин Владимир Дмитриевич (RU) | Правообладатель(и): Иванов Георгий Геннадьевич (RU), Балашов Илья Андреевич (RU) |
| Название программы для ЭВМ: «АналиРан 2.0» | | |
| Реферат: Программа разработана для медицинских специалистов, занимающихся лечением простых и сложных чистых, условно-инфицированных и инфицированных острых и хронических ран различной этиологии. Позволяет оперативно и точно получать данные площади раны, а также информацию о структурных элементах раны, таких как: некроз, фибрин, грануляции (BYR). Получаемая информация способствует дифференцированному подходу к выбору тактики лечения, позволяет объективно сравнивать между собой различные средства местного воздействия на раневую процесс, оценивая их эффективность. Гибкость программы позволяет произвести точную настройку под конкретный фотоаппарат, смартфон, видеокамеру с захватом кадра, вспышку или её отсутствие, условия естественного или искусственного освещения. В обновленной версии программы убран подсчет эпителия с целью повышения точности проведенных измерений. Обновленная версия переписана на языке программирования C# в специфичной для Windows среде Visual Studio. Скорость обработки изображений увеличена примерно в 120 раз. Точки коррективки, указанные в настройках программы, подобраны при помощи численного метода оптимизации функции многих переменных. Тип ЭВМ: IBM PC-совмест. ПК; ОС: Windows 7 и выше. | | |
| Язык программирования: | C# | |
| Объем программы для ЭВМ: | 5,95 МБ | |

Рисунок 2.6 – Свидетельство о регистрации программы «АналиРан 2.0» [50]

Программа оценки цифрового изображения работает на ЭВМ (процессор с тактовой частотой не ниже 2 ГГц, оперативная память объёмом не ниже 2 Гб), на

базе Microsoft Windows (версия не ниже 7.0). Объем памяти программы занимает около 100 Мб на жёстком диске.

Программа «АналиРан 2.0» позволила оценить площадь раны, процентное соотношение грануляций, фибрина, некротических тканей.

В момент фиксации цифрового изображения необходим любой квадратный образец-эталон известного размера (настройки программы позволяют задать ребро квадрата с шагом в 1 мм), при этом цвет площади эталона должен быть белым, окантовка – чёрной. Программа сама корректирует баланс белого на основании эталона белого цвета, заданного в квадратном образце-эталоне.

Образец-эталон необходимо размещать рядом с раневой поверхностью, при этом контур раны должен быть полностью в объективе снимающего устройства. Цифровое изображение проецируется параллельно плоскости раневой поверхности. Расстояние съёмки задаёт оператор (Рисунок 2.7).



Рисунок 2.7 – Фотография раны до цветокоррекции. Установлена белая метка в виде квадрата

После загрузки выполненной фотографии на стационарный компьютер оператор открывает её в программе и приступает к анализу изображения. После выделения границ раневого дефекта программа произведёт расчёт площади, определит структурные элементы анализируемой области и покажет на экране

результат, содержащий значения таких показателей, как «площадь раны» (мм^2), «протяжённость границ» (мм), а также «грануляции», «фибрин» и «некроз», выраженные как в абсолютных значениях (мм^2), так и в процентах, относительно общей площади раны (Рисунок 2.8).

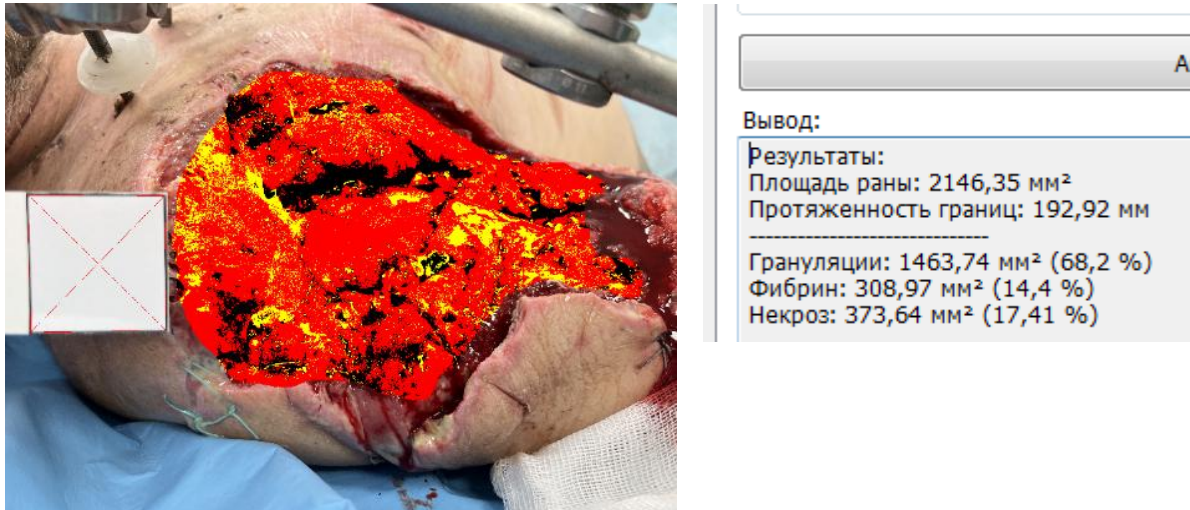


Рисунок 2.8 – Результат анализа цифровой фотографии в программе «АналиРан»

По опубликованным данным для плоских ран площадью до 225 см^2 ошибка вычислений площади не превышает 5%. При оценке точности детерминации структурных элементов раны авторы выявили, что получаемые результаты таких структурных элементов, как грануляции, фибрин и некроз, коррелируют с отклонением не более 10 %, при этом программа «АналиРан» выдаёт более точные результаты, чем при субъективной оценке таких фотографий специалистами [16]. В то же время программа «АналиРан» разработана без учёта специфики огнестрельных ранений, характеризующейся в ряде случаев значительной глубиной поражений и формированием обширной зоны молекулярного сотрясения, имеющей существенные особенности динамики происходящих в ней изменений. Поэтому одной из задач нашего исследования явилась верификация данных, полученных с помощью программы «АналиРан», именно при диагностике огнестрельных ран.

Гистологическое исследование

В целях верификации и валидации полученных с помощью программы

«АналиРан» данных на разных сроках лечения огнестрельных ран параллельно с этой оценкой выполняли биопсию мягких тканей, определяя во взятом материале соотношение таких состояний, как «грануляции», «фибрин» и «некроз». Биопсийный материал размером 1,0×1,0 см и глубиной 0,5 см брали скальпелем и помещали в ёмкость с фиксатором – 10% нейтральным формалином [14, 43]. Далее готовили парафиновые среды толщиной 4 и 16 мкм. Окраску срезов выполняли с использованием красителей (гематоксилин и эозин). Анализ производили на микроскопе Leica 3000, при увеличении объективов ×10, ×20 и ×40 (Рисунок 2.9).

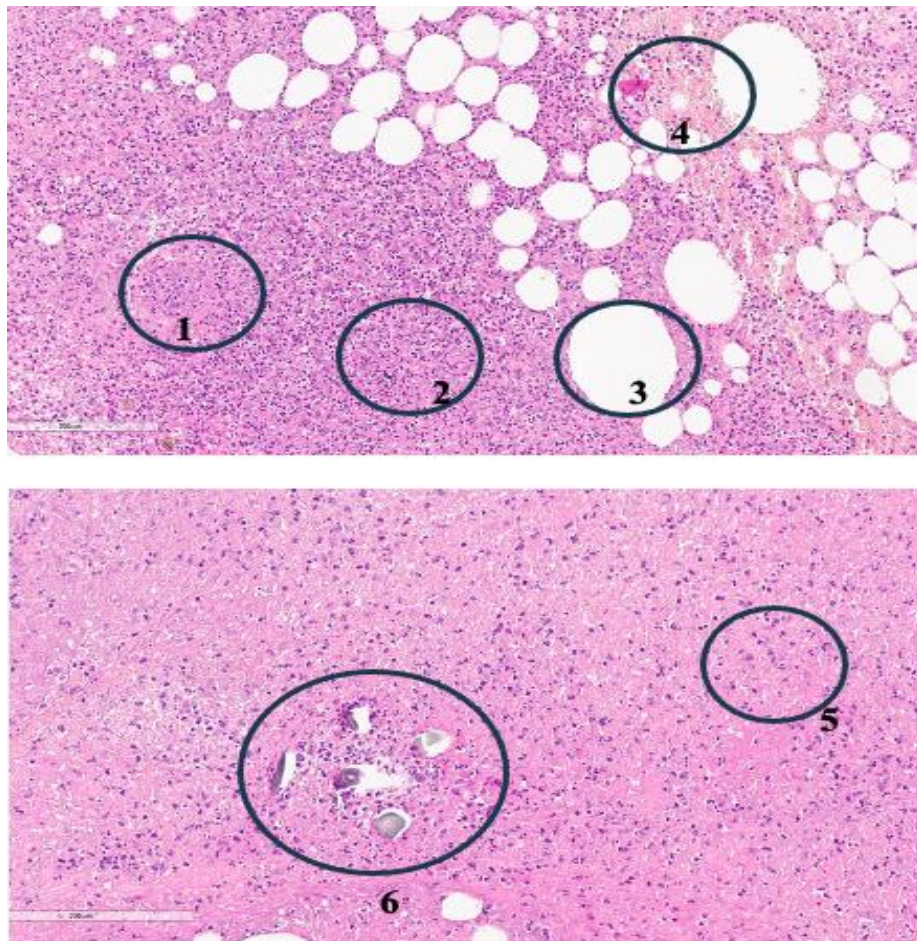


Рисунок 2.9 – Гистологическая картина на 1-е сутки после огнестрельного ранения: 1 – фибриновый тромб с примесью разрушенных нейтрофильных лейкоцитов; 2 – клеточный детрит (некроз); 3 – жировая ткань; 4 – кровоизлияние; 5 – клеточный детрит (некроз); 6 – инородные тела

Забор материала для гистологического исследования осуществляли при

выполнении хирургической обработки и в динамике на 3-и–14-е сутки.

Более тонкие срезы, окрашенные гематоксилином, эозином и пикросириусом красным по стандартной методике, анализировали на универсальном оптическом микроскопе Leica DM4000 B LED (Leica Microsystems, Швейцария) в режимах световой, фазово-контрастной и поляризационной микроскопии. Микрофотографии получали с помощью цифровой видеокамеры Leica DFC7000 T с программным обеспечением LAS V4.8.

При гистологическом исследовании оценивали характеристики фазы экссудации, наличие фибрино-лейкоцитарной плёнки, диффузно-выраженной воспалительной инфильтрации, количество и плотность нейтрофильных лейкоцитов. Полученные результаты сверяли с данными, полученными с помощью программы «АналиРан».

2.4. Методики лечения

Всем раненым проводили комплексное лечение, включающее коррекцию общего состояния, оперативные вмешательства, направленные на санацию огнестрельной раны, а также при поступлении назначали эмпирическую антибактериальную терапию с применением антибиотиков широкого спектра действия.

По результату посева раневого отделяемого антибактериальную терапию корректировали с учётом чувствительности микрофлоры к антибиотикам.

Хирургическая обработка раны

Поскольку сроки с момента ранения до поступления в наш стационар ни в одном случае не превышали 7 суток, то хирургическую обработку раны выполняли как первичную – в отсроченном порядке или повторно.

В условиях операционной под наркозом, после обработки и отграничения операционного поля производили рассечение раны, выполняя через раневое отверстие линейный разрез скальпелем достаточной длины для последующих манипуляций в глубине повреждённой области и декомпрессии тканей в

окружности раны.

Направление разреза соответствовало топографо-анатомическим принципам. Кожу и подкожно-жировую клетчатку рассекали послойно. Фасцию широко рассекали длинными ножницами в проксимальном и дистальном направлениях на протяжении всего сегмента.

Вторым этапом механически очищали рану, удаляя инородные тела (ранящие снаряды или их фрагменты, обрывки одежды), а также свободно лежащие костные осколки, кровяные сгустки, нежизнеспособные ткани, составляющие содержимое раневого канала (Рисунок 2.10).



Рисунок 2.10 – Удаленные из ран инородные тела (осколки)

Некоторые инородные тела располагались глубоко в тканях, и для их удаления требовались дополнительные доступы или специальные методы.

Рану промывали пульсирующей струёй с раствором антисептика «Лавасепт» (Рисунок 2.11).



Рисунок 2.11 – Промывание раны пульсирующей струёй

На третьем этапе выполняли иссечение нежизнеспособных тканей, удаляя участки некроза и тканей сомнительной жизнеспособности (Рисунок 2.12). Иссечение нежизнеспособных тканей осуществляли послойно, с учетом различной переносимости тканями огнестрельной травмы и устойчивости к раневой инфекции.



Рисунок 2.12 – Иссечение нежизнеспособных тканей

Кожа является наиболее устойчивой к воздействию ранящего снаряда и инфекции, поэтому её иссекали скальпелем очень экономно (1–2 мм), избегая выкраивания больших круглых отверстий («пятак») вокруг входного и выходного отверстий раневого канала.

Подкожная клетчатка менее устойчива к воздействию повреждающих факторов и раневой инфекции, поэтому некротизированные участки широко иссекали ножницами до тканей с отчётливыми признаками жизнеспособности.

Фасция плохо кровоснабжается, но устойчива к повреждениям, поэтому иссекали только явно разрушенные её участки, утратившие связь с подлежащими тканями.

Мышцы являются той тканью, где наиболее часто развивается вторичный некроз, поэтому удаляли все участки мышечной ткани с признаками нежизнеспособности. Критериями сохранённой жизнеспособности мышц считали яркий цвет, упругую консистенцию, сократимость в ответ на раздражение пинцетом, кровоточивость при иссечении участков ткани.

По достижении зоны жизнеспособных мышц, по мере необходимости, параллельно с иссечением осуществляли гемостаз. Зона вторичного некроза мышц имеет протяжённый и мозаичный характер, поэтому мы не стремились непременно полностью удалить все сомнительные участки.

После выполнения третьего этапа хирургической обработки на рану у всех пациентов накладывали систему вакуумного дренирования.

Вакуумное дренирование раны

На завершающем этапе хирургической обработки у наших пациентов выполняли вакуумное дренирование ран для улучшения оттока раневого отделяемого путём создания в ране отрицательного давления.

Суть метода заключается в укладывании в рану пористого материала (губки), дренажной трубки и последующей герметизации раны путём наложения кожных швов (Рисунок 2.13) или использования специальной герметизирующей липкой плёнки (Рисунок 2.14).



Рисунок 2.13 – Наложение вакуумной повязки: *А* – укладывание губки; *Б* – герметизация раны



Рисунок 2.14 – Герметизация раны с помощью липкой плёнки

После наложения губки и герметизации раны подключали вакуумный порт и портативный вакуумный аппарат с приёмником для раневого отделяемого, оснащённым антибактериальным фильтром (Рисунок 2.15).



Рисунок 2.15 – Вакуумное дренирование раны: *А* – аппарат для вакуум-терапии «ВИТ Ультра»; *Б* – внешний вид конечности

С первых суток вакуумной терапии устанавливали постоянный уровень отрицательного давления 120 мм рт. ст.

Общая продолжительность вакуумной терапии отличалась в группах наблюдения и определялась раневой динамикой: процедуру продолжали, меняя губку через каждые 72 часа, до появления красной, нежно-зернистой грануляционной ткани и отсутствия продолженных некрозов.

Лазерное облучение раны

Лазерное облучение огнестрельной раны выполняли на аппарате с узкополосным спектром «FiberLase CR», с длиной волны 980 нм, в режиме терапевтического воздействия, с заранее заданными параметрами для облучения большой площади, при которых средняя мощность составила 3 Вт и общее время экспозиции – 7 минут (Рисунок 2.16).



Рисунок 2.16 – Аппарат «FiberLase CR»: *A* – внешний вид; *Б* – световод; *В* – насадки

Основные технические характеристики используемого лазерного аппарата «FiberLase CR» для проведения низкоинтенсивного лазерного излучения представлены в Таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Технические характеристики аппарата «FiberLase CR»

| | |
|-----------------------------|-----------------------------|
| Производитель | НТО "ИРЭ-Полюс" |
| Длина волны, мкм | 0,98 и 1,55 |
| Максимальная мощность, Вт | 25 (для $\lambda=0,98$ мкм) |
| Диаметр волокна, мкм | 365 ... 550 |
| Охлаждение аппарата | воздушное |
| Напряжение и ток питания, В | 220±10% |
| Частота сети, Гц | 50 ... 60 |
| Габариты (В×Ш×Д), мм | 272×272×273 |
| Масса, кг | 10 |

Перед проведением исследования выполняли разметку на листе А4 с определением диаметра лазерного пятна в зависимости от расстояния облучаемой головки до раневой поверхности (Рисунок 2.17).

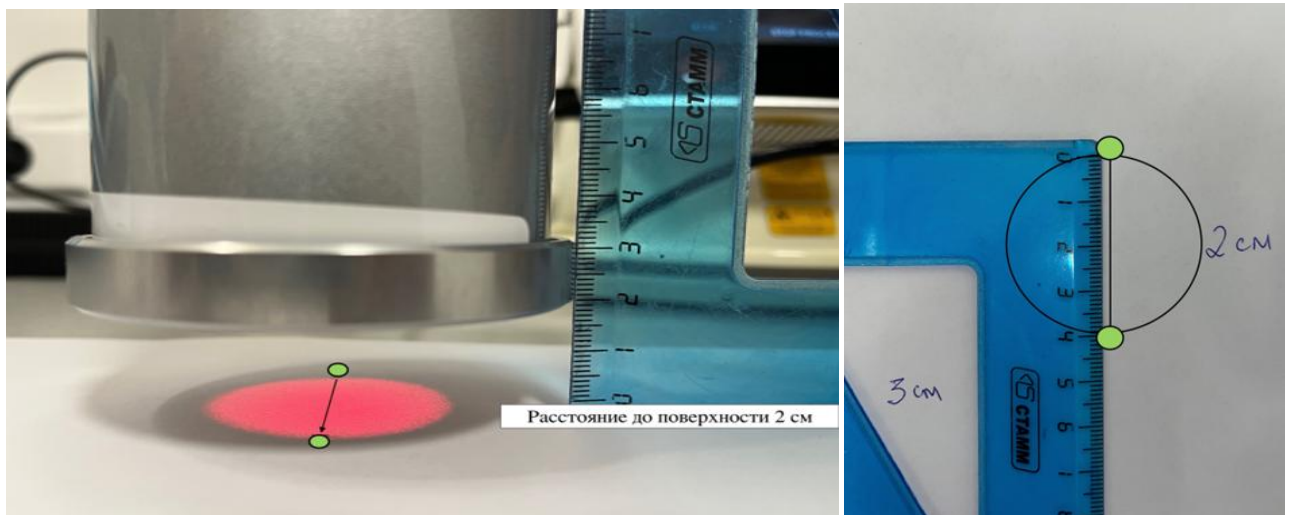


Рисунок 2.17 – Измерение расстояния от лазерной головки до поверхности

Минимальное расстояние от лазерной головки до раны, при котором исключается возможность контакта насадки облучателя и раневой поверхности, было принято 2 см, в этом случае диаметр пятна составлял 4 см (40 мм). Для расчёта площади круга (S) использовали формулу расчёта через диаметр пятна: $S=0,25 \times \pi \times d^2=0,25 \times 3,14 \times 16=12,56 \text{ см}^2$.

Учитывая выходную мощность лазера 3 Вт (P), выполнен расчёт плотности мощности (W) по формуле: $W=P/S=3 \text{ Вт}/12,56 \text{ см}^2=0,24 \text{ Вт/см}^2$.

Плотность энергии определяется как отношение энергии на площадь пятна и выражается в Дж/см^2 . При времени облучения 7 минут (420 с) энергия облучения U (доза) составит $U=3 \text{ Вт} \times 420 \text{ с}=1260 \text{ Дж}$, а плотность энергии на ране составит $U/S=1260 \text{ Дж}/12,56 \text{ см}^2=100,3 \text{ Дж/см}^2$.

По данным литературы излучение с длиной волны 980 нм является безопасным для тканей и имеет положительное влияние на клеточную пролиферацию, стимулируя синтез коллагена, высвобождение факторов роста и ангиогенез, что значительно ускоряет процесс заживления хирургических ран [113, 160, 185, Приложение В].

Перед началом работы выбирали режим терапевтического воздействия на большой площади, устанавливали минимальное значение средней мощности 3 Вт (учитывая обширные дефекты мягких тканей), где временной интервал облучения

программировался автоматически и составлял 7 минут, после чего облучение прекращалось с характерным предупреждающим индикатором на мониторе аппарата.

С.В. Москвин и соавт. [33] указывают, что расчёты энергии (Дж, или Вт·с) или энергетической плотности (Дж/см², или Вт·с/см²) не проводятся, поскольку для обеспечения эффективной лазерной терапии в этой информации нет необходимости, однако в ознакомительных целях мы провели такой расчёт для разных диаметров лазерного пятна.

Учитывая неровность поверхности области облучения и связанное с этим изменение расстояния до раны, диаметр пятна может меняться в пределах 4–7 см, соответственно, меняется и плотность энергии на ране.

Соответствующие рассчитанные параметры облучения раны представлены в Таблице 2.3.

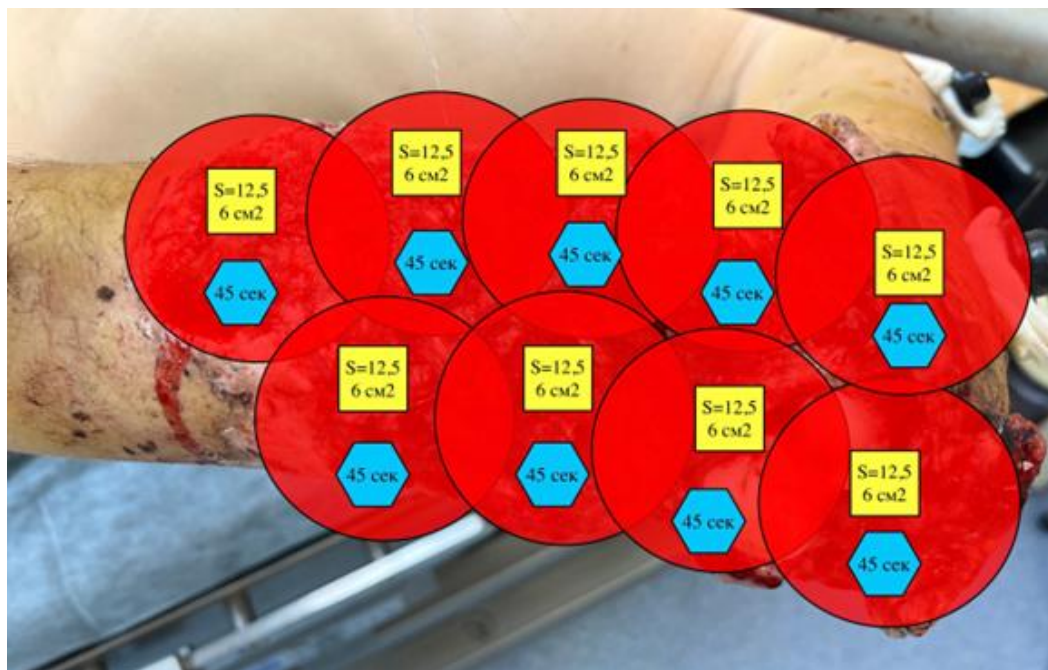
Таблица 2.3 – Параметры используемого лазерного облучения

| | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|
| Мощность (Вт) | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Время воздействия (с) | 420 | 420 | 420 | 420 |
| Полная энергия (Дж) | 1260 | 1260 | 1260 | 1260 |
| Диаметр лазерного пятна (мм) | 40 | 50 | 60 | 70 |
| Площадь лазерного пятна (см ²) | 12,56 | 19,63 | 28,26 | 38,47 |
| Плотность мощности (Вт/см ²) | 0,24 | 0,15 | 0,11 | 0,08 |
| Плотность энергии (Дж/см ²) | 100,3 | 64,2 | 44,6 | 32,8 |

Перед хирургической обработкой в условиях операционной выполняли фотофиксацию раневой поверхности с последующим анализом цифрового изображения раны на программе «АналиРан» (Рисунок 2.18).



А



Б

Рисунок 2.18 – Планирование процедуры лазерной обработки раны: А – вид раны; Б – расчёт временных параметров лазерного облучения

В то время, пока хирург выполнял хирургическую обработку раны, ассистент получал информацию о площади раневого дефекта и формировал план его лазерной обработки. После завершения хирургических манипуляций раневую поверхность высушивали стерильными марлевыми салфетками. На лазерном

аппарате устанавливали параметры излучения, подключали специальную бесконтактную насадку и проводили последовательную обработку раневой поверхности по фрагментам с учётом полученной площади раневого дефекта, при этом диаметр лазерного пятна составлял 40 мм, а общая продолжительность экспозиции – 420 с. После завершения лазерного облучения накладывали вакуумную повязку по описанной выше методике, с постоянным отрицательным давлением 120 мм рт. ст. (Рисунок 2.19).



А



Б



В

Рисунок 2.19 – Комбинации лазерного облучения и вакуумной терапии: А – лазерная обработка раны; Б – рана после облучения лазером; В – наложена вакуумная повязка

Лазерную обработку раны выполняли однократно во время ПХО. После этого рану вели по уже описанному протоколу, с периодической сменой

вакуумных повязок, готовя её к реконструктивному этапу с пластическим закрытием раневого дефекта [27, 39, 42, 45, 46, 64]. На описанную методику получен патент РФ № 2818931 от 07.05.2024 г. «Способ лечения огнестрельных ран конечностей» [38] (Рисунок 2.20). Состояние раны контролировали с помощью программы «АналиРан» на 3-и, 7-е, 10-е и 14-е сутки во время выполнения перевязок.

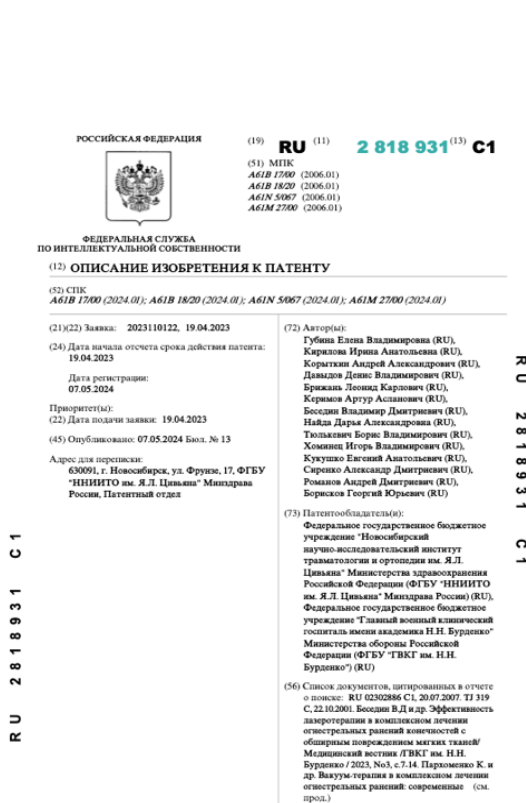


Рисунок 2.20 – Патент РФ «Способ лечения огнестрельных ран конечностей»

2.5. Статистическая обработка данных

При работе над диссертацией была разработана карта обследования пациента, в которую заносились все необходимые данные лечебного процесса. На основе карты была сделана база данных, сформированная в программе «Excel» перед началом исследования.

Изменения структуры базы данных в процессе исследования было запрещено. Анализ базы данных и расчёты выполнены в программе «IBM SPSS Statistics 22».

В качестве базовых методов анализа применялись: критерий χ^2 Пирсона; в качестве меры связи рассчитывался коэффициент сопряжённости ϕ (изучение номинальных признаков типа «да или нет»); коэффициент корреляции Кенделла (τ) – для признаков типа «лучше – хуже», в тестовых баллах; коэффициент корреляции Пирсона (R_x) или R_{xy} – для количественных данных. Оценка значимости различия средних значений показателей в независимых выборках производилась в программе с помощью t-критерия Стьюдента.

При малом числе наблюдений (до 30), при сравнении двух независимых групп по альтернативному признаку, принимающему два значения (либо «есть», либо «нет»), а также когда данные не соответствовали закону нормального распределения, использовался непараметрический метод оценки значимости различий по χ^2 -критерию Пирсона. При частоте изучаемого события менее 5 наблюдений использование χ^2 -критерия является некорректным и требовало использования точного критерия Фишера. Направление (прямая или обратная связь) и силу корреляционной связи определяли по величине коэффициента линейной корреляции Пирсона.

При $R_{xy} > 0$ связь оценивалась как прямая, при $R_{xy} < 0$ – как обратная. При $R_x = 0$ связь отсутствовала. Сила связи оценивалась при $R_{xy} < 0,3$ как слабая, при $0,3 \leq R_{xy} \leq 0,7$ – умеренная, при $R_{xy} > 0,7$ – сильная. Достоверность коэффициента корреляции оценивалась по t-критерию Стьюдента.

При нелинейности связи между признаками, отсутствии данных о нормальном характере их распределения, небольшом числе наблюдений сравниваемых признаков, а также, когда эти признаки носили порядковый характер, применялся непараметрический коэффициент ранговой корреляции Кенделла (τ). Достоверность коэффициента ранговой корреляции Кенделла оценивали на основе рассчитанного t-критерия Стьюдента.

Дисперсионный анализ – метод в математической статистике, направленный на поиск зависимостей в экспериментальных данных путём исследования значимости различий в средних значениях: ANOVA (ANalysis Of VAriance). В отличие от t-критерия, позволяет сравнивать средние значения трёх

и более групп. При анализе таблиц сопряжённости использовался χ^2 -критерий Пирсона и рассчитывался коэффициент сопряжённости (ϕ) для n-признаков.

Применявшиеся методы статистической обработки представлены для всех величин, полученных в исследовании, соответствовали дизайну исследования и позволяли решить поставленные задачи с достаточной достоверностью.

ГЛАВА 3. ВЕРИФИКАЦИЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ РАНЫ И АЛГОРИТМ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ (ПЕРВЫЙ ЭТАП ИССЛЕДОВАНИЯ)

3.1. Программа «АналиРан»

Проведено тестирование огнестрельных ран у 30 пациентов, которым в комплексном лечении применяли методику вакуум-терапии по стандартной методике в режиме постоянной аспирации, с уровнем отрицательного давления 120 мм рт. ст. Целью было установление применимости использования программы «АналиРан» для оценки состояния тканей в огнестрельной ране. По описанной выше методике на различных этапах лечения тестировали рану с помощью программы «АналиРан», определяя такие состояния, как «грануляции», «фибрин» и «некроз», после чего из раны брали биопсийный материал, как это описано в главе 2, и сопоставляли полученные оценки. Всего по этой схеме на различных этапах лечения было исследовано 134 пробы, наибольшее число которых взято непосредственно после хирургической обработки раны и перед выполнением пластики (Рисунок 3.1).

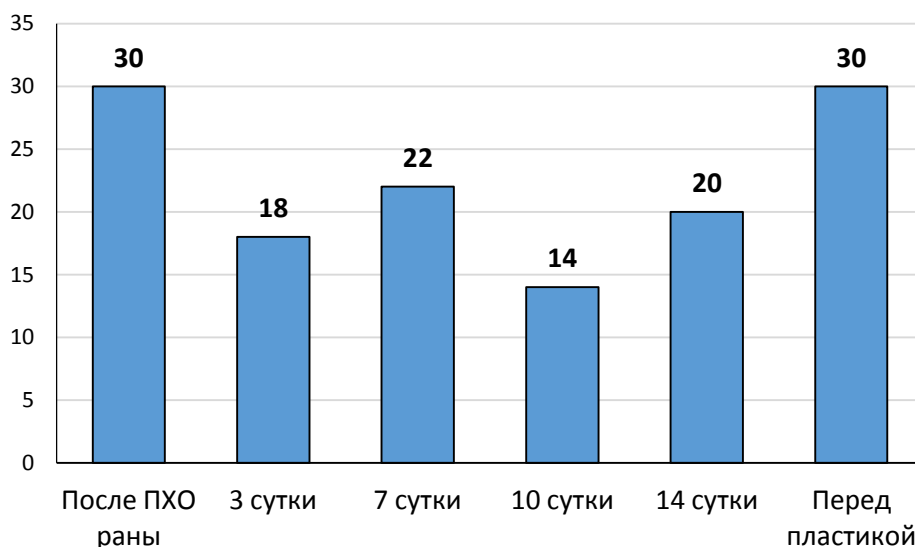


Рисунок 3.1 – Количество выполненных гистологических исследований

Если в отношении таких характеристик тканей, получаемых с помощью программы «АналиРан», как «фибрин» и «некроз», существенных расхождений с оценками гистологических исследований не было, то в отношении тканей, которые программа «АналиРан» определяла как «грануляции», отмечены существенные несоответствия с данными гистологического исследования, поскольку под эту характеристику по интерпретации программы попадали все жизнеспособные ткани с сохранённым кровоснабжением, не имеющие фибринозного налёта. Поэтому даже при первичном осмотре раны доля тканей, которые программа оценивала как «грануляции», превышала 50%. В связи с этим для корректного обозначения таких тканей потребовался другой термин, и мы разделили определяемые программой ткани на три типа:

1-й тип – некротические ткани (программа определяет их как «некроз»);

2-й тип – фибриновые ткани (программа определяет их как «фибрин»);

3-й тип – жизнеспособные ткани с сохранённым кровоснабжением, которые пригодны для приживления пересаженных на них кожных лоскутов в ходе реконструктивных операций (программа определяет их как «грануляции», однако истинная грануляционная ткань формируется только в течение нескольких суток после ранения).

В своём исследовании мы не стали более детально дифференцировать характер тканей, определяемых программой как «грануляции», так как все они были пригодны для проведения кожной пластики.

Сопоставление результатов тестирования раны с помощью программы «АналиРан» и гистологических исследований показало, что количество тканей 1-го и 2-го типов («некроз» и «фибрин»), соответствующих данным характеристикам, было выше при гистологическом исследовании. При этом наибольшее отличие оценок отмечено при исследованиях, выполненных на 3-и и 7-е сутки. В более поздние сроки разница была уже не столь существенной, и к 14-м суткам эти оценки почти совпадали (Рисунок 3.2).

По тканям 3-го типа («грануляции») отмечено обратное соотношение: доля таких тканей, определённая с помощью программы «АналиРан», во все сроки

была больше, чем при гистологическом исследовании, причём обращает внимание, что оценки программы, сделанные на основе визуального анализа, особенно существенно отличались в течение первой недели лечения (Рисунок 3.3).

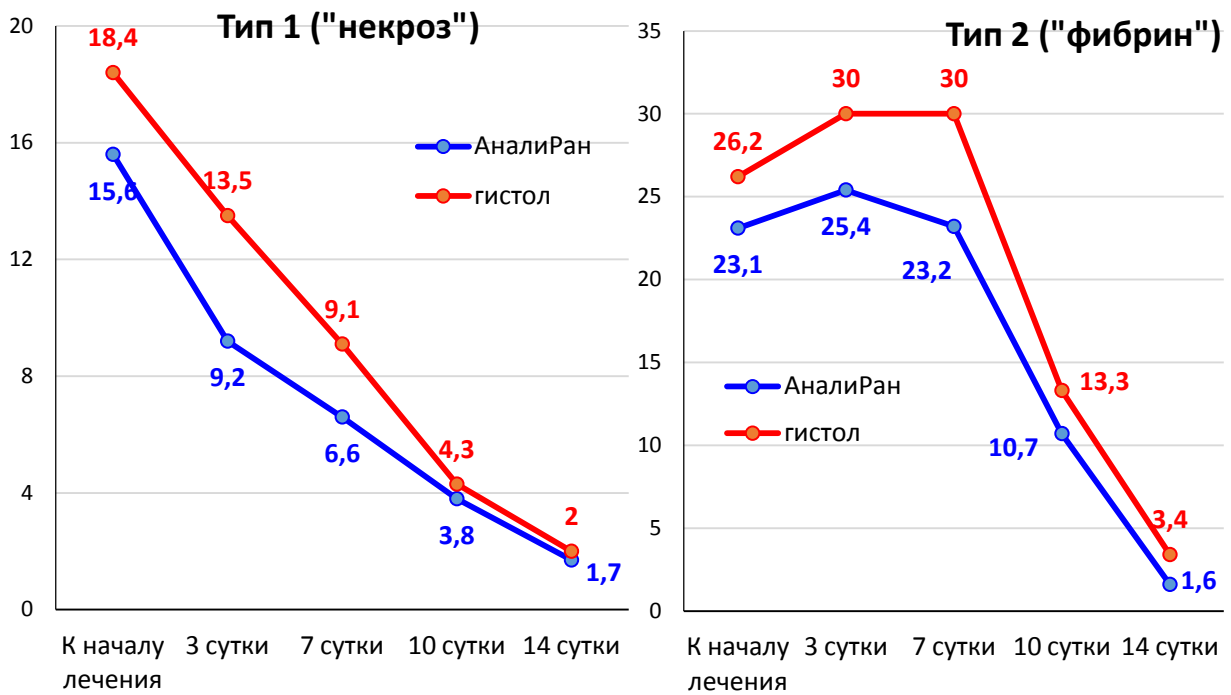


Рисунок 3.2 – Соотношение средних значений доли тканей 1-го и 2-го типов по данным программы «АналиРан» и гистологического исследования (в % к общей площади раны)

Таким образом, сопоставление оценок состояния тканей в огнестрельной ране, полученных с помощью программы «АналиРан» и при гистологическом исследовании, показало, что по всем исследованным типам тканей наибольшие отличия отмечены в течение первой недели лечения, а в дальнейшем они нивелируются. Мы считаем, что, несмотря на то, что гистологическое исследование выполнено только для части раневой поверхности, при этом полученные данные являются наиболее точными. В связи с этим определили коэффициенты корреляции для показателей программы «АналиРан» в отношении огнестрельных ран (Таблица 3.1). Данные коэффициенты применяли при

интерпретации показателей, полученных с помощью программы «АналиРан» в разные сроки наблюдения.

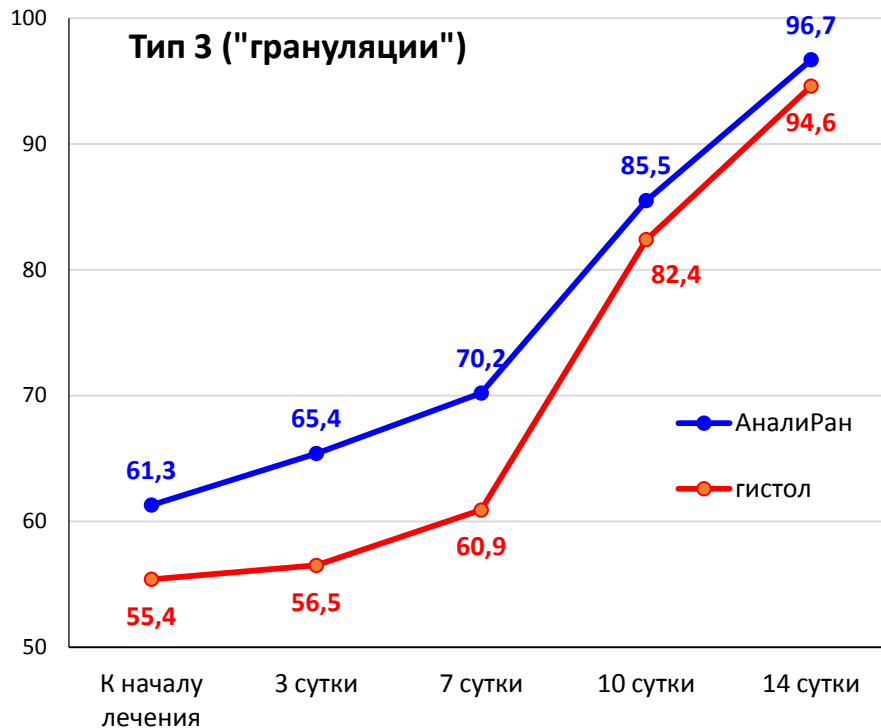


Рисунок 3.3 – Соотношение средних значений доли тканей 3-го типа («грануляции») по данным программы «АналиРан» и гистологического исследования (в % к общей площади раны)

Таблица 3.1 – Коэффициенты корреляции для показателей программы «АналиРан» при оценке тканей огнестрельной раны

| Типы | К началу лечения | 3-и сутки | 7-е сутки | 10-е сутки | 14-е сутки |
|------|------------------|-----------|-----------|------------|------------|
| 1-й | 1,18 | 1,47 | 1,38 | 1,13 | 1,18 |
| 2-й | 1,13 | 1,18 | 1,29 | 1,24 | 2,13 |
| 3-й | 0,90 | 0,86 | 0,87 | 0,96 | 0,98 |

В качестве клинического примера можно привести наблюдение за пациентом Н-в. В течение 2 недель проводили этапное инспектирование раны с параллельным применением программы «АналиРан» и гистологического исследования биопсийного материала, а также местное лечение с использованием методики вакуумного дренирования. За время наблюдения общая площадь раны

уменьшилась в 1,4 раза, составив к 14-м суткам 67,2 см². Площадь анализируемого участка раны варьировалась от 112,5 до 193,2 мм² (Рисунок 3.4).

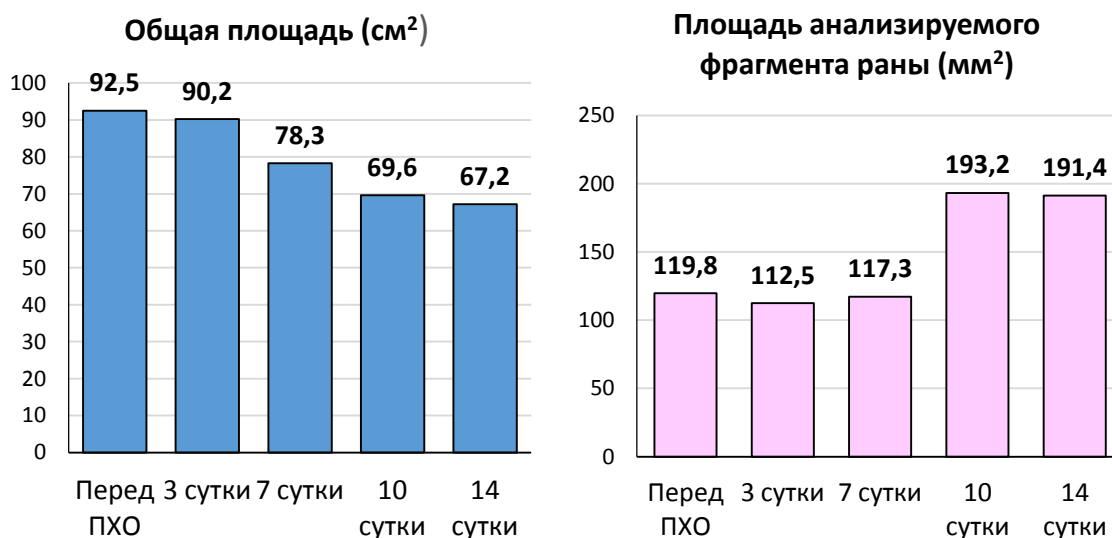


Рисунок 3.4 – Пациент Н-в. Площадь раны

При анализе результатов исследования раневых тканей подтвердилась общая тенденция, согласно которой при гистологическом исследовании по сравнению с данными, полученными с помощью программы «АналиРан», определяется больший процент тканей 1-го и 2-го типов, и меньший – тканей 3-го типа (Таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Пациент Н-в. Оценка состояния тканей

| Сроки лечения | 1-й тип | | 2-й тип | | 3-й тип | |
|------------------|------------|---------------|------------|---------------|------------|---------------|
| | «АналиРан» | Гистол. иссл. | «АналиРан» | Гистол. иссл. | «АналиРан» | Гистол. иссл. |
| К началу лечения | 14,8 | 17,9 | 24,8 | 27,9 | 60,4 | 54,2 |
| 3-и сутки | 9,0 | 11,0 | 24,8 | 22,8 | 66,2 | 56,0 |
| 7-е сутки | 7,3 | 9,3 | 22,2 | 25,3 | 70,5 | 64,4 |
| 10-е сутки | 3,4 | 4,5 | 11,2 | 13,7 | 85,4 | 81,8 |
| 14-е сутки | 1,5 | 1,9 | 2,4 | 3,1 | 96,1 | 95,0 |

К началу лечения ткани 1-го типа («некроз») составляли больше 15% поверхности раны, при этом самое большое отличие отмечено в оценке площади ткани 3-го типа: гистологическая оценка показала меньшую площадь, чем программа «АналиРан», на 6,2%. В микропрепарате суммарная доля тканей 1-го и 2-го типов составила 45,8%. Некротические ткани чередовались с участками фибринозной, с инфильтрацией нейтрофильными лейкоцитами, примесью нитей фибрина и очаговыми кровоизлияниями. Сосуды среднего калибра и микроциркуляторного русла – с фокусами фибринозной ткани и участками некроза стенки с инфильтрацией нейтрофильными лейкоцитами. В просвете сосудов – кровь и сгустки, незначительно инфильтрированные нейтрофильными лейкоцитами. В препаратах определяются микроструктуры инородных тел чёрного цвета. При окраске на PAS – диффузная кокковая флора (Рисунок 3.5).

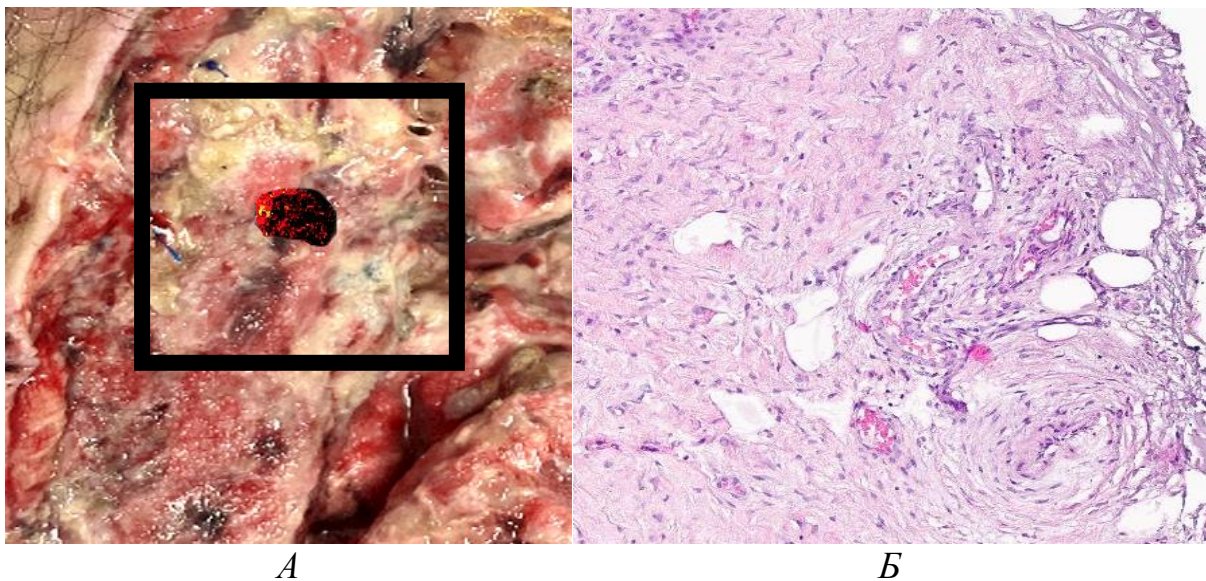


Рисунок 3.5 – Оценка тканей перед хирургической обработкой раны: *А* – программа «АналиРан»; *Б* – гистологическое исследование (окраска гематоксилином и эозином; увеличение $\times 200$)

На 3-и сутки доля тканей 1-го типа уменьшилась, однако осталась достаточно значительной. Отличие гистологической оценки от цифровой для тканей 3-го типа еще больше возросло и составило 10,2%. В микропрепарате определяются кусочки фиброзной ткани с обширным некрозом и распадом

нейтрофильных лейкоцитов, примесью нитей фибрина и очаговыми кровоизлияниями. Сосуды среднего калибра и микроциркуляторного русла – с фокусами фибрина и некроза стенки с инфильтрацией нейтрофильными лейкоцитами. В просвете сосудов – кровь и нейтрофильные лейкоциты. В кусочках определяются структуры инородных тел чёрного цвета. При окраске на PAS – диффузная кокковая флора (Рисунок 3.6).

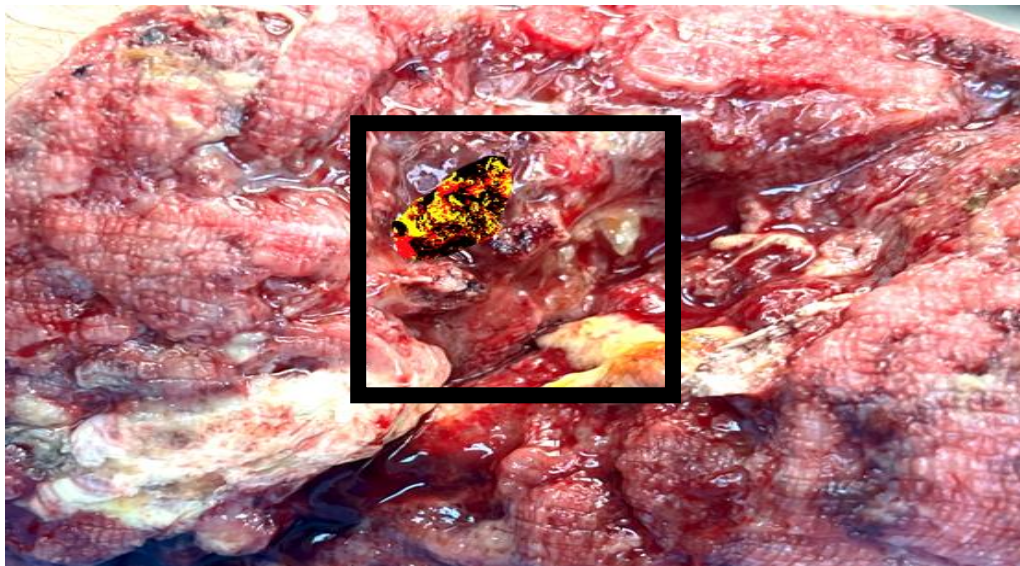
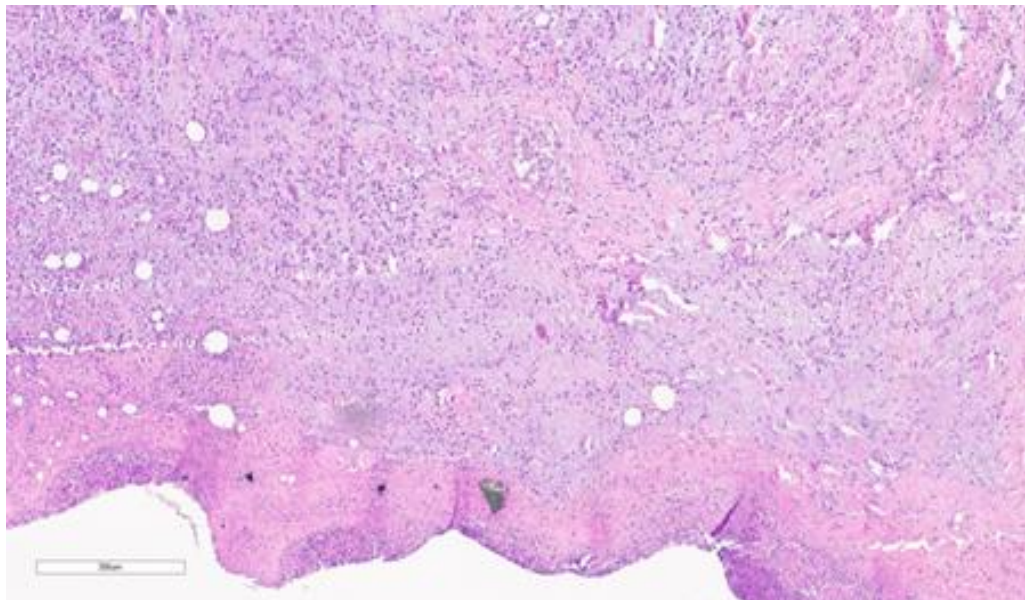
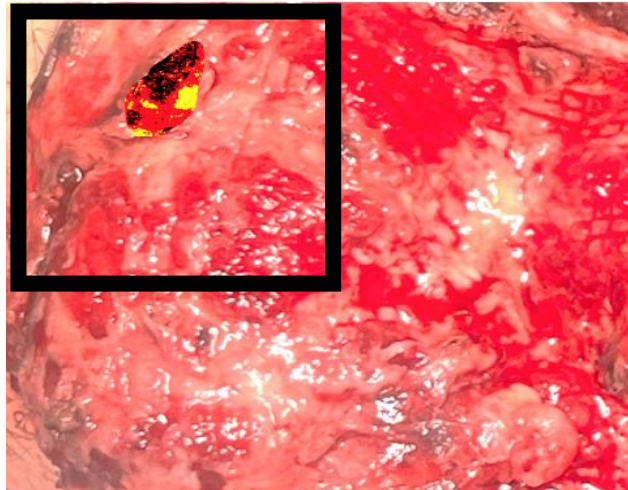
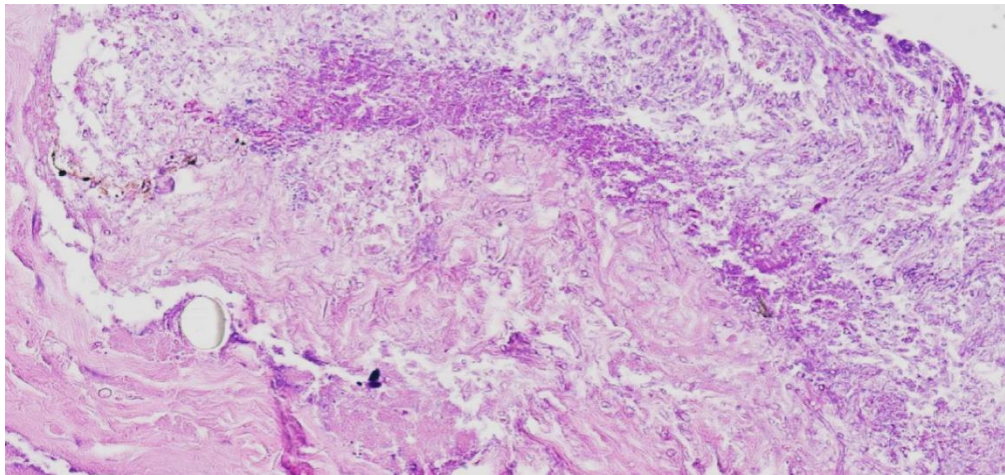
*A**B*

Рисунок 3.6 – Оценка тканей на 3-и сутки: *A* – программа «АналиРан»; *B* – гистологическое исследование (окраска гематоксилином и эозином; увеличение $\times 200$)

На 7-е сутки возросла доля тканей 3-го типа, составив около 1/3 раневой поверхности, при этом отличие между оценками программы «АналиРан» и гистологического исследования в отношении этой ткани снизилось и составило 6,1%. В микропрепарате определяются некротизированные фрагменты волокнисто-соединительной и поперечнополосатой мышечной ткани без гигантоклеточной реакции. Отмечается отёк, кровоизлияния с примесью нитей фибрина, диффузная выраженная инфильтрация нейтрофильными лейкоцитами, часть из которых разрушена, образуя клеточный детрит. На поверхности – плотное скопление мицелия грибов рода аспергилл (PAS-позитивные) (Рисунок 3.7).



А



Б

Рисунок 3.7 – Оценка тканей на 7-е сутки: *А* – программа «АналиРан»; *Б* – гистологическое исследование (окраска гематоксилином и эозином; увеличение $\times 200$)

На 10-е сутки отмечено значительное увеличение доли ткани 3-го типа, оценка которой по программе «АналиРан» составила 85,4%, а по данным гистологического исследования – 81,8%. Соответственно, доля тканей 1-го типа составила 4,5%, снизившись по сравнению с предыдущим контролем в 2,1 раза. В микропрепарате – грануляционная и фиброзно-жировая ткани с очаговыми кровоизлияниями. Строма грануляционной ткани с образованием коллагеновых волокон, пролиферацией фибробластов (217 на 1 мм²); сосуды с пролиферацией эндотелия (18 сосудов на 1 мм²). Отмечается макрофагальная и диффузная умеренно выраженная сегментоядерная инфильтрация с диффузным обсеменением кокковой флорой (при окраске по Романовскому–Гимзе – позитивная, PAS – негативная) (Рисунок 3.8).

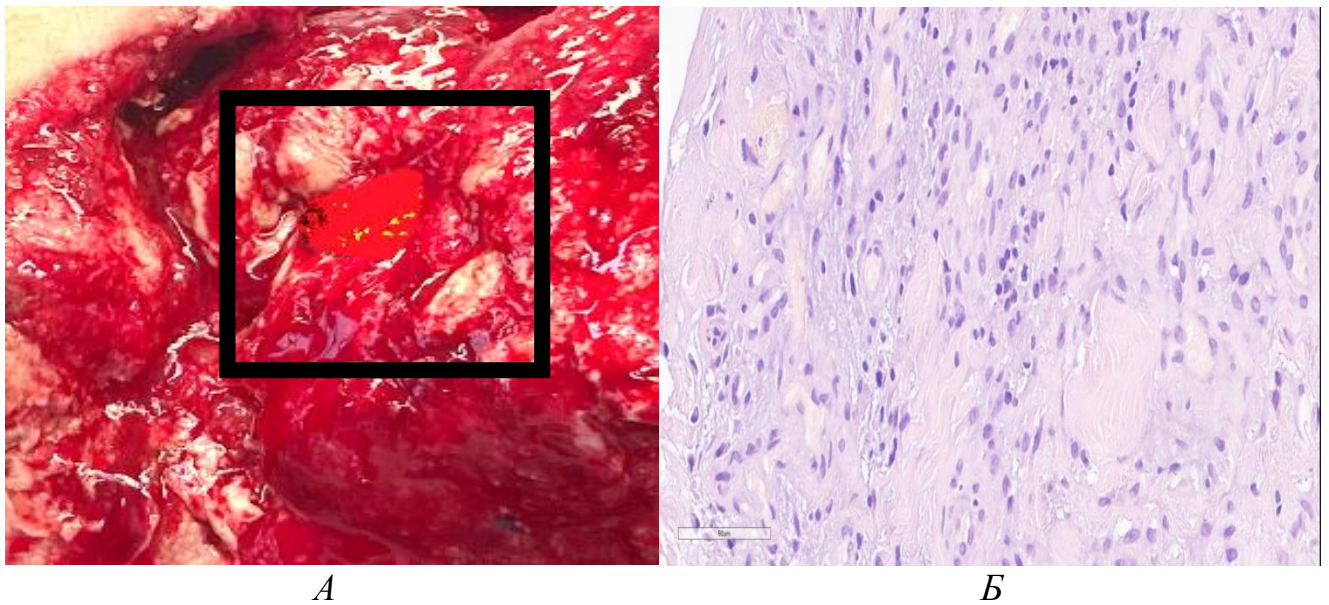


Рисунок 3.8 – Оценка тканей на 10-е сутки: *А* – программа «АналиРан»; *Б* – гистологическое исследование (окраска гематоксилином и эозином; увеличение $\times 200$)

На 14-е сутки практически вся поверхность раны выполнена тканями 3-го типа (95,0%), однако по гистологической оценке эта площадь меньше, чем по данным программы «АналиРан» на 1,1%. В микропрепарате – участки зрелой грануляционной ткани, заметное уменьшение числа очагов кровоизлияний. Строма грануляционной ткани с образованием коллагеновых волокон,

пролиферацией фибробластов, сосуды с пролиферацией эндотелия. Отмечается макрофагальная и диффузная умеренно выраженная сегментоядерная инфильтрация и уменьшением обсеменения кокковой флорой (при окраске по Романовскому–Гимзе – позитивная, PAS – негативная) (Рисунок 3.9). На этом этапе рану сочли готовой к выполнению кожной пластики, которая и была произведена.

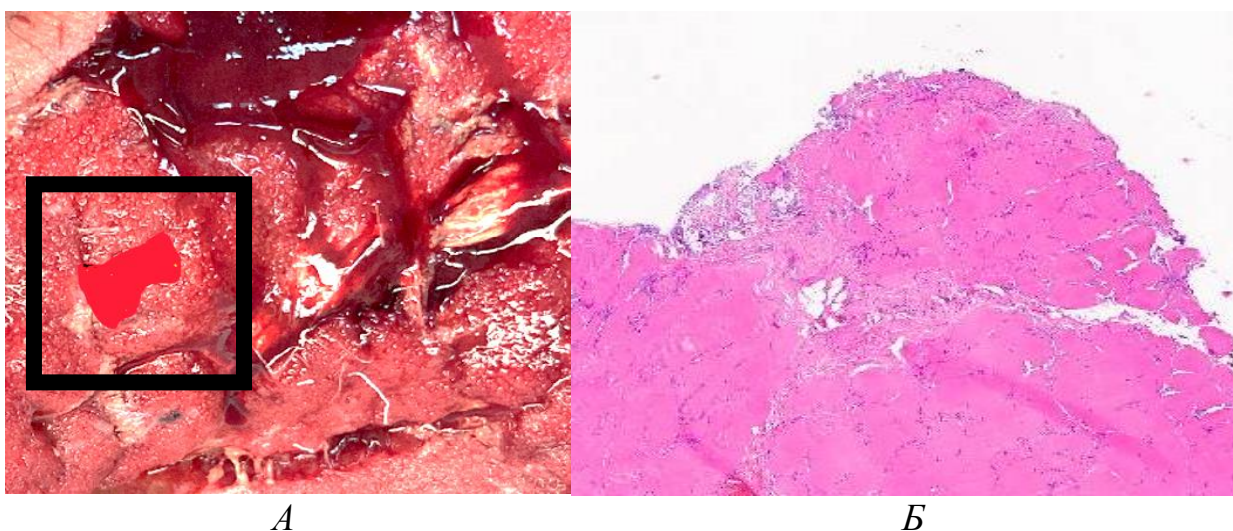


Рисунок 3.9 – Оценка тканей на 14-е сутки: *А* – программа «АналиРан»; *Б* – гистологическое исследование (окраска гематоксилином и эозином, увеличение $\times 200$)

3.2. Оценка результатов пластического закрытия раневого дефекта

У всех 30 пациентов были выполнены операции кожной пластики. Показания к операции определяли по данным визуального инспектирования раны и по шкале Бейтс–Дженсен, согласно которой оценка раны должна была находиться в диапазоне «регенерация» (интервал от 13 до 39 баллов).

Из 30 выполненных реконструктивных операций у 13 (43,3%) человек раневой дефект был закрыт свободными расщеплёнными кожными трансплантатами, у 9 (30,0%) – перемещёнными кожными лоскутами, у 8 (26,7%) – свободными полнослойными лоскутами. Осложнения в виде неприживления всего или большей части лоскута отмечены у 5 (16,7%) человек.

У 25 пациентов, где пластика оказалась успешной, доля тканей 3-го типа, определённая с учётом корреляционного коэффициента по программе «АналиРан», превысила 90%, а доля тканей 1-го типа была меньше 3% (Таблица 3.3).

Таблица 3.3 – Характер тканей огнестрельных ран к моменту выполнения кожной пластики (средние значения в % к общей площади раны с учётом корреляционного коэффициента)

| Типы | Успешная пластика (n=25) | Осложнения (n=5) |
|------|--------------------------|------------------|
| 1-й | 1,8 (0,9–3,0) | 4,2 (3,3–5,1) |
| 2-й | 2,4 (0,5–6,9) | 10,5 (14,8–6,2) |
| 3-й | 95,8 (90,1–98,6) | 85,3 (80,1–88,6) |

Отмечено, что во всех случаях неудачи кожной пластики показатель шкалы Бейтс–Дженсен превысил 25 баллов, а при успешных операциях был ниже этого значения. От размера и расположения раны в значительной степени зависела хирургическая тактика по закрытию раневого дефекта. Мы считали, что при поверхностных дефектах мягких тканей возможно закрытие расщеплённым аутодермотрансплантатом. Показанием к закрытию дефекта свободным полнослойным лоскутом считали обширные раны с дефектом мышечной ткани, наличием в ране сухожилий и сосудисто-нервных образований.

При наличии в ране дефекта костной ткани и в случае проникающего ранения с поражением суставов преимущественно использовали несвободную пластику.

3.3. Алгоритм выбора хирургической тактики

На основании анализа наблюдений, произведённых на первом этапе исследования, нами был разработан алгоритм принятия решения о возможности выполнения закрытия раневого дефекта и характере операции. Реализация алгоритма предусматривает 4 последовательных этапа (Рисунок 3.10).

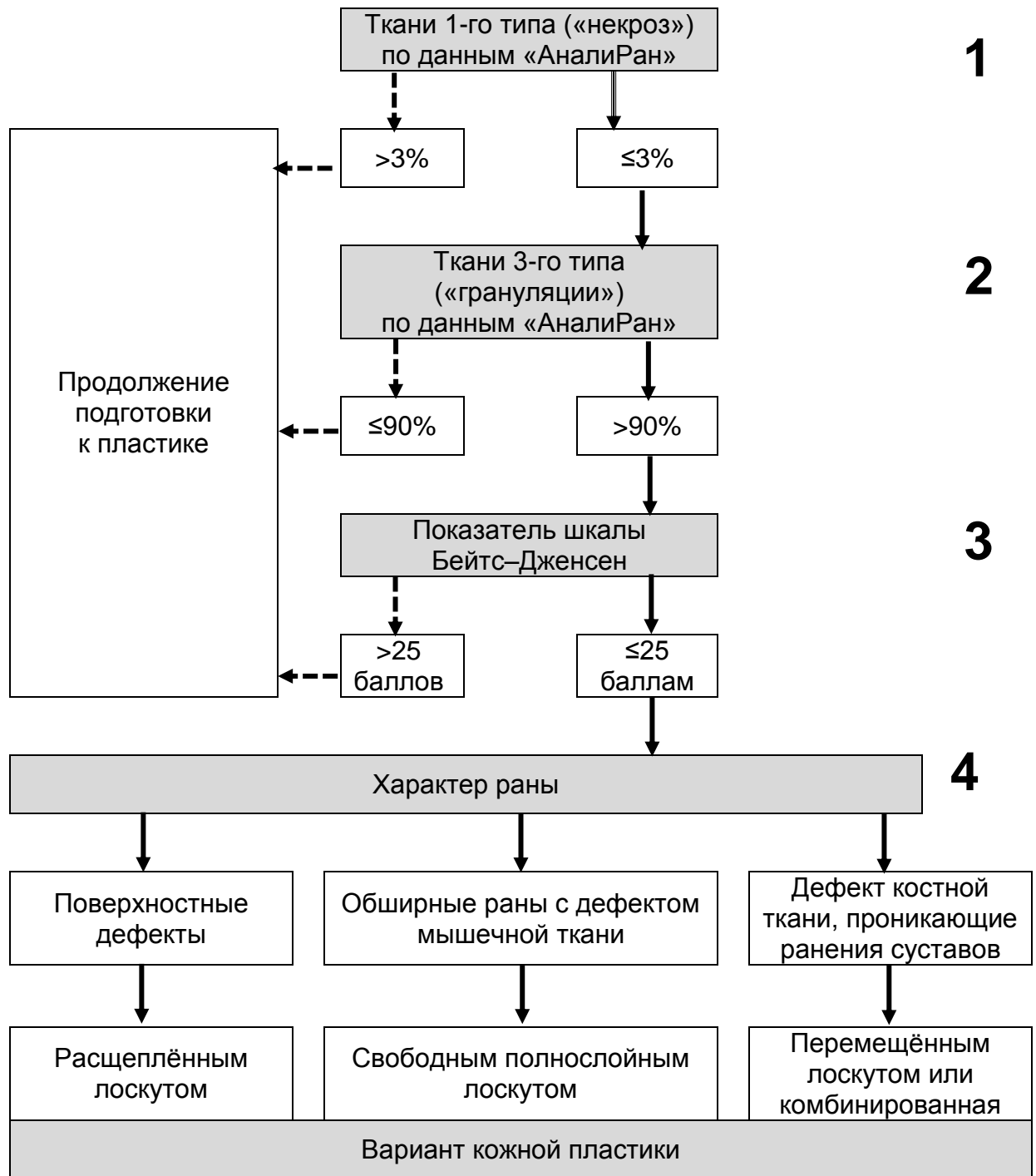


Рисунок 3.10 – Алгоритм принятия решения о выполнении кожной пластики огнестрельной раны

Сначала тестировали ткани, выполняющие рану, с помощью программы «АналиРан», применяя при этом корректировочные коэффициенты, рассчитанные с учетом результатов проведенных гистологических исследований.

На первом этапе определяли с помощью программы «АналиРан» доли тканей 1-го типа, состояние которых оценивали как «некроз». Если доля таких

тканей не превышала 3%, переходили ко второму этапу, определяя с помощью той же программы долю тканей 3-го типа. Превышение доли таких тканей значения 90% позволяло переходить к третьему этапу, в ходе которого для оценки раны применяли шкалу Бейтс–Дженсен. Сумма баллов, находящаяся в оценочном диапазоне «регенерация» и не превышающая 25 баллов, в совокупности с ранее полученными показателями, означала, что рана готова к завершающему реконструктивному этапу хирургического лечения. Для определения характера планируемой кожной пластики на четвёртом этапе алгоритма учитывали характер ранения. Закрытие дефекта с помощью расщеплённого свободного кожного лоскута считали целесообразным, если имелся поверхностный дефект мягких тканей. При обширных дефектах мышечной ткани предпочтение отдавали свободной пластике полнослойными лоскутами, а при костных дефектах и проникающих в сустав ранениях – несвободной пластике перемещёнными лоскутами или комбинированной пластике с частичным закрытием дефекта расщеплённым аутодермотрансплантатом.

Следует обратить внимание, что данный алгоритм ориентирован на оценку только локального статуса, то есть состояния раны. Для принятия окончательного решения о возможности выполнения реконструктивной операции необходимо учитывать и общее состояние пациента, степень компенсации его гомеостаза, сопутствующие патологии, в том числе инфекционные процессы, которые могут служить противопоказанием к любому хирургическому вмешательству.

Тестирование раны по разработанному алгоритму выполняли в различные сроки наблюдения, и в соответствии с его рекомендациями осуществляли реконструктивную операцию сразу же, как только это становилось возможным.

ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЛЕЧЕНИЯ (ВТОРОЙ ЭТАП ИССЛЕДОВАНИЯ)

В соответствии с разработанным алгоритмом проведено лечение 64 пациентов, которые были разделены на две группы. В группе контроля (n=33) лечение проводили с применением вакуум-терапии в режиме постоянной аспирации, с уровнем отрицательного давления 120 мм рт. ст.

В основной группе (n=31) дополнительно при ПХО на рану воздействовали узкополосным лазерным излучением с длиной волны 980 нм. Данные методики описаны в главе 2.

Перед началом лечения и в процессе наблюдения состояние раны определяли с помощью программы «АналиРан» и по шкале Бейтс–Дженсен.

По всем основным параметрам к началу лечения пациенты обеих групп были сопоставимы ($p > 0,05$) (Таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Характеристика пациентов второго этапа исследования

| Показатели | Основная группа (n=31) | | Группа контроля (n=33) | | Разница | p |
|---------------------------------|---------------------------|------------------------|---------------------------|------------------------|---------|-------|
| | Среднее | Стандартное отклонение | Среднее | Стандартное отклонение | | |
| ИМТ | 26,3 | 3,1 | 26,4 | 3,1 | 0,1 | 0,963 |
| Площадь раны (см ²) | 143,0 | 39,6 | 135,3 | 31,5 | 7,7 | 0,391 |
| Время (сутки) | 4,5 | 1,6 | 4,4 | 1,4 | 0,1 | 0,737 |
| Оценка ВПХ-П (ОР) (баллы) | 5,3 | 1,9 | 5,1 | 1,4 | 0,2 | 0,630 |
| Грануляции (%) | 47,8 | 18,8 | 54,2 | 16,4 | 6,4 | 0,154 |
| Некроз (%) | 25,2 | 12,3 | 23,8 | 9,3 | 1,4 | 0,598 |
| Фибрин (%) | 23,2 | 9,2 | 24,2 | 8,4 | 1,0 | 0,654 |

4.1. Группа контроля

Пациентам группы контроля (n=33) проводили лечение по традиционной методике с применением вакуум-терапии.

Площадь раны

Ни одну рану после хирургической обработки не ушивали наглухо, планируя в дальнейшем выполнение кожной пластики. Однако в процессе лечения площадь ран существенно уменьшалась. К 7-м суткам наблюдения средняя площадь ран снизилась в 1,4 раза (с 135,3 до 99,4 см²), что составило 26,4% ($p < 0,05$). В дальнейшем существенной динамики изменения площади ран не отмечалось, и к 14-м суткам среднее значение этого показателя в группе контроля составило 93,3 см² ($p > 0,05$).

Состояние тканей в ране

Площадь тканей с различными характеристиками определяли с помощью программы «АналиРан», применяя рассчитанный на первом этапе исследования поправочный коэффициент. Площадь тканей 1-го типа («некроз») к началу лечения составила в среднем 17,5% от общей площади раны. В процессе лечения эта доля снижалась: к 7-м суткам она составила 9,6%, а к 14-к суткам – 2,6%.

Площадь тканей 2-го типа («фибрин») к началу лечения составила в среднем 25,1% от общей площади раны. К 3-м и 7-м суткам наблюдения она существенно не изменилась, составив 29,8 и 30,0% соответственно, но к 14-м суткам значительно уменьшилась, составив 5,0%.

Площадь тканей 3-го типа («грануляции») к началу лечения составила 57,4% от общей площади раны. Эта доля существенно увеличилась только к 10-м суткам, а к 14-м суткам составила 92,4% (Таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Соотношение раневых тканей у пациентов группы контроля (средние значения в %)

| Сроки наблюдения | 1-й тип | 2-й тип | 3-й тип | Количество пациентов* |
|------------------|---------|---------|---------|-----------------------|
| К началу лечения | 17,5 | 25,1 | 57,4 | 33 |
| 3-и сутки | 12,4 | 29,8 | 57,8 | 33 |
| 7-е сутки | 9,6 | 30,0 | 60,4 | 33 |
| 10-е сутки | 4,2 | 12,6 | 83,2 | 30 |
| 14-е сутки | 2,6 | 5,0 | 92,4 | 21 |

*В процессе наблюдения по мере готовности раны (в соответствии с алгоритмом) части пациентов выполняли пластическое закрытие раневого дефекта раньше 14 суток.

Обращает внимание значительное изменение соотношения тканей в ране в интервале от 7 до 10 суток, в течение которого доля тканей 1-го типа уменьшилась в 2,3 раза, а доля тканей 3-го типа возросла на 22,8% (Рисунок 4.1).

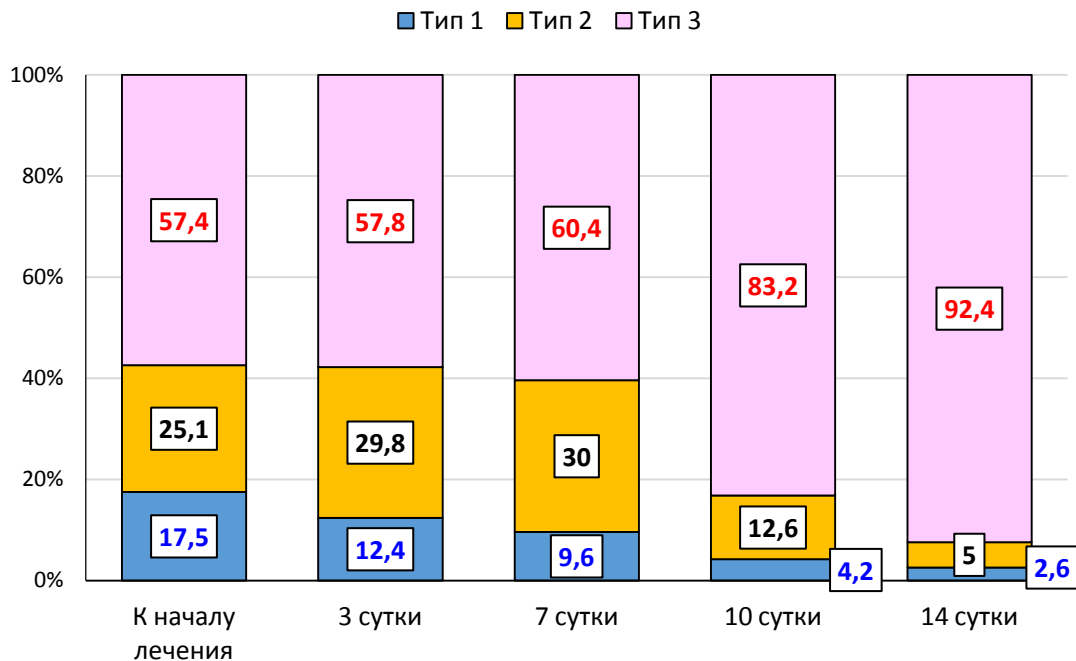


Рисунок 4.1 – Динамика состояния тканей по данным программы «АналиРан» (средние значения в %) у пациентов группы контроля

Показатели шкалы Бейтс–Дженсен

Средний показатель снижался в течение всего периода наблюдения: к 7-м суткам он подошёл к верхней границе диапазона «регенерация», к 10-м суткам переместился в этот диапазон, к 14-м суткам соответствовал рекомендованному алгоритмом значению (<25 баллов), при котором возможно выполнение кожной пластики (Рисунок 4.2).

Сроки выполнения кожной пластики

Показания к пластическому закрытию раневого дефекта определяли в соответствии с разработанным алгоритмом. Учитывали долю тканей 1-го и 3-го типов, а также показатель шкалы Бейтс–Дженсен. Большинству (51,5%) пациентов кожная пластика была выполнена в интервале 14–16 суток после

начала лечения, максимальный срок составил 19 суток, а среднее значение этого показателя – 14,6 суток (Рисунок 4.3).

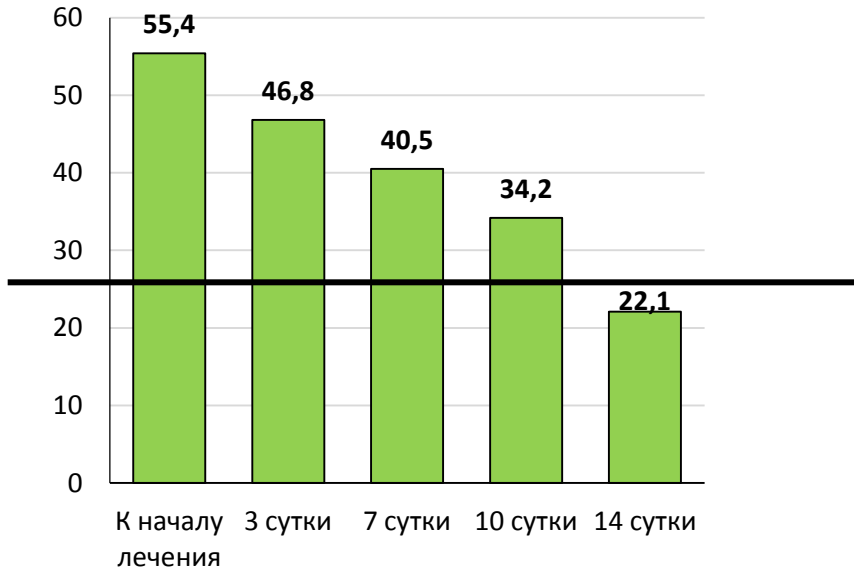


Рисунок 4.2 – Динамика средних показателей шкалы Бейтс–Дженсен (в баллах) у пациентов группы контроля

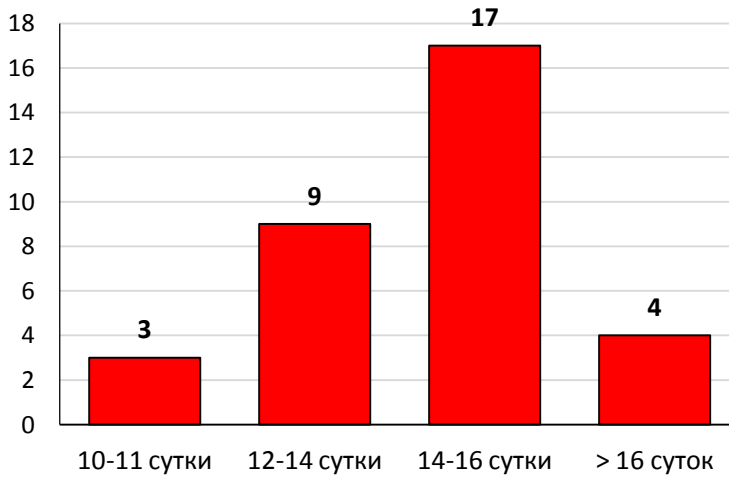


Рисунок 4.3 – Сроки выполнения кожной пластики в группе контроля (количество пациентов)

Осложнения

В группе контроля зафиксировано 3 осложнения: в 2 случаях развились частичные некрозы перемещённых лоскутов, не потребовавшие выполнения

повторной пластики, и в 1 наблюдении после замещения дефекта свободным расщеплённым аутодермотрансплантатом отмечено его отторжение на площади 35%, что потребовало выполнения повторной пластики.

Клинический пример № 1

Военнослужащий П., 33 года, получил огнестрельное осколочное ранение левой нижней конечности с переломом левой бедренной кости и обширным дефектом мягких тканей. Первая помощь оказана на месте ранения. При поступлении в медицинский отряд раненому выполнены ПХО раны левого бедра и фиксация перелома в аппарате комплекта стержневого военно-полевого (КСВП). Через 2-е суток пациент доставлен в госпиталь. При поступлении по данным анализа цифрового изображения раны с помощью программы «АналиРан» площадь раны – 105,4 см²; характер тканей с учётом коэффициента корреляции: 1-й тип – 13,2%, 2-й тип – 22,7%, 3-й тип – 64,1%. По шкале Бейтс–Дженсена – 46 баллов (Рисунок 4.4).

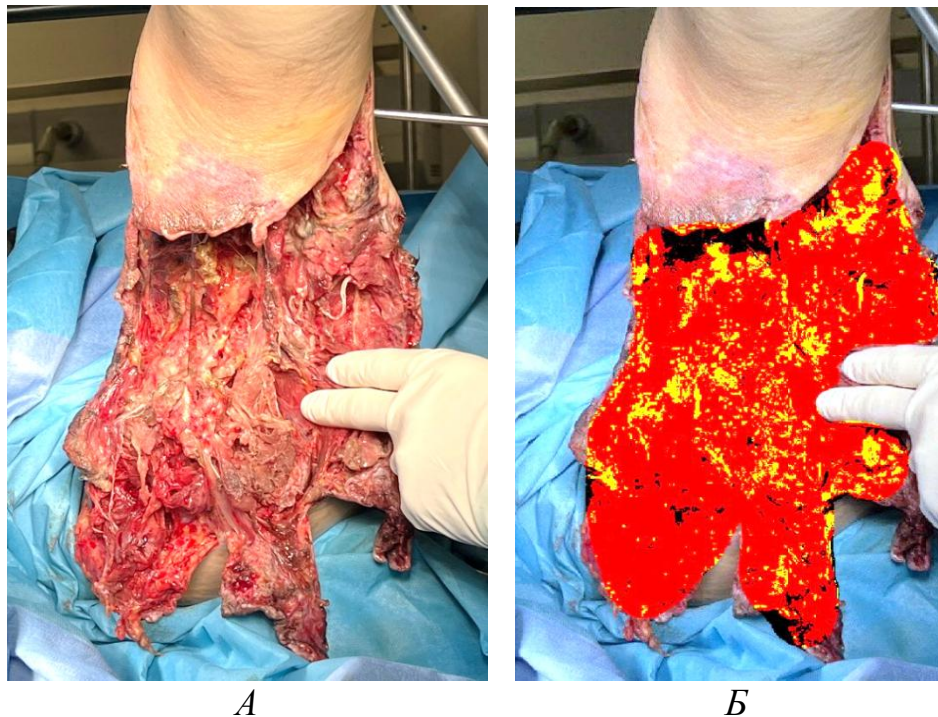


Рисунок 4.4 – Пациент П. Огнестрельная рана перед началом лечения: *А* – внешний вид; *Б* – цифровое изображение при использовании программы «АналиРан»

Выполнены повторная хирургическая обработка и дебридмент с удалением некротизированных тканей и обильным промыванием жидкостью системой пульсирующей струи под давлением.

Начата вакуумная терапия с постоянным уровнем отрицательного давления 120 мм рт. ст. (Рисунок 4.5).

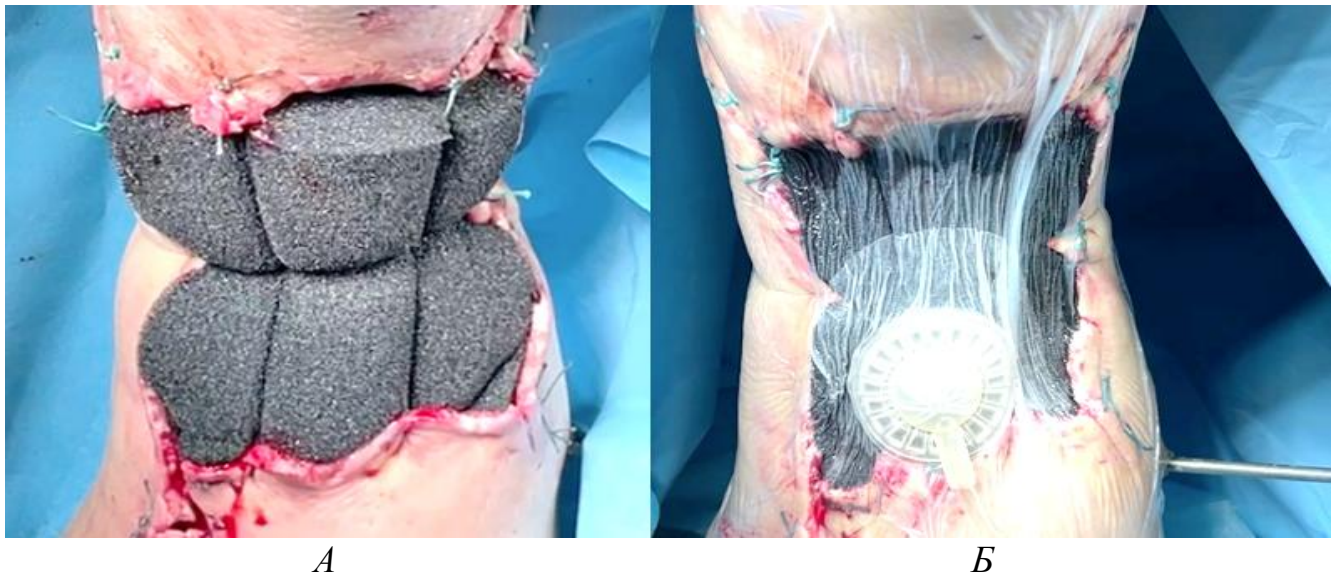


Рисунок 4.5 – Пациент П., вакуумная терапия: *А* – наложена повязка; *Б* – создание отрицательного давления в ране

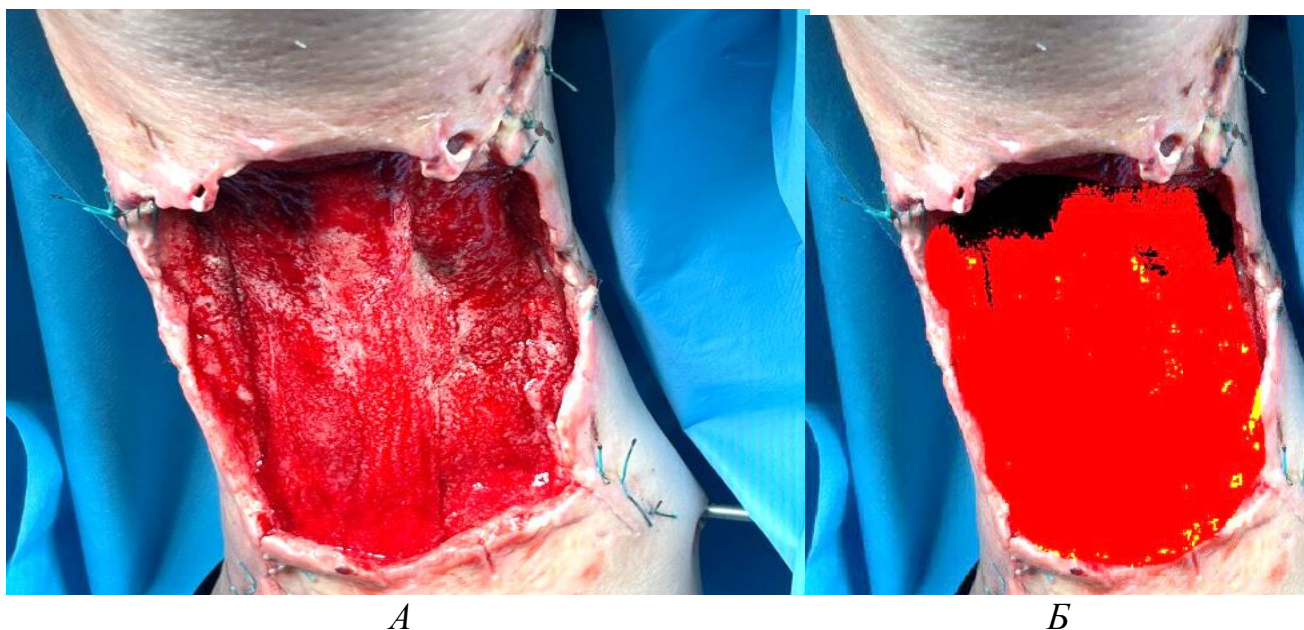
При каждой перевязке повторно проводили тестирование раневых тканей с помощью программы «АналиРан».

К 7-м суткам доля тканей 1-го типа («некроз») снизилась в 1,6 раза, а к 14-м суткам – в 4,6 раза, уменьшившись до предусмотренного алгоритмом для выполнения кожной пластики уровня (меньше 3%), однако остальные указанные в алгоритме показатели к этому времени ещё не достигли требуемых значений: доля тканей 1-го типа составила 87,4%, а сумма баллов по шкале Бейтс–Дженсен – 29 баллов (Таблица 4.3).

Только к 16-м суткам все показатели, предусмотренные алгоритмом, достигли требуемого уровня (Рисунок 4.6), в связи с чем были определены показания к выполнению кожной пластики.

Таблица 4.3 – Оценка состояния раны у пациента П.

| Сроки наблюдения | Данные программы «АналиРан» (%) | | Данные шкалы Бейтс–Дженсен (баллы) |
|----------------------|---------------------------------|-------------|------------------------------------|
| | Некроз | Грануляции | |
| Требования алгоритма | ≤ 3 | > 90 | ≤ 25 |
| К началу лечения | 13,2 | 64,1 | 46 |
| 7-е сутки | 8,5 | 61,8 | 42 |
| 14-е сутки | 2,9 | 87,4 | 29 |
| 16-е сутки | 1,3 | 93,3 | 22 |

Рисунок 4.6 – Пациент П. Огнестрельная рана на 16-е сутки: *А* – внешний вид; *Б* – цифровое изображение при использовании программы «АналиРан»

Поскольку рана была проникающей в сустав, реконструктивно-пластическое замещение дефекта в соответствии с алгоритмом было выполнено методом несвободной пластики суральным лоскутом.

Приживление лоскута было полное, осложнений не было (Рисунок 4.7).

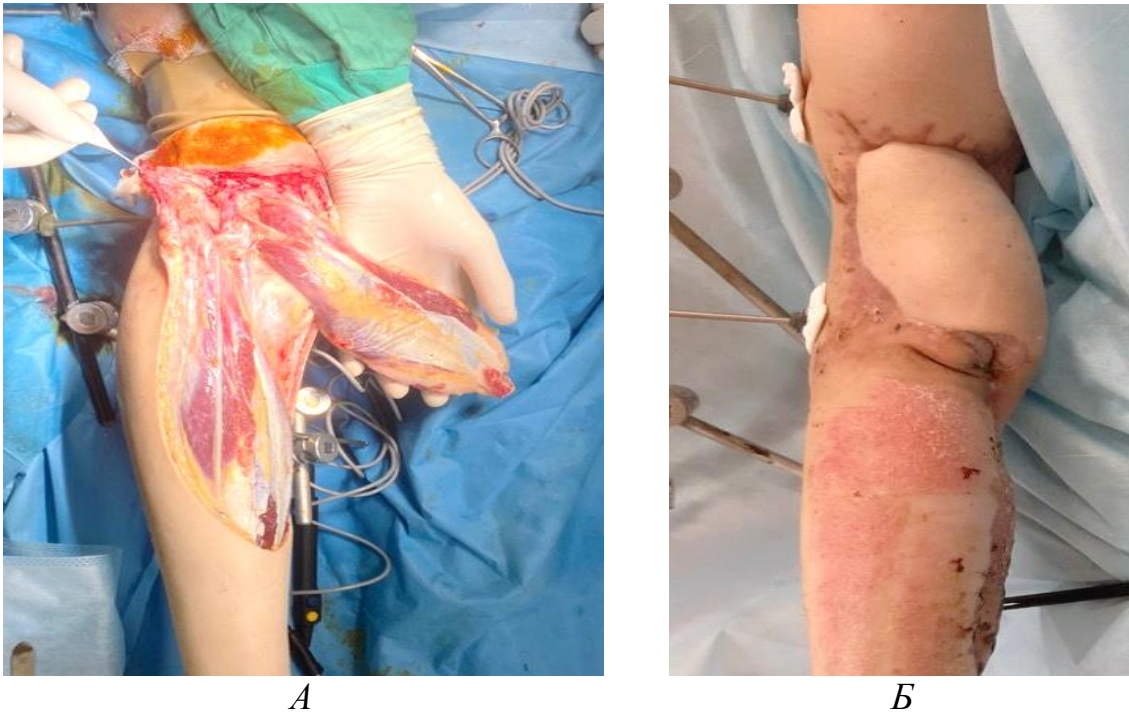


Рисунок 4.7 – Пациент П. Кожная пластика: *А* – выделен суральный лоскут; *Б* – вид раны на 20-е сутки после операции

4.2. Основная группа

Пациентам основной группы проводили лечение по нашей методике, в соответствии с которой наряду с применением вакуум-терапии использовали однократное лазерное облучение раны в конце её хирургической обработки.

Площадь раны

Ни одну рану после хирургической обработки не ушивали наглухо, планируя в дальнейшем выполнение кожной пластики. Однако в процессе лечения площадь ран существенно уменьшалась.

К 7-м суткам наблюдения средняя площадь ран снизилась в 1,5 раза (с 143,3 до 97,4 см²), что составило 32,9% ($p < 0,05$).

В дальнейшем динамика сокращения площади ран была уже не столь выражена, и к 14-м суткам у пациентов, которым к этому времени еще не была выполнена кожная пластика, среднее значение данного показателя в основной группе составило 88,4 см².

Состояние тканей в ране

Площадь тканей с различными характеристиками определяли с помощью программы «АналиРан», применяя рассчитанный на первом этапе исследования поправочный коэффициент.

Площадь тканей 1-го типа («некроз») к началу лечения составила в среднем 19,5% от общей площади раны. В процессе лечения эта доля снизилась к 7-м суткам в 3,7 раза (до 5,3%) и к 14-м суткам составила 0,5%.

Площадь тканей 2-го типа («фибрин») к началу лечения составила в среднем 25,1% от общей площади раны. Существенное снижение доли этих тканей отмечено к 7-м суткам (в 4,5 раза), и к 14-м суткам она составила 3,3%.

Площадь тканей 3-го типа («грануляции») к началу лечения составила 55,4% от общей площади раны. Эта доля существенно увеличилась только к 7-м суткам (на 33,7%) и к 14-м суткам составила 96,2% (Таблица 4.4).

Таким образом, уже к 3-м суткам доля тканей 1-го типа уменьшилась в 2,1 раза, а доля тканей 3-го типа возросла на 23,0% (Рисунок 4.8).

Таблица 4.4 – Соотношение раневых тканей у пациентов основной группы (средние значения в %)

| Сроки наблюдения | 1-й тип | 2-й тип | 3-й тип | Количество пациентов* |
|------------------|---------|---------|---------|-----------------------|
| К началу лечения | 19,5 | 25,1 | 55,4 | 31 |
| 3-и сутки | 9,1 | 12,5 | 78,4 | 31 |
| 7-е сутки | 5,3 | 5,6 | 89,1 | 23 |
| 10-е сутки | 1,5 | 5,4 | 93,1 | 13 |
| 14-е сутки | 0,5 | 3,3 | 96,2 | 3 |

*В процессе наблюдения по мере готовности раны (в соответствии с алгоритмом) части пациентов выполняли пластическое закрытие раневого дефекта раньше 14 суток.

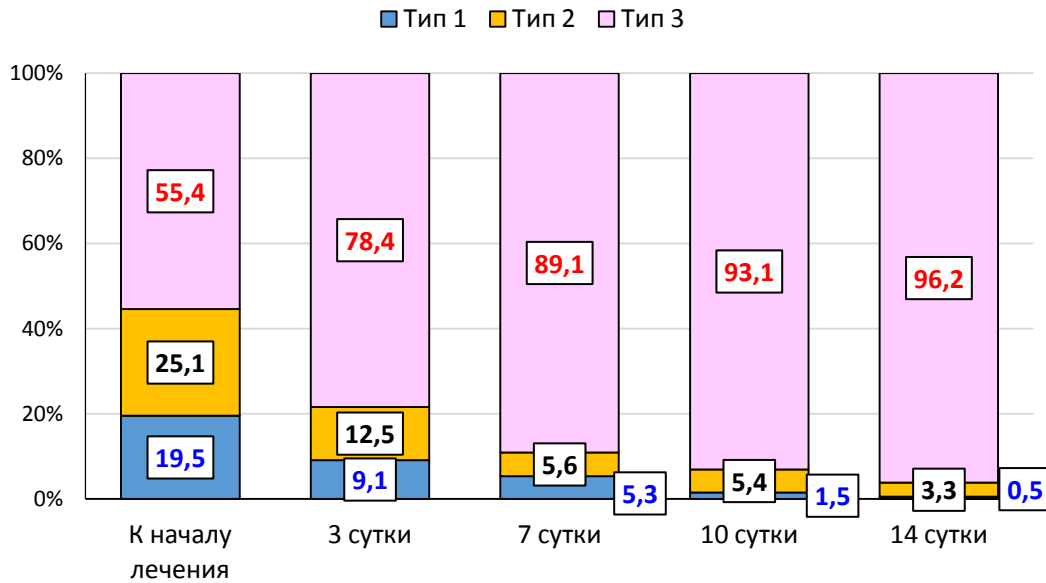


Рисунок 4.8 – Динамика состояния тканей по данным программы «АналиРан» (средние значения в %) у пациентов основной группы

Показатели шкалы Бейтс–Дженсен

Средний показатель снижался в течение всего периода наблюдения: к 7-м суткам он подошёл к верхней границе диапазона «регенерация», к 10-м суткам переместился в этот диапазон, к 14-м суткам соответствовал рекомендованному алгоритмом значению (<25 баллов), при котором возможно выполнение кожной пластики (Рисунок 4.9).

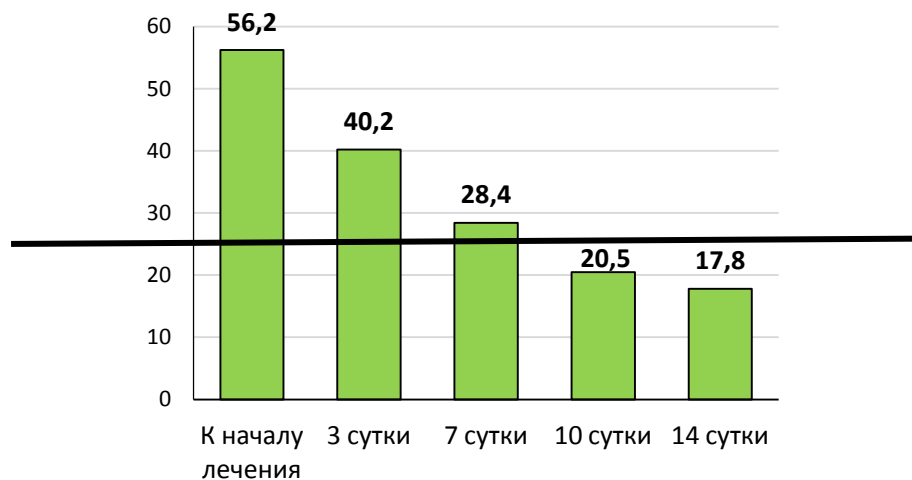


Рисунок 4.9 – Динамика средних показателей шкалы Бейтс–Дженсен (в баллах) у пациентов основной группы

Сроки выполнения кожной пластики

Показания к пластическому закрытию раневого дефекта определяли в соответствии с разработанным алгоритмом, учитывали долю грануляционных и некротических тканей, а также показатель шкалы Бейтс–Дженсен.

Большинству (67,7%) пациентов кожная пластика была выполнена в интервале 7–11-х суток после начала лечения, причём в 9 (29,0%) случаях – до 9-х суток. Максимальный срок составил 16 суток, а среднее значение этого показателя – 10,7 суток (Рисунок 4.10).

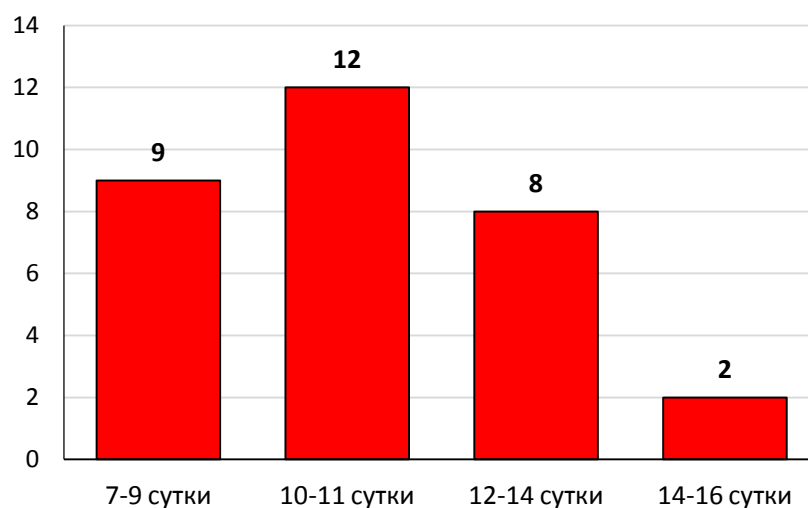


Рисунок 4.10 – Сроки выполнения кожной пластики в основной группе (количество пациентов)

Осложнения

В основной группе осложнений не зафиксировано. Во всех случаях кожная пластика была успешной и привела к закрытию раневого дефекта.

Клинический пример № 2

Пациент А., 39 лет, получил огнестрельное осколочное ранение правой верхней конечности с дефектом костной и мягких тканей, многооскольчатый переломом правой плечевой кости в верхней трети. Поступил в госпиталь на 4-е сутки после ранения с частично ушитой раной и чрескостной фиксацией в стержневом аппарате (Рисунок 4.11).



Рисунок 4.11 – Пациент А. Внешний вид области ранения при поступлении

При повторной первичной хирургической обработке швы с раны сняты, выявлены обширные участки с некротическими тканями и участками фибрина (Рисунок 4.12).



А



Б

Рисунок 4.12 – Пациент А. Огнестрельная рана перед началом лечения: *А* – внешний вид; *Б* – цифровое изображение при использовании программы «АналиРан»

По данным анализа цифрового изображения раны с помощью программы «АналиРан» характер тканей с учётом коэффициента корреляции: 1-й тип – 23,9%, 2-й тип – 32,7%, 3-й тип – 43,4%. По шкале Бейтс–Дженсена – 42 балла.

В ходе хирургической обработки рана обильно промыта антисептиком с применением пульсирующей струи, выполнено иссечение некротизированных тканей, удалены участки раны, покрытые фибрином, выявлен «карман» по направлению к локтевому суставу, который вскрыт, удалены инородные тела (осколки) и нежизнеспособные костные отломки (Рисунок 4.13).



Рисунок 4.13 – Пациент А. Внешний вид огнестрельной раны после первичной хирургической обработки

Завершив хирургическую обработку раны, выполнили лазерное облучение на аппарате с узкополосным спектром «FiberLase CR» с длиной волны 980 нм, в режиме средней мощности 3 Вт, временем экспозиции 7 минут, после чего смонтировали систему вакуумного дренирования.

В рану уложили губку, фиксировали её наводящими швами, герметично закрыли рану специальной плёнкой, подключили вакуумный порт и портативный вакуумный аппарат с приемником отделяемого, оснащённый антибактериальным фильтром (Рисунок 4.14). С первых суток вакуумной терапии установили

постоянный уровень отрицательного давления 120 мм рт. ст. Вакуумную повязку меняли в среднем через каждые 72 часа. Проводили комплексное лечение, включающее коррекцию общего состояния. Антибактериальную терапию проводили с первого дня, корректируя назначения с учётом результатов бактериологического исследования и чувствительности патогенных микроорганизмов к антибиотикам.



Рисунок 4.14 – Пациент А. Наложена вакуумная повязка

При каждой перевязке повторно проводили тестирование раневых тканей с помощью программы «АналиРан». К 3-м суткам доля тканей 1-го типа снизилась в 2,6 раза и составила 9,3%. К 7-м суткам доли тканей 1-го и 3-го типов приблизились к рекомендованному алгоритмом уровню для возможного выполнения кожной пластики, но ещё не достигли его. К 10-м суткам необходимые значения были достигнуты, а сумма баллов по шкале Бейтс–Дженсен снизилась до 20, что дало возможность определить показания для

выполнения реконструктивного этапа лечения с закрытием раневого дефекта (Таблица 4.5).

Таблица 4.5 – Оценка состояния раны у пациента А.

| Сроки наблюдения | Данные программы «АналиРан» (%) | | Данные шкалы Бейтс–Дженсен (баллы) |
|----------------------|---------------------------------|-------------|------------------------------------|
| | 1-й тип | 3-й тип | |
| Требования алгоритма | ≤ 3 | > 90 | ≤ 25 |
| К началу лечения | 23,9 | 43,4 | 55 |
| 3-и сутки | 9,3 | 72,6 | 43 |
| 7-е сутки | 3,6 | 88,5 | 34 |
| 10-е сутки | 1,1 | 94,2 | 20 |

Поскольку рана сопровождалась переломом плечевой кости с дефектом костной ткани, согласно алгоритму была выполнена кожная пластика несвободным торакодорзальным лоскутом, которая ввиду обширности раны была дополнена укрытием оставшегося раневого дефекта расщеплённым аутодермотрансплантатом (Рисунок 4.15).



Рисунок 4.15 – Пациент А. Внешний вид после выполненной пластики

Приживление лоскутов полное, перелом сросся, результат признан отличным (Рисунок 4.16).



Рисунок 4.16 – Пациент А. через 5 месяцев после операции

Клинический пример № 3

Пациент Н., 31 год, получил огнестрельное осколочное ранение левой верхней конечности с переломом левой плечевой кости и обширным дефектом мягких тканей. Первая помощь оказана на месте ранения. При поступлении в медицинский отряд раненому выполнены ПХО раны левого плеча и фиксация перелома в аппарате КСВП. Через сутки пациент авиационным транспортом был доставлен в госпиталь. На момент поступления по данным анализа цифрового изображения раны с помощью программы «АналиРан» характер тканей с учетом коэффициента корреляции: 1-й тип – 13,5%, 2-й тип – 24,8%, 3-й тип – 61,7%. По шкале Бейтс–Дженсен – 45 баллов (Рисунок 4.17).

Выполнены повторная хирургическая обработка раны и дебридмент с удалением некротизированных тканей и обильным промыванием жидкостью с применением системы пульсирующей струи под давлением. Завершив хирургическую обработку раны, выполнили лазерное облучение на аппарате с узкополосным спектром «FiberTare CR» с длиной волны 980 нм, в режиме средней мощности 3 Вт, с временем экспозиции 7 минут. После чего смонтировали систему вакуумного дренирования, установив постоянный уровень отрицательного давления 120 мм рт. ст. (Рисунок 4.18).

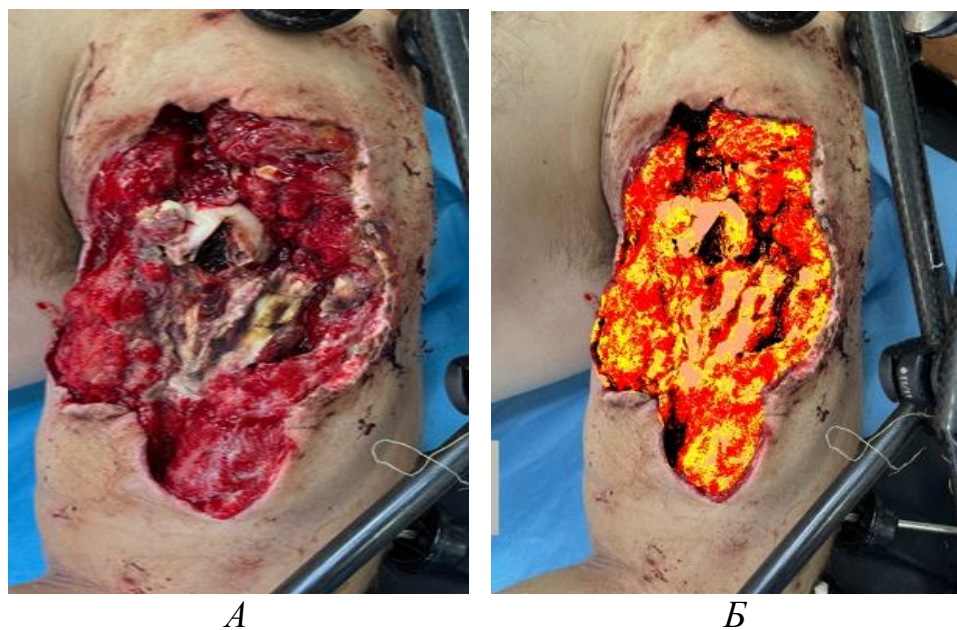


Рисунок 4.17 – Пациент Н. Огнестрельная рана перед началом лечения: *А* – внешний вид; *Б* – цифровое изображение при использовании программы «АналиРан»

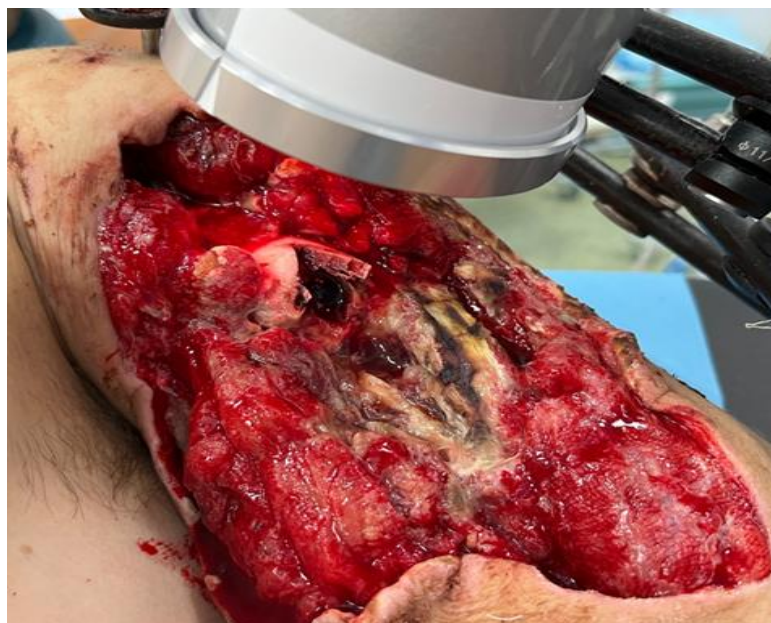


Рисунок 4.18 – Пациент Н. Лазерное облучение раны

При каждой перевязке повторно проводили тестирование раневых тканей с помощью программы «АналиРан». Уже к 7-м суткам были достигнуты следующие значения исследуемых показателей: ткани 1-го типа – 1,6%, ткани 3-

го типа – 91,3%. По шкале Бейтс–Дженсен – 21 балл.

На основании этих данных (Рисунок 4.19, Таблица 4.6) и руководствуясь требованиями алгоритма, были определены показания к выполнению кожной пластики.

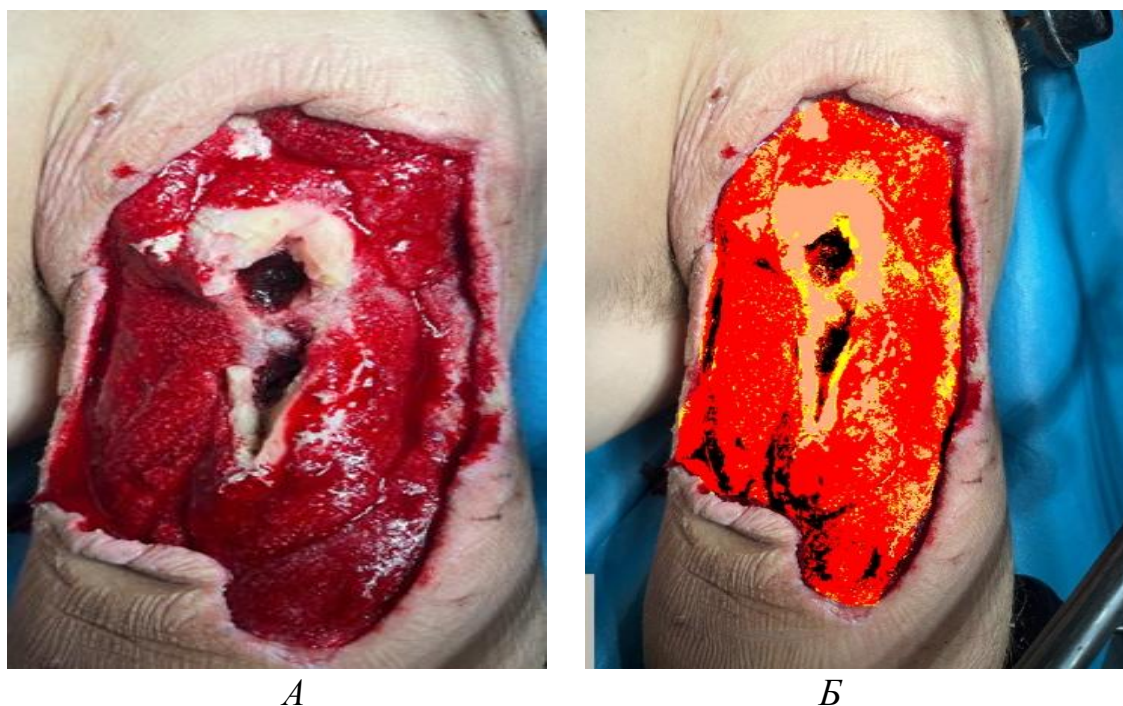


Рисунок 4.19 – Пациент Н. Рана на 7-е сутки: *А* – внешний вид; *Б* – цифровое изображение при использовании программы «АналиРан»

Таблица 4.6 – Оценка состояния раны у пациента Н.

| Сроки наблюдения | Данные программы «АналиРан» (%) | | Данные шкалы Бейтс–Дженсена (баллы) |
|----------------------|---------------------------------|-------------|-------------------------------------|
| | Некрот | Грануляции | |
| Требования алгоритма | ≤ 3 | > 90 | ≤ 25 |
| К началу лечения | 13,5 | 61,7 | 45 |
| 3-и сутки | 5,8 | 83,5 | 34 |
| 7-е сутки | 1,6 | 91,3 | 21 |

В соответствии с алгоритмом была выполнена комбинированная пластика с укрытием раневого дефекта несвободным торакодорзальным лоскутом и расщеплённым аутодермотрансплантатом. Трансплантаты полностью прижились,

перелом сросся (Рисунок 4.20).



Рисунок 4.20 – Пациент Н. через 4,5 месяца после операции

ГЛАВА 5. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Сравнительный анализ полученных результатов был проведён между двумя группами наблюдения.

В основной группе (n=31) пациентам в комплексе лечения при завершении хирургической обработки раны однократно выполняли её лазерное облучение с длиной волны 980 нм, после чего проводили вакуумную терапию в режиме постоянной аспирации, с уровнем отрицательного давления 120 мм рт. ст.

В группе контроля (n=33) лазерное облучение не проводили, ограничившись только вакуумной терапией.

Обе группы были сопоставимы по всем основным параметрам, включая как общие характеристики (возраст, ИМТ, сроки с момента ранения), так и состояние ран (локализация, тяжесть ранения по шкале ВПХ-П (ОР), площадь, тип раневых тканей).

Площадь ран

Изменение площади раны мы не считали существенным критерием для оценки её готовности к пластическому закрытию раневого дефекта. Площадь и глубина всех ран согласно критериям включения были достаточно значительными, что не позволяло рассчитывать на возможность самостоятельного заживления. Тем не менее площадь ран менялась в процессе наблюдения за счёт наложения наводящих швов при проведении вакуум-терапии, а также их контракции и краевой эпителизации (Рисунок 5.1).

Таким образом, наиболее выраженное уменьшение площади ран отмечено к 3-м суткам после их хирургической обработки, а после 7-х суток площадь почти не изменялась. Влияние лазерной обработки (основная группа) также не прослеживается. Хотя изначальная площадь ран в среднем была больше в основной группе на 7,7 см², а к концу наблюдения – меньше на 4,9 см², эти отличия не являются значимыми ни статистически ($p > 0,05$), ни клинически.

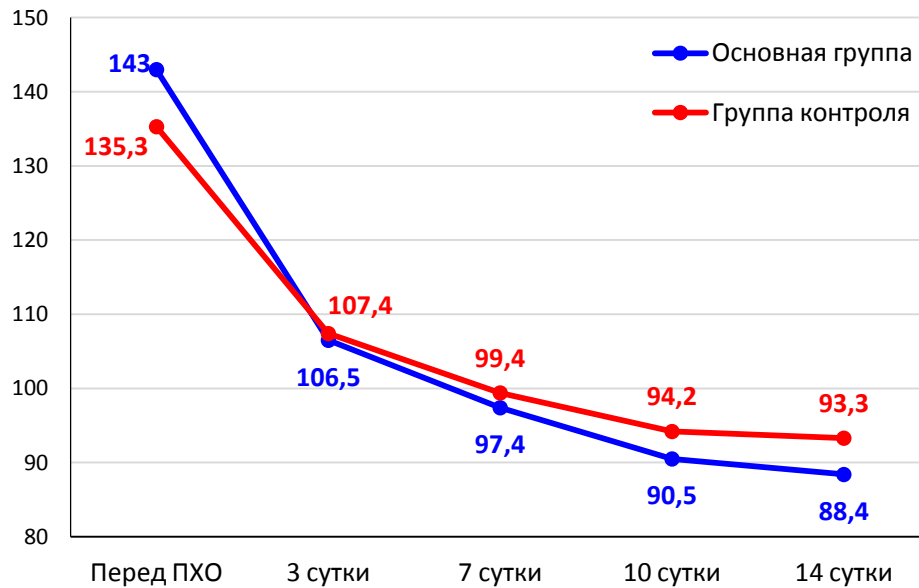


Рисунок 5.1 – Динамика средних значений площади ран (см²)

Состояние тканей в ране

Несмотря на проведение хирургической обработки, в ходе которой визуально определяемые некротические ткани были иссечены, к 3-м суткам после операции их доля в обеих группах оставалась достаточно высокой, что обусловлено спецификой огнестрельных ран с обширными зонами вторичных некрозов. В основной группе уменьшение доли тканей 1-го типа происходило существенно быстрее: к 7-м суткам наблюдения эта доля была меньше, чем в группе контроля, в 1,8 раза ($p < 0,01$). В дальнейшем площадь некротических тканей равномерно снижалась, однако и в эти сроки преимущество основной группы составило к 10-м суткам 2,7% (в 2,8 раза), а к 14-м суткам – 2,1% (в 5,2 раза). При этом снижение доли некротических тканей до величин, при которых в соответствии с разработанным алгоритмом становится возможным выполнение кожной пластики, в основной группе было достигнуто уже к 10-м суткам, а в группе контроля – только к 14-м суткам (Рисунок 5.2).

Следует также отметить, что к 14-м суткам значительной части (51,6%) пациентов основной группы с наиболее благоприятным течением раневого процесса уже была выполнена кожная пластика. С учётом этого обстоятельства

преимущество основной группы перед группой контроля в отношении снижения доли некротических тканей следует оценивать ещё более высоко.

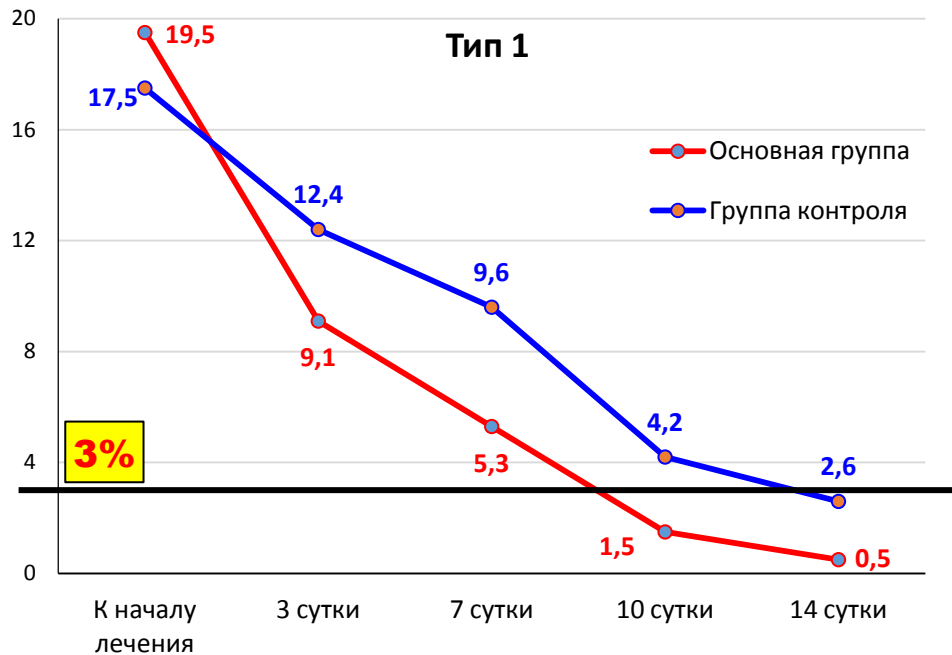


Рисунок 5.2 – Динамика доли тканей 1-го типа в ранах (средние значения в %)

Доля тканей 2-го типа в основной группе в течение всего периода наблюдения постоянно снижалась, тогда как в группе контроля в течение первой недели отмечено даже некоторое её увеличение, а статистически значимое снижение (в 2,4 раза, $p < 0,05$) констатировано только к 10-м суткам. К 7-м суткам доля тканей 2-го типа в основной группе была ниже, чем в группе контроля, в 5,4 раза, впоследствии эта разница уменьшилась и к 14-м суткам составила 1,7% (в 1,5 раза) (Рисунок 5.3).

Увеличение доли тканей 3-го типа в основной группе происходило значительно быстрее, чем в группе контроля, и уже к 3-м суткам это преимущество составило 20,6% (в 1,4 раза, $p < 0,05$), а к 7-м суткам – 28,7% (в 1,5 раза, $p < 0,05$).

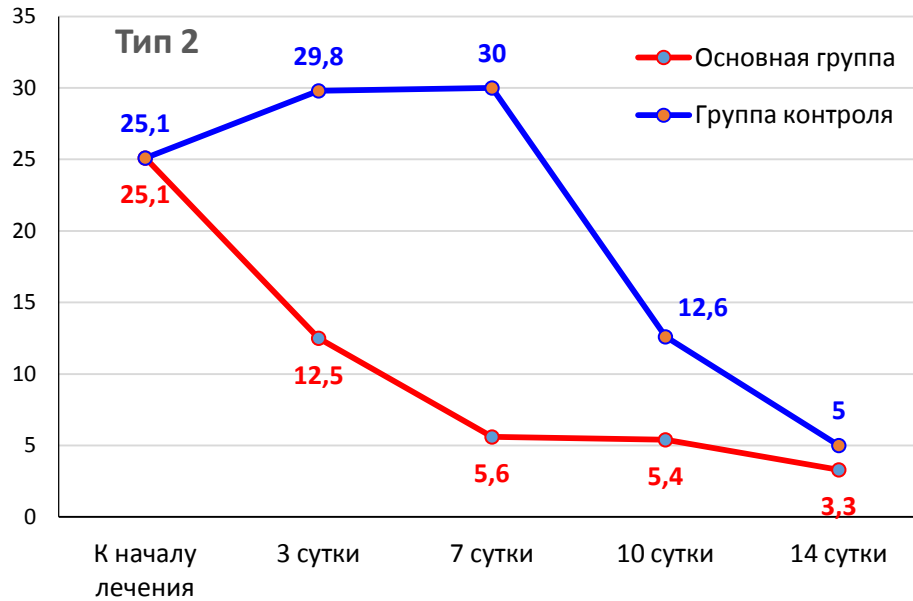


Рисунок 5.3 – Динамика доли тканей 2-го типа в ранах (средние значения в %)

В дальнейшем разница между группами несколько нивелировалась, однако даже к 14-м суткам преимущество основной группы по этому показателю составило 3,8%, причём увеличение доли тканей 3-го типа до величин, при которых в соответствии с разработанным алгоритмом становится возможным выполнение кожной пластики, в основной группе было у большинства пациентов достигнуто к 7-м суткам (при этом средний показатель в группе непосредственно приблизился к рубежу 90%), а в группе контроля – только 14-м суткам (Рисунок 5.4).

Таким образом, исследование в процессе лечения изменений характера раневых тканей показало, что после лазерной обработки их положительная трансформация протекает существенно быстрее. Особенно значительным оказалось преимущество основной группы по всем фиксируемым параметрам к

7-м суткам наблюдения, что позволило у части пациентов основной группы уже в эти сроки определить показания к выполнению реконструктивного этапа лечения. Нивелирование отличий между группами наблюдения к 10-м и 14-м суткам обусловлено в значительной степени тем, что пациенты основной группы с наиболее благоприятным течением раневого процесса к этим срокам уже были

прооперированы и не вошли в анализируемую статистику.

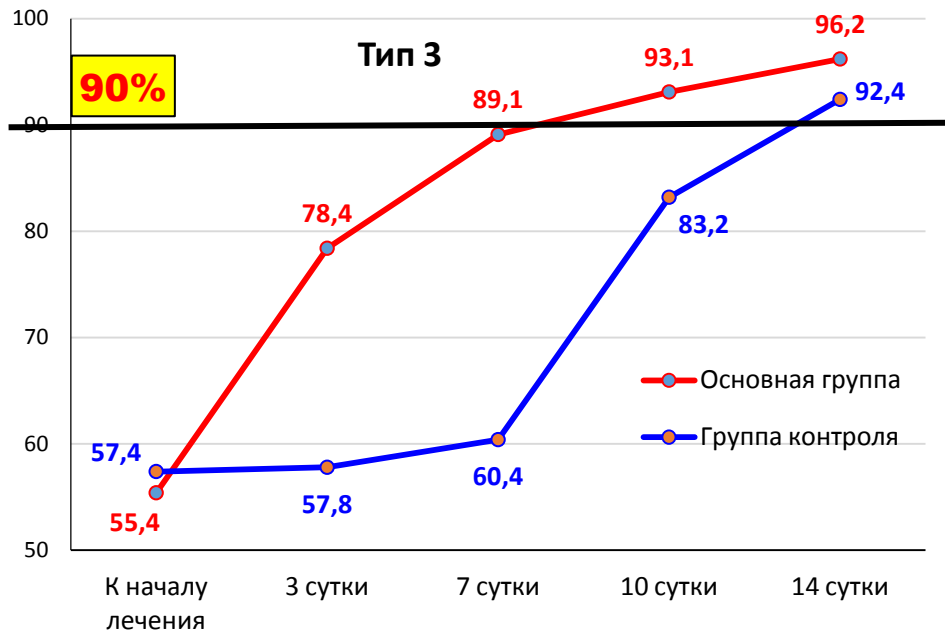


Рисунок 5.4 – Динамика доли тканей 3-го типа в ранах (средние значения в %)

Показатели шкалы Бейтс–Дженсен

В основной группе отмечена существенно лучшая динамика, при этом даже средние значения показателей шкалы к 7-м суткам приблизились, а к 10-м суткам значительно перешли тот рубеж (25 баллов), ниже которого согласно разработанному алгоритму становится возможным выполнение кожной пластики. В группе контроля этот рубеж был перейдён только к 14-м суткам, но и в этот срок преимущество основной группы по среднему показателю составило 4,3 балла (Рисунок 5.5).

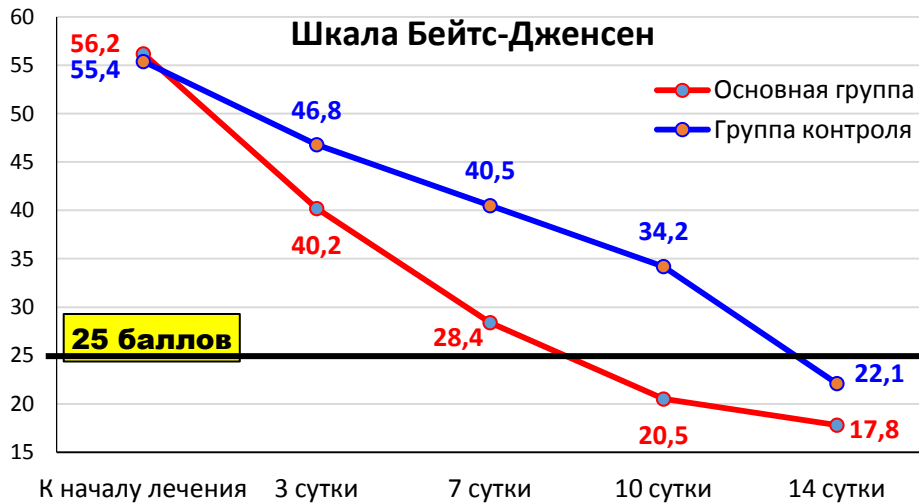


Рисунок 5.5 – Динамика показателей шкалы Бейтс–Дженсен (средние значения в баллах)

Сроки выполнения кожной пластики

Поскольку целью данной работы явилась оптимизация подготовки огнестрельных ран к кожной пластике, сроки её выполнения считали самым важным результатом проводимого лечения. Показания к выполнению кожной пластики определяли с помощью разработанного алгоритма, и при достижении соответствующих алгоритму показателей пластику выполняли незамедлительно. В соответствии с алгоритмом доля тканей 1-го типа («некроз») в ране не должна была превышать 3%, доля тканей 3-го типа – быть больше 90%, сумма баллов по шкале Бейтс–Дженсен – не превышать 25 баллов. Приближаться к таким условиям показатели в основной группе стали к 7-м суткам, а в группе контроля – к 14-м суткам. Соответственно, в этих группах отличались и сроки, в которые была выполнена кожная пластика. В основной группе 67,7% пациентам кожная пластика была выполнена в сроки 7–11 суток после начала лечения, и 93,5% таких операций были выполнены в течение 2 недель (до 14 суток). В группе контроля, наоборот, большинство (63,6%) реконструктивных операций было выполнено в сроки, превышающие 14 суток.

Таким образом, средний срок выполнения реконструктивных операций в основной группе составил 10,7 суток, а в группе контроля – 14,6 суток, то есть на

3,9 суток больше ($p < 0,05$) (Рисунок 5.6).

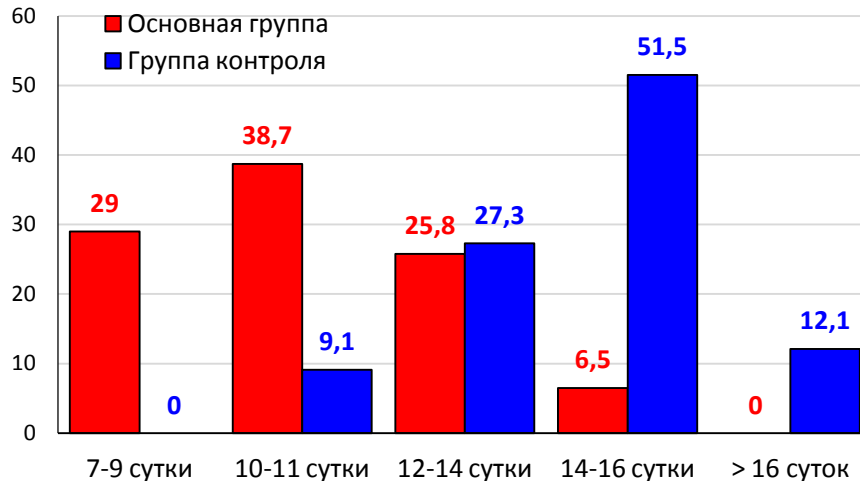


Рисунок 5.6 – Сроки выполнения кожной пластики (в % к количеству пациентов в группах наблюдения)

В среднем, у пациентов основной группы подготовить рану к кожной пластике и выполнить эту операцию в первые 2 недели удалось в 2,6 раза чаще, чем в группе контроля.

Осложнения

Детальный анализ окончательных результатов выполненной кожной пластики, прослеженных до завершения реабилитационного периода, не входил в непосредственные задачи нашей работы, тем более что эти результаты зависели не только от характеристики раны, но и общего состояния пациента, квалификации и оснащения хирургов, лечебной тактики в отношении переломов костей конечностей, условий ведения и реабилитации пациентов в послеоперационном периоде.

Были исследованы только ранние местные осложнения, связанные с приживлением кожных лоскутов. И в основной группе, и в группе контроля, показания к выполнению кожной пластики определяли в соответствии с единым алгоритмом, в связи с чем все пациенты обеих групп непосредственно перед выполнением реконструктивных операций находились в одинаковых условиях.

Тем не менее в основной группе не было отмечено ни одного осложнения,

связанного с приживлением кожных лоскутов, а в группе контроля таких осложнений было 3 (9,1%). В 2 случаях констатированы частичные некрозы, что потребовало проведения дополнительного местного лечения, но существенно не повлияло на результат. В 1 случае после пластики свободными расщепленными кожными лоскутами отмечено их отторжение на 35% площади, что потребовало выполнения повторной пластики.

Хотя небольшое количество наблюдений не позволяет сделать выводы, обладающие достаточной статистической значимостью, можно предположить, что отсутствие осложнений у пациентов основной группы обусловлено повышением регенераторного потенциала тканей после их лазерной обработки, а также сокращением сроков подготовки к кожной пластике, что снизило опасность развития дегенеративных изменений в области дна и краёв раны.

Клинический пример № 4

Военнослужащий Т., 37 лет, получил огнестрельное осколочное ранение левой нижней конечности с переломом обеих костей голени слева в верхней трети и обширным дефектом мягких тканей. При поступлении в медицинский отряд раненому выполнены ПХО раны левой голени и фиксация перелома в аппарате КСВП. Через 2 суток пациент доставлен в госпиталь.

При поступлении по данным анализа цифрового изображения раны с помощью программы «АналиРан» характер тканей с учётом коэффициента корреляции: 1-й тип – 10,6%, 2-й тип – 13,9%, 3-й тип – 75,5%. По шкале Бейтс–Дженсен – 46 баллов (Рисунок 5.7).

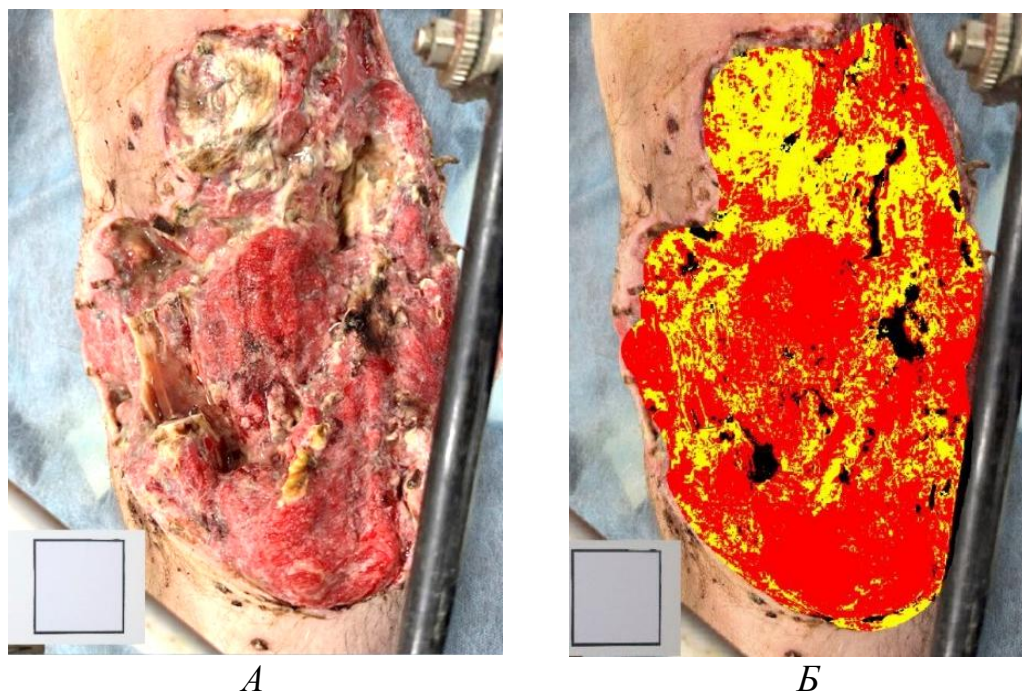


Рисунок 5.7 – Пациент Т. Огнестрельная рана перед началом лечения: *А* – внешний вид; *Б* – цифровое изображение при использовании программы «АналиРан»

Выполнены повторная хирургическая обработка раны и дебридмент с удалением некротизированных тканей и обильным промыванием жидкостью системой пульсирующей струи под давлением.

Начата вакуумная терапия с постоянным уровнем отрицательного давления 120 мм рт. ст. К 16-м суткам по данным программы «АналиРан» выявлено, что доля тканей 1-го типа была 0,8%, 2-го типа – 7,3%, 3-го типа – 91,9%. Сумма баллов по шкале Бейтс–Дженсен составила 35 (Рисунок 5.8).



Рисунок 5.8 – Пациент Т. Огнестрельная рана на 16-е сутки

Выполнено реконструктивно-пластическое замещение дефекта методом свободной пластики лоскутом с бедра. Через 16 суток после операции отмечен частичный некроз лоскута в области нижнего полюса раны по передней поверхности голени (Рисунок 5.9), что потребовало некрэктомии и проведения местного консервативного лечения, приведшего к заживлению раны (Рисунок 5.10).

В этом клиническом примере не полностью были соблюдены требования алгоритма, и пластическое замещение дефекта было выполнено при сумме баллов 35 по шкале Бейт–Дженсен, что на 10 баллов превышает рекомендованный уровень. Возможно, это в определённой степени явилось причиной развившегося осложнения.



Рисунок 5.9 – Пациент Т. Частичный некроз кожного лоскута после некрэктомии



Рисунок 5.10 – Пациент Т. 30-е сутки после операции

Клинический пример № 5

Данное наблюдение является примером одного из наиболее тяжёлого состояния раны, связанного с недостатками выполнения ПХО на первом этапе лечения. Военнослужащий Н., 34 года, получил огнестрельное осколочное ранение левой верхней конечности с переломом обеих костей предплечья в

верхней трети и обширным дефектом мягких тканей. При поступлении в медицинский отряд раненому выполнены ПХО раны левого предплечья и фиксация переломов в аппарате КСВП. Через 3 суток пациент доставлен в госпиталь. При поступлении по данным анализа цифрового изображения раны с помощью программы «АналиРан» характер тканей с учётом коэффициента корреляции: 1-й тип – 34,5%, 2-й тип – 51,2%, 3-й тип – 14,3%. По шкале Бейтс–Дженсен – 48 баллов (Рисунок 5.11).

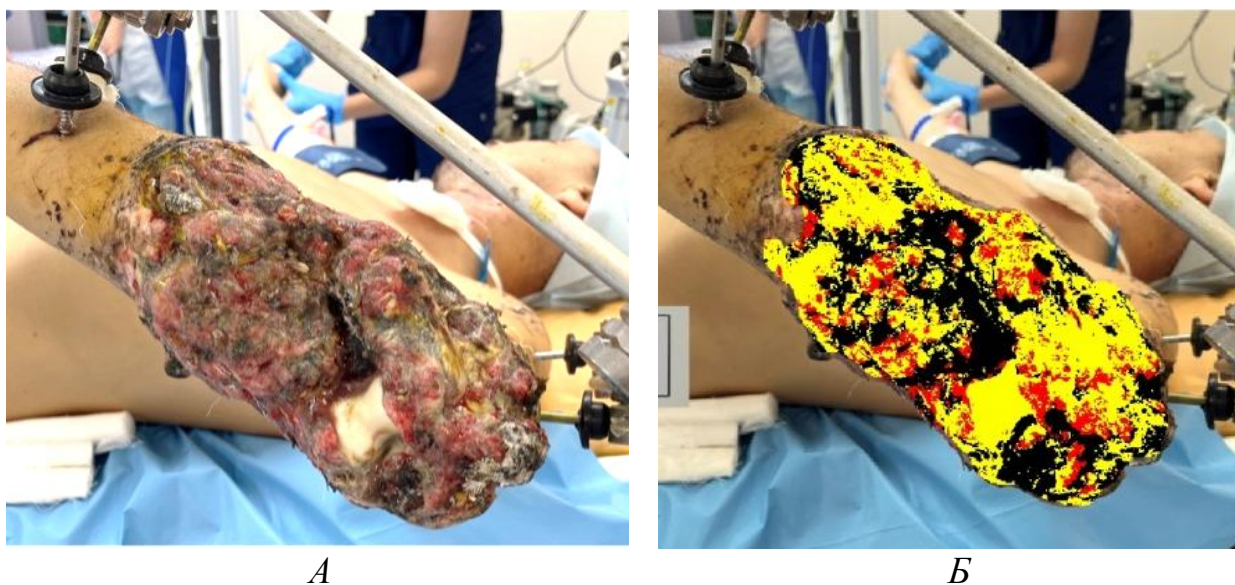


Рисунок 5.11 – Пациент Н. Огнестрельная рана перед началом лечения: *А* – внешний вид; *Б* – цифровое изображение при использовании программы «АналиРан»

Выполнены повторная хирургическая обработка и дебридмент с удалением некротизированных тканей и обильным промыванием жидкостью системой пульсирующей струи под давлением. Начата вакуумная терапия с постоянным уровнем отрицательного давления 120 мм рт. ст. К 18-м суткам по данным программы «АналиРан» выявлено, что доля тканей 1-го типа составила 2,2%, 2-го типа – 10,2%, 3-го типа – 87,6%. Сумма баллов по шкале Бейтс–Дженсен составила 30 (Рисунок 5.12).

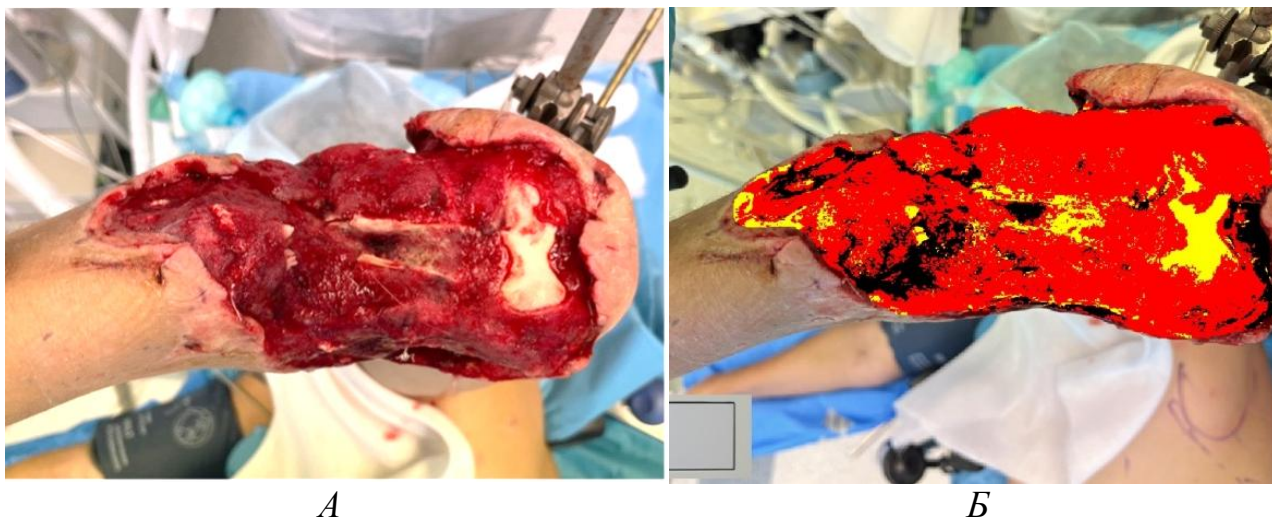


Рисунок 5.12 – Пациент Н. Огнестрельная рана на 18-е сутки: *А* – внешний вид; *Б* – цифровое изображение при использовании программы «АналиРан»

Выполнено реконструктивно-пластическое замещение дефекта методом несвободной пластики торакодorzальным лоскутом и расщеплённым аутодермотрансплантатом (Рисунок 5.13).



Рисунок 5.13 – Пациент Н. Огнестрельная рана после пластической операции

Через 3 суток после операции отмечены частичные некрозы лоскута и

аутодермотрансплантата (Рисунок 5.14), что потребовало местного лечения до заживления ран.



Рисунок 5.14 – Пациент Н. 3-и сутки после операции: *А* – частичный некроз лоскута; *Б* – частичный некроз аутодермотрансплантата

На контрольном осмотре через 2 месяца рана зажила, послеоперационные рубцы без признаков воспаления (Рисунок 5.15).



Рисунок 5.15 – Пациент Н. через 2 месяца после операции

В данном клиническом примере были не полностью соблюдены требования алгоритма, и пластическое замещение дефекта было выполнено при сумме баллов 30 по шкале Бейт–Дженсен, что на 5 баллов превышает

рекомендованный уровень, и при доле тканей 3-го типа 87,6%, что на 2,4% ниже параметра, предусмотренного алгоритмом. Возможно, это в определённой степени явилось причиной развившегося осложнения.

В приведённых клинических примерах осложнения развились у пациентов группы контроля на фоне неполного соблюдения требований алгоритма, так как кожную пластику выполняли, не дождавшись соответствия характеристик раны его рекомендациям. Вместе с тем уверенно утверждать, что только это обстоятельство явилось причиной осложнений, нельзя, так как детальный анализ таких важных факторов, как ход операции, общее состояние пациентов, характер микробной флоры, протокол проведения реабилитационного периода, не входил в задачи данного исследования. В то же время в основной группе при её сопоставимости с группой контроля не отмечено ни одного осложнения, что косвенно может свидетельствовать о тех преимуществах, которые даёт лазерная обработка раны.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование, целью которого было повышение эффективности подготовки обширных огнестрельных ран конечностей к выполнению кожной пластики и закрытию раневого дефекта, проведено на базе ФГБУ «ГВКГ им. Н.Н.Бурденко» Минобороны России в период 2022–2023 гг.

Обоснованием актуальности данного исследования послужило отсутствие единого подхода к проведению подготовки обширных огнестрельных ран к выполнению кожной пластики, а также объективных критериев их готовности к выполнению реконструктивного этапа лечения с закрытием раневого дефекта.

В одноцентровое проспективное контролируемое исследование были включены военнослужащие, получившие изолированное огнестрельное ранение конечности с площадью дефекта не менее 80 см², давностью не более 7 суток.

На первом этапе были определены объективные критерии оценки готовности раны к выполнению кожной пластики, полученные с помощью программы «АналиРан», которая позволяет на основе компьютерной оценки цифрового изображения раны оценить состояние выполняющих её тканей и показать их процентное соотношение относительно всей раневой поверхности. Однако эта программа была создана для оценки не именно огнестрельных ран, а всех возможных кожных дефектов.

Огнестрельная рана имеет свои особенности, в числе которых массивные глубокие поражения и значительная зона молекулярного сотрясения, ткани которой впоследствии с высокой долей вероятности теряют жизнеспособность, трансформируясь в некроз. В связи с чем перед тем, как использовать программу «АналиРан» как основу нашего алгоритма оценки состояния раневых тканей, мы провели её тестирование с верификацией полученных данных с помощью параллельного гистологического исследования.

В ходе этого этапа параллельно с оценкой состояния раневых тканей с применением программы «АналиРан» было проведено гистологическое исследование 134 образцов тканей, взятых у 30 пациентов с огнестрельными

ранениями конечностей, соответствующих критериям включения. Этим пациентам проводили стандартный комплекс лечения, включающий коррекцию общего состояния и антибактериальную терапию.

Местное лечение заключалось в выполнении первичной хирургической обработки раны с промыванием раны пульсирующей струей по стандартной методике, после чего проводили этапное вакуумное дренирование раны с уровнем отрицательного давления 120 мм рт. ст. и заменой повязки каждые 72 часа.

Тестирование тканей проводили в динамике при каждой замене повязки: перед началом лечения, на 3-и, 7-е, 10-е и 14-е сутки. Программа «АналиРан» при оценке характера тканей делила их на три типа: 1-й тип – «некроз», 2-й тип – «фибрин» и 3-й тип – «грануляции».

Если в отношении формулировки программой определения тканей по первым двум позициям не возникало возражений, то в отношении формулировки «грануляции» нельзя было полностью согласиться. Программа оценивала как «грануляции» все хорошо кровоснабжаемые жизнеспособные ткани, в том числе и непосредственно после получения ранения, то есть в те сроки, когда грануляционная ткань ещё не могла сформироваться. Вместе с тем для целей определения готовности тканей к выполнению кожной пластики именно эта категория тканей имела очень важное значение.

Проведённое сравнение данных, полученных с помощью программы «АналиРан», с данными гистологического исследования в тех же локусах, показало, что оценка программы в отношении доли тканей 1-го и 2-го типов ниже, а в отношении тканей 3-го типа – выше, чем показало гистологическое исследование. Это можно объяснить тем, что в огнестрельной ране ткани 3-го типа, определяемые программой как «грануляции», сохраняя на цифровых изображениях какое-то время внешнее благополучие, имели уже тяжёлые необратимые нарушения жизнедеятельности.

В соответствии с проведённым сравнительным анализом мы разработали таблицу коэффициентов корреляции, согласно которой при оценке тканей 3-го типа к данным программы «АналиРан» в различные сроки следует применять

коэффициент от 0,86 до 0,98, а при оценке тканей 1-го типа («некроз») – коэффициент от 1,13 до 1,47.

Кроме показателей, полученных с помощью программы «АналиРан», мы использовали международную шкалу Бейтс–Дженсен, основанную на визуальной оценке состояния раневых тканей и включающую 13 позиций, каждую из которых оценивают по 5-балльной системе, а потом баллы суммируют. Считают, что сумма баллов по данной шкале, не превышающая 39 баллов, свидетельствует о способности раны к регенерации.

При разработке алгоритма принятия решения о возможности выполнения кожной пластики мы использовали данные как программы «АналиРан» с поправочным коэффициентом, так и шкалы Бейтс–Дженсен. Для этого провели у наблюдавшихся в ходе первого этапа исследования 30 пациентов оценку успешности выполнения кожной пластики.

Выявлено, что из 30 выполненных пластических операций были успешными 25, и во всех этих случаях доля тканей 1-го типа не превысила 3%, тканей 3-го типа была больше 90%, а сумма баллов по шкале Бейтс–Дженсен не превышала 25 баллов. В тех случаях, когда хотя бы один из этих показателей не соответствовал данным параметрам, развились осложнения, и пластика оказалась полностью или частично несостоятельной (5 наблюдений).

В соответствии с проведёнными исследованиями был разработан алгоритм принятия решения о выполнении кожной пластики обширных огнестрельных ран, состоящий из 4 шагов. На первом шаге, применяя поправочный коэффициент, определяли с помощью программы «АналиРан» долю тканей 1-го типа («некроз»). Если эта доля не превышала 3%, переходили ко второму шагу, оценивая с помощью той же программы долю тканей 3-го типа. Если эта доля была больше 90%, переходили к третьему шагу, оценивая сумму баллов по шкале Бейтс–Дженсен. Сумма, не превышающая 25 баллов, свидетельствовала о том, что данная рана готова к выполнению кожной пластики, которую следует провести безотлагательно.

На четвертом шаге определяли характер операции. При поверхностных

дефектах предпочтение отдавали использованию расщеплённых кожных лоскутов, при обширных ранах с дефектом мышечной ткани – свободным полнослойным лоскутам, при дефектах костной ткани или ранах, проникающих в сустав – перемещённым полнослойным лоскутам или их комбинации с расщеплёнными аутодермотрансплантатами.

В то же время необходимо помнить, что данный алгоритм основан исключительно на локальном раневом статусе, и для принятия решения о выполнении операции следует обращать внимание на возможные противопоказания, связанные с общим состоянием, нарушениями гомеостаза, поражениями внутренних органов, генерализованной инфекцией и др.

На втором этапе проведено лечение 64 пациентов с огнестрельными ранениями конечностей, включённых в исследование по соответствующим критериям. Эти пациенты с помощью случайной выборки были разделены на две группы, полностью сопоставимые по всем основным параметрам (возраст, ИМТ, площадь и характер ран, тяжесть ранения по шкале ВПХ-П (ОР), сроки с момента ранения).

В группе контроля (33 пациента) лечение проводили по той же традиционной методике, описанной выше, что и пациентам первого этапа, используя в комплексе лечения вакуумное дренирование ран с уровнем отрицательного давления 120 мм рт. ст.

В основной группе (30 пациентов) к этому лечению добавили при выполнении ПХО однократную обработку раневой поверхности узкополосным низкоинтенсивным лазерным излучением с длиной волны 980 нм с помощью аппарата «FiberLase CR» по разработанной нами методике [38].

Обработку осуществляли на нескольких локусах так, чтобы воздействовать в итоге на всю раневую поверхность. Расстояние от лазерной головки до раны составило 2 см, диаметр пятна – 40 мм, выходная мощность – 3 Вт, суммарное время облучения – 7 минут. Данные параметры определены как безопасные и в то же время эффективные в отношении стимуляции репаративных тканевых процессов, на основании данных литературы.

В результате проведённого лечения по оценкам программы «АналиРан» доля тканей 1-го типа в процессе лечения ожидаемо снижалась, а доля тканей 3-го типа – возрастала. Однако эта динамика у пациентов основной группы была существенно более выражена: к 7-м суткам доля тканей 1-го типа в основной группе была в среднем статистически значимо ниже, чем в группе контроля, в 1,8 раза, а доля тканей 3-го типа – выше в 1,5 раза. Определённым алгоритмом рубеж, после которого становится возможным выполнение кожной пластики, в основной группе был преодолен для тканей 1-го и 3-го типов к 10-м суткам, а в группе контроля – только к 14-м суткам. Такая же разница отмечена и для средних показателей шкалы Бейтс–Дженсен. Рубеж 25 баллов был преодолен в основной группе к 10-м суткам (и в этот срок разница между группами по данному показателю составила 1,7 раза), а в группе контроля – к 14-м суткам. Сроки выполнения кожной пластики определяли в соответствии с рекомендациями разработанного алгоритма.

В основной группе у большинства (67,7%) пациентов кожная пластика стала возможна в сроки 7–11 суток после начала лечения, а 93,5% таких операций были выполнены до 14 суток, средний срок составил 10,7 суток.

В группе контроля в интервале 7–9 суток не было выполнено ни одной реконструктивной операции, а в интервале 7–11 суток – только 9,1%, что в 7,4 раза реже, чем в основной группе. Большинство (63,6%) реконструктивных операций в группе контроля выполнены в сроки, превышающие 14 суток, а средний срок – 14,6 суток, что на 3,9 суток больше, чем в основной группе.

Из осложнений проанализированы только ранние местные, связанные с приживлением кожных лоскутов. В основной группе таких осложнений не было, а в группе контроля отмечено 3 случая: у 2 пациентов развились локальные краевые некрозы небольшой площади, что потребовало дополнительного лечения, но не повлияло на конечный результат, и у 1 пациента отмечено отторжение свободных расщеплённых кожных лоскутов на 35% площади, что потребовало выполнения повторной пластики. Примечательно, что в 2 случаях отмеченных осложнений не были полностью соблюдены требования алгоритма. В 1 наблюдении доля тканей 3-го типа – 87,6% (вместо 90%), а сумма баллов по шкале Бейтс–Дженсен

составила 30 (вместо 25). В другом наблюдении к моменту выполнения кожной пластики сумма баллов по шкале Бейтс–Дженсен составила 35.

Небольшое число наблюдений не позволяет сделать обоснованные выводы о влиянии лазерной обработки раны на частоту осложнений, тем более что в задачи данного исследования не входил анализ техники выполненной операции и послеоперационного ведения пациентов. Однако стоит обратить внимание, что в основной группе осложнений не было. В отношении эффективности рекомендаций разработанного алгоритма можно высказаться более определённо. У пациентов первого этапа исследования, когда при определении лечебной тактики алгоритм ещё не был разработан, и его рекомендации не могли быть учтены, отмечено 5 осложнений из 30 (16,7%), тогда как в группе контроля второго этапа, абсолютно аналогичной и по характеру повреждений, и по проводимому лечению, зафиксировано только 3 (9,1%) осложнения. Если же принять во внимание, что в 2 случаях таких осложнений, как это было сказано выше, требования алгоритма были соблюдены не полностью, то из оставшегося 31 пациента единственное осложнение составило 3,2%, что в 5,2 раза реже, чем у пациентов первого этапа.

Таким образом, проведённое исследование показало, что тестирование состояния тканей по цифровому изображению с помощью программы «АналиРан» способно объективизировать их визуальную оценку, однако для применения данной программы в огнестрельной ране необходимо использовать поправочные коэффициенты; лазерная обработка раневой поверхности по разработанной методике позволяет успешно выполнить большинство операций кожной пластики в срок до 11 суток и сократить сроки выполнения кожной пластики по сравнению с группой контроля в среднем на 3,9 суток; применение разработанного алгоритма принятия решения о выполнении кожной пластики позволяет в 5,2 раза снизить число осложнений.

Полученные результаты позволяют рекомендовать к широкому применению разработанную методику комплексного лечения при подготовке обширных огнестрельных ран конечностей к кожной пластике, включающую однократную

обработку раны низкоинтенсивным лазерным излучением с последующей вакуумной терапией, а для определения степени готовности ран к кожной пластике целесообразно использовать разработанный алгоритм принятия решения.

ВЫВОДЫ

1. В огнестрельной ране доля тканей 1-го типа («некроз») и 2-го типа («фибрин»), определённая с помощью программы «АналиРан», во все сроки наблюдения меньше, чем по данным морфологического исследования, а доля тканей 3-го типа («грануляции») – больше, что для объективной оценки требует применения коэффициентов корреляции.
2. Использование вакуум-терапии в комплексном лечении обширных огнестрельных ран конечностей позволило добиться существенного изменения соотношения тканей в пользу тканей 3-го типа к 10-м суткам и подготовить рану к кожной пластике в среднем к 14,6 суток, причём у 78,8% пациентов эти сроки находились в интервале 12–16 суток.
3. Успешное выполнение кожной пластики становится возможным при снижении доли тканей 1-го типа («некроз») до значений $\leq 3\%$, возрастании доли тканей 3-го типа $> 90\%$ и показателе шкалы Бейтс–Дженсен ≤ 25 баллов.
4. Включение в комплекс лечения наряду с вакуум-терапией обработки огнестрельной раны лазерным излучением с длиной волны 980 нм позволило добиться существенного преобладания тканей 3-го типа уже к 3-м суткам и подготовить рану к кожной пластике в среднем к 10,7 суток, причём у 93,5% пациентов эта операция была выполнена в течение первых 14 суток.
5. Включение в комплекс лечения огнестрельных ран лазерной обработки позволило подготовить их к кожной пластике в среднем на 3,9 суток быстрее и выполнить такие операции в первые 2 недели в 2,6 раза чаще.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. При исследовании состояния тканей в огнестрельной ране их соотношение, определенное с помощью программы «АналиРан», необходимо оценивать с применением поправочного коэффициента – повышающего для тканей 1-го и 2-го типов, и понижающего – для тканей 3-го типа.
2. После выполнения первичной хирургической обработки огнестрельной раны значительной площади её следует однократно обработать узкополосным низкоинтенсивным лазерным излучением с длиной волны 980 нм на расстоянии 2 см от поверхности, распределив его на несколько локусов, с диаметром каждого пятна 40 мм, общим временем экспозиции 7 минут и средней мощностью 3 Вт. Затем необходимо, меняя повязку каждые 72 часа, проводить вакуумное дренирование раны по стандартной методике, с постоянным уровнем отрицательного давления 120 мм рт. ст., до констатации готовности раны к кожной пластике.
3. Критериями готовности раны к выполнению кожной пластики согласно разработанному алгоритму является сочетание следующих показателей: по данным программы «АналиРан» с применением коэффициента корреляции доля тканей 1-го типа $\leq 3\%$ и тканей 3-го типа $>90\%$, а также суммы баллов по шкале Бейтс–Дженсен не выше 25.
4. Кожную пластику огнестрельной раны следует выполнять сразу после того, как в соответствии с алгоритмом будет определена её готовность к такой операции. Чем раньше удастся выполнить операцию, тем лучше будет результат.
5. Выбор варианта кожной пластики зависит от характера раны: для поверхностных ран целесообразно применять пластику расщеплённым аутодермотрансплантатом, для ран со значительным дефектом мягких тканей – свободным полнослойным лоскутом, для ран с дефектами костной ткани или проникающих в сустав – перемещённым полнослойным лоскутом, или при большой площади раны – в комбинации с расщеплённым аутодермотрансплантатом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аджимолаев, Т.А. Структурно-функциональные изменения нервных клеток при лазерном облучении / Т.А. Аджимолаев, С.М., Зубкова, И.Б. Лапрун // Средства и методы квантовой электроники в медицине : тематический сборник. – Саратов : Изд-во Саратовского университета, 1976. – С. 156–159. ; 20 см. – Текст : непосредственный.
2. Биомиметики внеклеточного матрикса в тканевой инженерии и регенеративной медицине для травматологии и ортопедии / В.И. Севастьянов, Н.В. Перова, Ю.Б. Басок, Е.А. Немец // Opinion Leader. – 2020. – № 6 (35). – С. 36–46.
3. Бодаченко, К.А. Терапия отрицательным давлением в лечении высокоэнергетических огнестрельных переломов костей голени / К.А. Бодаченко, А.В. Кравченко // Вакуумная терапия ран у детей и взрослых. Российский и международный опыт : сборник научных трудов Международной научно-практической конференции ; Москва, 18–19 мая 2018 г. – Москва : Перо, 2018. – С. 17–21. – Текст : непосредственный.
4. Вакуумная терапия : учебно-методическое пособие для врачей. – Краснодар : ФГБОУ ВО КубГМУ Минздрава России, 2023. – 348 с. – Текст : непосредственный.
5. Военно-полевая хирургия. Национальное руководство / под ред. И.М. Самохвалова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2024. – 1056 с. – ISBN 978-5-9704-8036-6. – Текст : непосредственный.
6. Военно-полевая хирургия : учебник / И.М. Самохвалов, В.И. Бадалов, Н.А. Тынянкин [и др.] ; под ред. И.М. Самохвалова. – Санкт-Петербург : ВМА, 2021. – 494 с. – ISBN 978-5-94277-085-3 : 1000 экз. – Текст : непосредственный.
7. Глаубер, Р.Дж. Сто лет квантам света / Р.Дж. Глаубер // Успехи физических наук. – 2006. – Т. 176. – № 12. – С. 1342–1352.
8. Давыдовский, И.В. Огнестрельная рана человека : Морфол. и общепатол. анализ / И.В. Давыдовский. – Москва : Изд-во Акад. мед. наук СССР, 1952. –

Т. 1. – Текст : непосредственный.

9. Джумабаев, Э.С. Современные подходы к лечению огнестрельных ранений конечностей / Э.С. Джумабаев, К.К. Мирзаев // Вестник экстренной медицины. – 2010. – № 4. – С. 5–7.

10. Дзевицкая, М.Т. Электропроводность кожных покровов ушной раковины в зависимости от характера патологии и в процессе лазерного физиотерапевтического лечения / М.Т. Дзевицкая, Г.В. Акеньшина // Средства и методы квантовой электроники в медицине : тематический сборник. – Саратов : Изд-во Саратовского университета, 1976. – С. 165–166. ; 20 см. – Текст : непосредственный.

11. Досаев, Т.М. Морфометрическая оценка состояния нервных клеток при стимуляции / Т.М. Досаев // Биологическое действие лазерного излучения (экспериментальные и клинические аспекты) : сборник статей. – Алма-Ата, 1977. – С. 57–58. – Текст : непосредственный.

12. Дробышев, А.Ю. Исследование регенерации косной ткани после лазерного и механического воздействия / А.Ю. Дробышев, С.В. Тарасенко, В.В. Гемонов // Cathedra. – 2007. – Т. 6. – № 2. – С. 53–55.

13. Дубинкин, В.А. Магнитолазерная терапия в лечении свежееинфицированных огнестрельных ран на этапах медицинской эвакуации в условиях локального боевого конфликта / В.А. Дубинкин, О.В. Дземин // Тихоокеанский медицинский журнал. – 2004. – № 1. – С. 49–52.

14. Егоренков, В.В. Правила забора материала для морфологического исследования / В.В. Егоренков, Е.М. Бит–Сава, М.С. Молчанов // Практическая онкология. – 2017. – Т. 18. – № 4. – С. 336–342.

15. Зоиров, Т.Э. Использование лазеротерапии как немедикаментозный метод лечения больных острыми воспалительными заболеваниями / Т.Э. Зоиров, Н.Ф. Абсаламова // Достижения науки и образования. – 2020. – № 6 (60). – С. 26–32.

16. Иванов, Г.Г. Определение размеров и структурных элементов ран на основе компьютерной планиметрии. Фотопротокол в оценке течения раневого

процесса. Раны и раневые инфекции / Г.Г. Иванов, В.Н. Ярош, И.А. Балашов // Журнал им. проф. Б.М. Костюченка. – 2023. – Т. 10. – № 1. – С. 38–44.

17. Исаханова, Н.В. Клиническая эффективность магнитно-лазерной терапии огнестрельных ран / Н.В. Исаханова, Л.А. Рогов // Вятский медицинский вестник. – 2003. – № 1. – С. 13–14.

18. Использование вакуума при кожной пластике у больных с некротической формой рожи / А.Г. Хасанов, Д.Г. Шайбаков, Р.Э. Шамсиев [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2018. – № 5. – С. 41.

19. Компьютерная планиметрия как метод объективного контроля заживления ран при синдроме диабетической стопы / С.Я. Ивануса, Б.В. Рисман, Р.Е. Шаяхметов [и др.] // Вестник Российской Военно-медицинской академии. – 2023. – Т. 25. – № 2. – С. 239–248.

20. Кончугова, Т.В. Оптимизированные лазерные воздействия в повышении функциональных резервов организма при стрессогенной дизадаптации (экспериментально-клиническое исследование) : специальность 14.00.51 «Восстановительная медицина, лечебная физкультура и спортивная медицина, курортология и физиотерапия» : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора медицинских наук / Кончугова Татьяна Венедиктовна ; ФГУ «Российский научный центр восстановительной медицины и курортологии». – Москва, 2007. – 47 с.

21. Кортюм, Г. Принципы и методика измерения в спектроскопии диффузного отражения / Г. Кортюм, В. Браун, Г. Герцог // Успехи физических наук. – 1965. – Т. 85. – № 2. – С. 365–380.

22. Крочек, И.В. Лазерная остеоперфорация в лечении острого гематогенного остеомиелита. 10-летний опыт / И.В. Крочек, С.В. Сергийко, В.А. Привалов // Педиатр. – 2013. – Т. 4. – № 4. – С. 8–17.

23. Кузин, М.И. Раны и раневая инфекция : руководство для врачей / М.И. Кузин, Б.М. Костюченков ; под ред. М.И. Кузина, Б.М. Костюченков. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Медицина, 1990. – 591 с. ил.; 25. – ISBN 5-225-00998-0. – Текст : непосредственный.

24. Лазерная терапия в лечебно-реабилитационных и профилактических программах : клинические рекомендации. – Москва, 2015. – 69 с. – URL: <https://nmicrk.ru/upload/nauka/pdf/2kr.pdf> (дата обращения: 11.10.2024).
25. Лазеротерапия в комплексном лечении огнестрельных ран в условиях локального вооруженного конфликта / В.И. Ищенко, В.А. Дубинкин, О.В. Дземин, О.М. Дземина // Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. – 2007. – № 4 (56). – С. 39–41.
26. Лазеры в лечении ран / В.Н. Кошелев, О.Г. Астафьева, А.В. Архангельский [и др.] ; под ред. В.Н. Кошелева. – Саратов : Изд-во Саратовского университета, 1980. – 125 с. : ил.; 21 см.; ISBN В пер. (В пер.) : 65 к. – Текст : непосредственный.
27. Лечение огнестрельных ран конечностей с использованием физических и ортобиологических методов / Д.В. Давыдов, А.А. Керимов, В.Д. Беседин [и др.] // Медицинский вестник ГВКГ им. Н.Н. Бурденко. – 2022. – № 4 (10). – С. 5–15.
28. Лечение ран в зависимости от фазы раневого процесса / Е.В. Муромцева, К.И. Сергацкий, В.И. Никольский [и др.] // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Медицинские науки. – 2022. – № 3. – С. 93–109.
29. Лечение ран различной этиологии с применением вакуум-терапии / М.Ф. Черкасов, К.М. Галашокян, А.И. Лукаш [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2019. – № 6. – С. 136.
30. Малая медицинская энциклопедия : в 6 т. / гл. ред. В.И. Покровский. – Москва : Советская энциклопедия, 1991–1996. – 27 см. ; ISBN 5-85270-013-4. – Текст : непосредственный.
31. Методические рекомендации по лечению боевой хирургической травмы / Д.В. Тришкин, Е.В. Крюков, А.П. Чуприна [и др.]. – Москва, 2022. – 373 с. – URL : https://www.vmeda.org/wp-content/uploads/2023/04/metodugaz_travma.pdf (дата обращения: 11.10.2024).
32. Минаев, В.П. Лазерные медицинские системы и медицинские технологии на их основе : учебное пособие / В.П. Минаев. – 4-е, исп. и доп. – Долгопрудный : Интеллект, 2020. – 360 с. – ISBN 978-5-91559-280-2. – Текст : непосредственный.
33. Москвин, С.В. Основы лазерной терапии. Серия «Эффективная лазерная терапия». Т. 1 / С.В. Москвин. – Москва – Тверь : Триада, 2016. – 895 с. – ISBN

978-5-94789-280-2 (В пер.). – Текст : непосредственный.

34. Москвин, С.В. Эффективность лазерной терапии. Серия «Эффективная лазерная терапия». Т. 2 / С.В. Москвин. – Москва – Тверь : Триада, 2014. – 896 с. – 202 ил. – ISBN 978-5-94789-636-7. – Текст : непосредственный.

35. Москвин, С.В. Эффективные методики лазерной терапии / С.В. Москвин, А.В. Кочетков. – Москва – Тверь : Триада, 2016. – 80 с. – ISBN 978-5-94789-741-8. – Текст : непосредственный.

36. Мынжанова, Н.Ш. Изменение физиологических характеристик возбудимости интактного двигательного нерва при воздействии на него лазерного излучения / Н.Ш. Мынжанова // Биологическое действие лазерного излучения (экспериментальные и клинические аспекты) : сборник статей. – Алма-Ата, 1977. – С. 31–32. – Текст : непосредственный.

37. Павлов А.В. Влияние низкоинтенсивного лазерного излучения на процессы регенерации костей свода черепа при ксенокраниопластике пластинами коралла : специальность 14.00.27 «Хирургия», 03.00.25 «Гистология, цитология, клеточная биология» : диссертация на соискание ученой степени кандидата медицинских наук / Павлов Артем Владимирович ; ГОУ ВПО «Рязанский государственный медицинский университет». – Рязань, 2004. – 117 с.

38. Патент РФ на изобретение № 2818931 С1. Способ лечения огнестрельных ран конечностей / Е.В. Губина, И.А. Кирилова, А.А. Корыткин, Д.В. Давыдов, Брижань Л.К., А.А. Керимов, В.Д. Беседин [и др.]. – URL : <https://patents.google.com/patent/RU2818931C1/ru> (дата обращения: 11.10.2024).

39. Перспективы применения лазерной терапии при лечении огнестрельных ран конечностей / Д.В. Давыдов, А.А. Керимов, В.Д. Беседин [и др.] // Вестник Национального медико-хирургического Центра им. Н.И. Пирогова. – 2024. – Т. 19. – № 2. – С. 123–127.

40. Пластика дефектов мягких тканей (обзор литературы) / И.С. Цыдик, И.Г. Жук, В.М. Шейбак [и др.] // Журнал Гродненского государственного медицинского университета. – 2006. – № 3. – С. 16–20.

41. Поддубная, О.А. Низкоинтенсивная лазеротерапия в клинической практике

(Часть №1) / О.А. Поддубная // Вестник восстановительной медицины. – 2020. – № 6 (100). – С. 92–99.

42. Последовательное применение физических и ортобиологических методов лечения обширных огнестрельных ран: клинический случай / А.А. Керимов, В.Д. Беседин, Д.А. Найда [и др.] // Кафедра травматологии и ортопедии. – 2023. – № 4 (54). – С. 70–75.

43. Правила взятия и хранения биоматериала для проведения гистологических исследований биопсийного/операционного материала. – URL : <https://docs.yandex.ru/docs/gistologiya.pdf> (дата обращения: 11.10.2024).

44. Применение аддитивных технологий при замещении огнестрельных дефектов костей конечностей / Д.В. Давыдов, Л.К. Брижань, А.А. Керимов [и др.] // Вестник Национального медико-хирургического Центра им. Н.И. Пирогова. – 2022. – Т. 17. – № 4. – С. 57–64.

45. Применение вакуум-терапии и лазерных технологий в комплексном лечении огнестрельных ранений конечностей / Д.В. Давыдов, А.А. Керимов, Л.К. Брижань [и др.] // Материалы XV съезда российского общества хирургов совместно с IX конгрессом московских хирургов. – Москва, 2017. – № 560. – С. 269. – Текст : непосредственный.

46. Применение ортобиологических методов в лечении огнестрельных ранений / Д.В. Давыдов, Л.К. Брижань, А.А. Керимов, В.Д. Беседин [и др.] // Opinion Leader. – 2023. – № 2 (59). – Т. 3. – С. 20–26.

47. Применение повязок с контролируемым отрицательным давлением в лечении огнестрельных ранений конечностей / А.А. Завражнов, А.Н. Петров, А.А. Рудь, М.Б. Борисов // Вакуумная терапия ран у детей и взрослых. Российский и международный опыт : сборник научных трудов Международной научно-практической конференции ; Москва, 18–19 мая 2018 г. – Москва : Перо, 2018. – С. 37–38. – Текст : непосредственный.

48. Ранозаживляющее действие гидрогеля на основе полигуанидинов / О.С. Очиров, Я.Г. Разуваева, Н.С. Бадмаев [и др.] // Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. – 2016. – Т. 1. – № 5 (111). – С. 117–120.

49. Рахишев, А.Р. Действие лазерного света на периферические механизмы регенерации нерва / А.Р. Рахишев // Средства и методы квантовой электроники в медицине : тематический сборник. – Саратов : Изд-во Саратовского университета, 1976. – С. 155–156. ; 20 см. – Текст : непосредственный.
50. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ АналиРан № 2022660216 РФ / Г.Г. Иванов, И.А. Балашов, А.М. Кисленко, Романюк Н.А., Хорошайлов А.В., Беседин В.Д. – URL : https://reestr.digital.gov.ru/reestr/?PAGE_N=2&PAGE_S=20 (дата обращения: 11.10.2024).
51. Сисабеков, К.Е. Изменение мионевральных синапсов под влиянием монохроматического красного поляризованного света / К.Е. Сисабеков // Биологическое действие лазерного излучения (экспериментальные и клинические аспекты) : сборник статей. – Алма-Ата, 1977. – С. 33–37. – Текст : непосредственный.
52. Современное комплексное лечение раненых и пострадавших с боевыми повреждениями конечностей / Л.К. Брижань, Д.В. Давыдов, В.В. Хомянец [и др.] // Вестник Национального медико-хирургического Центра им. Н.И. Пирогова. – 2016. – Т. 11. – № 1. – С. 74–80.
53. Терапевтическая эффективность низкоинтенсивного лазерного излучения / А.С. Крюк, В.А. Мостовников, И.В. Хохлов [и др.]. – Минск : Наука и техника, 1986. – 231 с. – ISBN (В пер.) (В пер.) : 1 р. 80 к. – Текст : непосредственный.
54. Технологии восстановительной медицины в коррекции микроциркуляторных нарушений у больных гонартрозом / Д.Б. Кульчицкая, Т.В. Кончугова, А.А. Миненков, Л.И. Колбая // Вопросы курортологии, физиотерапии и ЛФК. – 2012. – № 1. – С. 14–16.
55. Тойгамбаева, А.З. Влияние лазерного излучения на некоторые показатели регенерации нерва / А.З. Тойгамбаева // Биологическое действие лазерного излучения (экспериментальные и клинические аспекты) : сборник статей. – Алма-Ата, 1977. – С. 28–30. – Текст : непосредственный.
56. Узденский, А.Б. Реакция изолированного нейрона на сфокусированное

лазерное облучение его участков / А.Б. Узденский // Средства и методы квантовой электроники в медицине : тематический сборник. – Саратов : Изд-во Саратовского университета, 1976. – С. 161–163. ; 20 см. – Текст : непосредственный.

57. Федоров, К.А. Пластическое замещение дефектов мягких тканей у пациентов с огнестрельными и взрывными ранениями голени и стопы [Электронный ресурс] / К.А. Федоров, В.Г. Богдан, А.А. Сухарев // Актуальные вопросы военной медицины : материалы научно-практической интернет-конференции с международным участием / под ред. В.А. Филонюка, В.Г. Богдана. – Минск, 2021. – С. 120–123. – URL : <https://rep.bsmu.by/handle/BSMU/33529> (дата обращения: 11.10.2024).

58. Физическая энциклопедия : в 5 т. / под ред. А.М. Прохорова // Стробоскопические приборы – Яркость. – Москва : Большая Российская энциклопедия, 1998. – Т. 5. – 757, [3] с. : ил. ; ISBN 5-85270-101-7. – Текст : непосредственный.

59. Фирсова Н.П. Комплексный подход к восстановительному лечению больных артериальной гипертензией, ассоциированной с шейно-плечевым синдромом : специальность 14.00.51 «Восстановительная медицина, спортивная медицина, курортология и физиотерапия» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата медицинских наук / Фирсова Наталия Петровна ; ГОУВПО «Тульский государственный университет». – Тула, 2005. – 26 с.

60. Фотобиологический эффект излучения полупроводникового лазера в ближней ИК области / В.П. Жаров, Т.Й. Кару, Ю.О. Литвинов, О.А. Тифлова // Квантовая электроника. – 1987. – Т. 14. – № 11. – С. 2135–2136.

61. Фотобиомодуляция как альтернативный подход к коррекции физиологически измененных состояний живой ткани / С.Л. Малиновская, О.В. Другова, В.В. Борзиков, А.П. Баврина // Медицинский альманах. – 2021. – № 4 (69). – С. 6–17.

62. Худяков, И.С. Лазерная остеоперфорация в лечении болезни Осгуд-Шлаттера / И.С. Худяков // Вестник Совета молодых ученых и специалистов Челябинской области. – 2016. – Т. 3. – № 4 (15). – С. 156–158.

63. Шлык, Ю. Методика разработки графика огневого поражения и реальных действий войск для проведения этапа тактического учения с боевой стрельбой [Электронный ресурс] / Ю. Шлык, И. Поподько // Армейский сборник. Журнал Министерства обороны Российской Федерации. – 2024. – № 1. – URL : <http://army.ric.mil.ru/Stati/item/546409/> (дата обращения: 11.10.2024).
64. Эффективность лазерной терапии в комплексном лечении огнестрельных ран конечностей с обширным повреждением мягких тканей / В.Д. Беседин, А.Б. Земляной, И.В. Хоминец [и др.] // Медицинский вестник ГВКГ им. Н.Н. Бурденко. – 2023. – № 3 (13). – С. 6–14.
65. A decade of conflict: flap coverage options and outcomes in traumatic war-related extremity reconstruction / J. Sabino, E. Polfer, S. Tintle [et al.] // *Plast. Reconstr. Surg.* – 2015. – Vol. 135. – № 3. – P. 895–902.
66. Adult stem cells at work: regenerating skeletal muscle / M. Schmidt, S.C. Schüler, S.S. Hüttner [et al.] // *Cell. Mol. Life Sci.* – 2019. – Vol. 76. – № 13. – P. 2559–2570.
67. Alghamdi, K.M. Low-level laser therapy: a useful technique for enhancing the proliferation of various cultured cells / K.M. Alghamdi, A. Kumar, N.A. Moussa // *Lasers in Medical Science.* – 2012. – Vol. 27. – № 1. – P. 237–249.
68. Almada, A.E. Molecular circuitry of stem cell fate in skeletal muscle regeneration, ageing and disease / A.E. Almada, A.J. Wagers // *Nat. Rev. Mol. Cell Biol.* – 2016. – Vol. 17. – № 5. – P. 267–79.
69. Anders, J.J. Phototherapy promotes regeneration and functional recovery of injured peripheral nerve / J.J. Anders, S. Geuna, S. Rochkind // *Neurol. Res.* – 2004. – Vol. 26. – № 2. – P. 233–239.
70. A systematic review of low level laser therapy with location-specific doses for pain from chronic joint disorders / J.M. Bjordal, C. Couppé, R.T. Chow [et al.] // *Aust. J. Physiother.* – 2003. – Vol. 49. – № 2. – P. 107–116.
71. A systematic review with procedural assessments and meta-analysis of low level laser therapy in lateral elbow tendinopathy (tennis elbow) / J.M. Bjordal, R.A. Lopes-Martins, J. Joensen [et al.] // *BMC Musculoskelet. Disord.* – 2008. – Vol. 9. – P. 75.

72. Ballistics and gunshot wounds: effects on musculoskeletal tissues / C.S. Bartlett, D.L. Helfet, M.R. Hausman, E. Strauss // *J. Am. Acad. Orthop. Surg.* – 2000. – Vol. 8. – № 1. – P. 21–36.
73. Barach, E. Ballistics: a pathophysiologic examination of the wounding mechanisms of firearms: Part I / E. Barach, M. Tomlanovich, R. Nowak // *J. Trauma.* – 1986. – Vol. 26. – № 3. – P. 225–235.
74. Basford, J.R. Laser therapy: a randomized, controlled trial of the effects of low-intensity Nd:YAG laser irradiation on musculoskeletal back pain / J.R. Basford, C.G. Sheffield, W.S. Harmsen // *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation.* – 1999. – Vol. 80. – № 6. – P. 647–652.
75. Bates–Jensen, B.M. Indices to include in wound healing assessment / B.M. Bates–Jensen // *Adv. Wound Care.* 1995. – Vol. 8. – № 4. – Suppl. 25–33.
76. Bates–Jensen, B. New pressure ulcer status tool / B. Bates–Jensen // *Decubitus.* – 1990. – Vol. 3. – № 3. – P. 14–15.
77. Bates–Jensen, B. The pressure sore status tool: an outcome measure for pressure sores. / B. Bates–Jensen // *Top Geriatr. Rehabil.* – 1994. – Vol. 9. – № 4. – P. 17–34.
78. Bates–Jensen wound assessment tool: pictorial guide validation project / C. Harris, B. Bates–Jensen, N. Parslow [et al.] // *J. Wound Ostomy. Continence. Nurs.* – 2010. – Vol. 37. – № 3. – P. 253–259.
79. Bayat, M. Effects of 780-nm low-level laser therapy with a pulsed gallium aluminum arsenide laser on the healing of a surgically induced open skin wound of rat / M. Bayat, A. Azari, M.G. Golmohammadi // *Photomed. Laser Surg.* – 2010. – Vol. 28. – № 4. – P. 465–70.
80. Bayat, M. Presenting a Method to Improve Bone Quality Through Stimulation of Osteoporotic Mesenchymal Stem Cells by Low-Level Laser Therapy / M. Bayat, A. Jalalifirouzkouhi // *Photomed Laser Surg.* – 2017. – Vol. 35. – № 11. – P. 622–628.
81. Billroth, T. Untersuchungen über die Entwicklung der Blutgefäße / T. Billroth. – Berlin : University and Regional Library of Tyrol, 1856.
82. Biphasic dose response in low level light therapy / Y.Y. Huang, A.C.H. Chen, J.D. Carroll, M.R. Hamblin // *Dose-Response.* – 2009. – Vol. 7. – P. 358–383.

83. Bjordal, J.M. Low level laser therapy for tendinopathy. Evidence of a dose–response pattern / J.M. Bjordal, C. Coupee, A.E. Ljunggren // *Physical Therapy Reviews*. – 2001. – Vol. 6. – № 2. – P. 91–99.
84. Bone healing effects of diode laser (808 nm) on a rat tibial fracture model / J. Son, Y.B. Kim, Z. Ge [et al.] // *In Vivo*. – 2012. – Vol. 26. – № 4. – P. 703–709.
85. Bowyer, G.W. Management of gunshot wounds of the limbs / G.W. Bowyer, N.D. Rossiter // *J. Bone Joint Surg. Br.* – 1997. – 79 – № 6. – P. 1031–1036.
86. Brunschwig, H. *Dis ist das buch der Chirurgia Hantwischung der wund artzny* / H. Brunschwig. – Strassburg : Grüninger, 1947.
87. Carnes, M.E. *Skeletal Muscle Tissue Engineering: Biomaterials-Based Strategies for the Treatment of Volumetric Muscle Loss* / M.E. Carnes, G.D. Pins // *Bioengineering (Basel)*. 2020. – Vol. 7. – № 3. – P. 85.
88. Cellular dynamics in the muscle satellite cell niche / C.F. Bentzinger, Y.X. Wang, N.A. Dumont, M.A. Rudnicki // *EMBO Rep.* – 2013. – Vol. 14. – № 12. – P. 1062–1072.
89. Cilindro de Souza S. A Simplified Vacuum Dressing System / S. Cilindro de Souza, C. Henrique Briglia, R. Miranda Cavazzani // *Wounds*. – 2016. – Vol. 28. – № 2. – P. 48–56.
90. Closure of skin incision by dual wavelength (980 and 1064 nm) laser application / A.I. Uba, H.O. Tabakoglu, U.A. Abdullahi, M.M. Sani // *J. Cosmet. Laser Ther.* – 2017. – Vol. 19. – № 2. – P. 109–113.
91. Cohen, S. Muscle wasting in disease: molecular mechanisms and promising therapies / S. Cohen, J.A. Nathan, A.L. Goldberg // *Nat. Rev. Drug. Discov.* – 2015. – Vol. 14. – № 1. – P. 58–74.
92. Collinge, C. The incidence of wound complications related to negative pressure wound therapy power outage and interruption of treatment in orthopaedic trauma patients / C. Collinge, R. Reddix // *J. Orthop. Trauma*. – 2011. – Vol. 25. – № 2. – P. 96–100.
93. Comparison of effects of LLLT and LIPUS on fracture healing in animal models and patients: A systematic review / M. Bayat, A. Viridi, R. Jalalifirouzkouhi, F. Rezaei /

// Prog. Biophys. Mol. Biol. – 2018. – Vol. 132. – P. 3–22.

94. Comparison of the low level laser therapy effects on cultured human gingival fibroblasts proliferation using different irradiance and same fluence / A.L. Lopes, J. Rigau, R.A. Zangaro [et al.] // Lasers in Surgery and Medicine. – 2001. – Vol. 29. – № 2. – P. 179–184.

95. Computer-guided CO₂-laser osteotomy of the sheep tibia: technical prerequisites and first results / J.J. Kuttenger, S. Stübinger, A. Waibel [et al.] // Photomed. Laser Surg. – 2008. – Vol. 26. – № 2. – P. 129–136.

96. Coupland, R.M. The Red Cross classification of war wounds: the E.X.C.F.V.M. scoring system / R.M. Coupland // World J. Surg. – 1992. – Vol. 16. – № 5. – P. 910–917.

97. CO₂ laser surgery in osteomyelitis / A. Ceballos, R. Balmaseda, R. Puente, M. Pedroso // J. Clin. Laser Med. Surg. – 1997. – Vol. 15. – № 5. – P. 221–223.

98. Cvetkovic, M. Thermal modelling of the human eye exposed to infrared radiation of 1064 Nm Nd:YAG And 2090 Nm Ho:YAG lasers / M. Cvetkovic, A. Peratta, D. Poljak // Environ. Health Risk. – 2009. – Vol. 14. – P. 221–231.

99. Damage control orthopaedics in the context of battlefield injuries: the use of temporary external fixation on combat trauma soldiers / L. Mathieu, F. Bazile, R. Barthélémy [et al.] // Orthop. Traumatol. Surg. Res. – 2011. – Vol. 97. – № 8. – P. 852–859.

100. Davies, M. Inner-city gunshot wounds-10 years on / M. Davies, M. Kerins, E. Glucksman // Injury. – 2011. – Vol. 42. – P. 488–491.

101. Dealing With Burn Patients in War Zones / G. Kalinterakis, A. Koutras, A. Syllaios [et al.] // Disaster Med. Public. Health Prep. – 2021. – Vol. 15. – № 1. – P. 15–19.

102. Effect and clinical implications of the low-energy diode laser on bone cell proliferation / R.M. Huertas, E.D. Luna–Bertos, J. Ramos–Torrecillas [et al.] // Biol. Res. Nurs. – 2014. – Vol. 16. – № 2. – P. 191–196.

103. Effect of Different Wavelengths of Laser Irradiation on the Skin Cells / A. Cios, M. Cieplak, Ł. Szymański [et al.] // Int. J. Mol. Sci. – 2021. – Vol. 22. – № 5. – P. 2437.

104. Effect of low-level GaAlAs laser irradiation on the proliferation rate of human periodontal ligament fibroblasts: an in vitro study / M. Kreisler, A.B. Christoffers, B. Willershausen, B. D'Hoedt // *J. Clin. Periodontol.* – 2003. – Vol. 30. – P. 353–358.
105. Effects of low-level laser irradiation on mesenchymal stem cell proliferation: a microarray analysis / Y.H. Wu, J. Wang, D.X. Gong [et al.] // *Lasers Med. Sci.* – 2012. – Vol. 27. – P. 509–519.
106. Effect of low-level laser therapy in patients with chronic knee osteoarthritis: a single-blinded randomized clinical study / A. Alghadir, M.T. Omar, A.B. Al-Askar, N.K. Al-Muteri // *Lasers in Medical Science.* – 2014. – Vol. 29. – № 2. – P. 749–755.
107. Effect of low-level laser therapy on bone repair: a randomized controlled experimental study / V.R.G. Sella, F.R.C. do Bomfim, P.C.D. Machado [et al.] // *Lasers Med. Sci.* – 2015. – Vol. 30. – P. 1061–1068.
108. Effect of low-level laser therapy on the expression of inflammatory mediators and on neutrophils and macrophages in acute joint inflammation / A.C.A. Alves, R.P. Vieira, E.C.P. Leal–Junior [et al.] // *Arthritis Research & Therapy.* – 2013. – Vol. 15. – № 5 – R116.
109. Effects of the 633-nm laser on the behavior and morphology of primary fibroblast culture / J. Rigau, C.H. Sun, M.A. Trelles, M.W. Berns // *SPIE Proceedings.* – 1996. – Vol. 2630. – P. 38–42.
110. Efficacy of different therapy regimes of low-power laser in painful osteoarthritis of the knee: a double-blind and randomized-controlled trial / A. Gür, A. Cosut, A. Jale Sarac [et al.] // *Lasers in Surgery and Medicine.* – 2003. – Vol. 33. – № 5. – P. 330–338.
111. Efficacy of interferential low-level laser therapy using two independent sources in the treatment of knee pain / R. Montes–Molina, M.A. Madroñero–Agreda, A.B. Romojaro–Rodríguez [et al.] // *Photomedicine and Laser Surgery.* – 2009. – Vol. 27. – № 3. – P. 467–471.
112. Efficacy of low-level laser therapy applied at acupuncture points in knee osteoarthritis: a randomized double-blind comparative trial / A.S. Al Rashoud, R.J. Abboud, W. Wang, C. Wigderowitz // *Physiotherapy.* – 2014. – Vol. 100. – № 3. – P. 242–248.

113. Egginton, S. Invited review: activity-induced angiogenesis / S. Egginton // *Pflugers. Arch.* – 2009. – Vol. 457. – № 5. – P. 963–977.
114. Enwemeka, C.S. Laser biostimulation of healing wounds: specific effects and – mechanisms of action / C.S. Enwemeka // *The Journal of Orthopaedic and Sports Physicaltherapy.* – 1988. – Vol. 9. – № 10. – P. 333–338.
115. Experience with wound VAC and delayed primary closure of contaminated soft tissue injuries in Iraq / B.E. Leininger, T.E. Rasmussen, D.L. Smith [et al.] // *J. Trauma.* – 2006. – Vol. 61. – № 5. – P. 1207–1211.
116. Flanagan, M. Wound measurement: can it help us to monitor progression to healing / M. Flanagan // *J. Wound Care.* – 2003. – Vol. 12. – № 5. – P. 189–194.
117. Fundamentals of combat casualty care / R.T. Gerhardt, R. Delorenzo, R.L. Mabry, F.K. Butler // *Combat Casualty Care: Lessons Learned from OEF and OIF. Chapter 3.* – Washington : Borden Institute, U.S. Army Medical Department Center and School, Pelagique, LLC, 2012.
118. Gigo–Benato, D. Phototherapy for enhancing peripheral nerve repair: a review of the literature / D. Gigo–Benato, S. Geuna, S. Rochkind // *Muscle Nerve.* – 2005. – Vol. 31. – P. 694–701.
119. Gunshot-Related Injuries to the Foot & Ankle: Review Article / T. Gonzalez, J. Briceno, B. Velasco [et al.] // *Foot Ankle Int.* 2020. – Vol. 41. – № 4. – P. 486–496.
120. Gunshot Wounds: Ballistics, Pathology, and Treatment Recommendations, with a Focus on Retained Bullets / G.R. Baum, J.T. Baum, D. Hayward, B.J. MacKay // *Orthop. Res. Rev.* – 2022. – Vol. 14. – P. 293–317.
121. Helium-Neon laser reduces the inflammatory process of arthritis / C.R. Rubio, D. Cremonezzi, M. Moya [et al.] // *Photomedicine and Laser Surgery.* – 2010. – Vol. 28. – № 1. – P. 125–129.
122. Histological and TEM examination of early stages of bone healing after Er:YAG laser irradiation / A. Pourzarandian, H. Watanabe, A. Aoki [et al.] // *Photomed Laser Surg.* – 2004. – Vol. 22. – № 4. – P. 342–350.
123. Holmström, A. Local skeletal muscle surface oxygen pressure fields after high-energy trauma / A. Holmström, N. Lund, D.H. Lewis // *Microcirc. Endothelium*

Lymphatics. – 1985. – Vol. 2. – № 3. – 293–311.

124. Holmström, A. Metabolic changes in skeletal muscle following high-energy trauma / A. Holmström, J. Larsson, D.H. Lewis // *Acta. Chir. Scand.* – 1983. – Vol. 149. – № 8. – P. 729–734.

125. Holmström, A. Microcirculatory and biochemical studies of skeletal muscle tissue after high energy missile trauma / A. Holmström, J. Larsson, D.H. Lewis // *Acta. Chir. Scand. Suppl.* – 1982. – Vol. 508. – P. 257–259.

126. Howland, W.S. Gunshot fractures in civilian practice. An evaluation of the results of limited surgical treatment / W.S. Howland, S.J. Ritchey // *J. Bone. Joint. Surg. Am.* – 1971. – Vol. 53. – № 1. – P. 47–55.

127. Humphrey, C. Ballistics and anatomical modelling – A review / C. Humphrey, J. Kumaratilake // *Leg. Med. (Tokyo)*. – 2016. – Vol. 23. – P. 21–29.

128. Husain, Z. The role of lasers and intense pulsed light technology in dermatology / Z. Husain, T.S. Alster // *Clin. Cosmet. Investig. Dermatol.* – 2016. – Vol. 9. – P. 29–40.

129. Impact of Er:YAG laser on wound healing following nonsurgical therapy: A pilot study / K.L. Klepper, Y.P. Chun, D. Cochran [et al.] // *Clin. Exp. Dent. Res.* – 2019. – Vol. 5. – № 3. – P. 250–258.

130. Initial effects of low-level laser therapy on growth and differentiation of human osteoblast-like cells / E. Stein, J. Koehn, W. Sutter [et al.] // *Wien Klin. Wochenschr.* – 2008. – Vol. 120. – № 3–4. – P. 112–117.

131. Investigation of the supplementary effect of GaAs laser therapy on the rehabilitation of human digital flexor tendons / N. Özkan, L. Altan, U. Bingöl [et al.] // *J. Clin. Laser Med. Surg.* – 2004. – Vol. 22. – № 2. – P. 105–110.

132. Karu, T. Laser biostimulation: a photobiological phenomenon / T. Karu // *J. Photochem. Photobiol. B.* – 1989. – Vol. 3. – P. 638–640.

133. Kaub, L. More than Ninety Percent of the Light Energy Emitted by Near-Infrared Laser Therapy Devices Used to Treat Musculoskeletal Disorders Is Absorbed within the First Ten Millimeters of Biological Tissue / L. Kaub, C. Schmitz // *Biomedicines.* – 2022. – Vol. 10. – № 12. – P. 3204.

134. King, P.R. Low level laser therapy: A review / P.R. King // *Laser Med. Sci.* –

1989. – Vol. 4. – P. 141–150.

135. Koutna, M. Effects of low-power laser irradiation on cell proliferation / M. Koutna, R. Janisch, R. Veselska // *Scripta. Medica.* – 2003. – Vol. 76. – P. 163–172.

136. Laser therapy on arthritis induced by urate crystals / V.R. Campana, M. Moya, A. Gavotto [et al.] // *Photomedicine and Laser Surgery.* – 2004. – Vol. 22. – № 6. – P. 499–503.

137. Leucine incorporation into skeletal muscle proteins in vitro and protein synthesis by isolated ribosomes from skeletal muscle around a high velocity missile injury / P.O. Hasselgren, B. Almskog, B. Lund [et al.] // *Acta. Chir. Scand. Suppl.* – 1982. – Vol. 508. – P. 337–344.

138. Lister, T. Optical properties of human skin / T. Lister, P.A. Wright, P.H. Chappell // *J. Biomed. Opt.* – 2012. – Vol. 17. – № 9. – P. 090901–15.

139. Local metabolic changes in skeletal muscle following high-energy missile injury / B.A. Almskog, H. Haljamäe, P.O. Hasselgren [et al.] // *J. Trauma.* – 1982. – Vol. 22. – № 5. – P. 382–387.

140. Low-intensity laser therapy: a review / A. Schindl, M. Schindl, H. Pernerstorfer-Schön, L. Schindl // *J. Invest. Med.* – 2000. – Vol. 48. – P. 312–326.

141. Low-level laser (light) therapy (LLLT) in skin stimulating, healing, restoring / P. Avci, A. Gupta, M. Sadasivam [et al.] // *Semin. Cutan. Med. Surg.* – 2013. – Vol. 32. – № 1. – P. 41–52.

142. Low level laser therapy for nonspecific low-back pain / R. Yousefi-Nooraie, E. Schonstein, K. Heidari [et al.] // *Cochrane Database Syst. Rev.* – 2008. – Vol. 16. – № 2. – CD005107.

143. Low-level laser therapy for wound healing: mechanism and efficacy / W. Posten, D.A. Wrone, J.S. Dover [et al.] // *Dermatol. Surg.* – 2005. – Vol. 31. – P. 334–340.

144. Low-level laser therapy in subacromial impingement syndrome / A. Bal, E. Eksioglu, E. Gurcay [et al.] // *Photomedicine and Laser Surgery.* – 2009. – Vol. 27. – № 1. – P. 31–36.

145. Low level laser therapy: laser radiation absorption in biological tissues / P. Di

- Giacomo, S. Orlando, M. Dell'ariccia, B. Brandimarte // *Appl. Phys. A.* – 2013. – Vol. 112. – № 1. – P. 71–75.
146. Low power laser treatment in patients with knee osteoarthritis / F. Tascioglu, O. Armagan, Y. Tabak [et al.] // *Swiss. Medical Weekly.* – 2004. – Vol. 134. – № 17–18. – P. 254–258.
147. Macrophages Are Key Regulators of Stem Cells during Skeletal Muscle Regeneration and Diseases / J. Dort, P. Fabre, T. Molina, N.A. Dumont // *Stem Cells Int.* – 2019. – Vol. 2019. – P. 4761427.
148. Maiden, N. Ballistics reviews: mechanisms of bullet wound trauma / N. Maiden // *Forensic. Sci. Med. Pathol.* – 2009. – Vol. 5. – № 3. – P. 204–209.
149. Maiden, N. Historical overview of wound ballistics research / N. Maiden // *Forensic. Sci. Med. Pathol.* – 2009. – Vol. 5. – № 2. – P. 85–89.
150. Mirnezami, S.A. Temperature distribution simulation of the human eye exposed to laser radiation / S.A. Mirnezami, M. Rajaei Jafarabadi, M. Abrishami // *J. Lasers Med. Sci.* – 2013. – Vol. 4. – № 4. – P. 175–181.
151. Molecular Mechanisms of Changes in Homeostasis of the Dermal Extracellular Matrix: Both Involutional and Mediated by Ultraviolet Radiation / A. Zorina, V. Zorin, D. Kudlay, P. Kopnin // *Int. J. Mol. Sci.* 2022. – Vol. 23. – № 12. – P. 6655.
152. Momenzadeh S. Low level laser therapy for painful joints / S. Momenzadeh // *J. Lasers Med. Sci.* – 2013. – Vol. 4. – № 2. – P. 67–69.
153. Moriscot, A., Miyabara, E.H., Langeani, B. [et al.] Firearms-related skeletal muscle trauma: pathophysiology and novel approaches for regeneration // *NPJ Regen. Med.* – 2021. – Vol. 6. – № 1. – P. 17.
154. Musstaf, R.A. Assessing the impact of low level laser therapy (LLLT) on biological systems: a review / R.A. Musstaf, D.F.L. Jenkins, A.N. Jha // *Int. J. Radiat. Biol.* 2019. – Vol. 95. – № 2. – P. 120–143.
155. Nair, H.K.R. Photobiomodulation as an Adjunct Therapy in Wound Healing / H.K.R. Nair, S.S.Y. Chong, D.D.J. Selvaraj // *Int. J. Low Extrem. Wounds.* – 2023. – Vol. 22. – № 2. – P. 278–282.
156. Nelson, J. Lasers: state of the art in dermatology / J. Nelson // *Dermatol. Clin.* –

1993. – Vol. 11. – P. 15–26.

157. Ng, E.Y.K. Ocular surface temperature: A 3D FEM prediction using bioheat equation / E.Y.K. Ng, E.H. Ooi // *Comput. Biol. Med.* – 2007. – Vol. 37. – P. 829–835.

158. Photobiomodulation of pain and inflammation in microcrystalline arthropathies: experimental and clinical results / F. Soriano, V. Campana, M. Moya [et al.] // *Photomedicine and Laser Surgery.* – 2006. – Vol. 24. – № 2. – P. 140–150.

159. Platelet-Rich Fibrin and Soft Tissue Wound Healing: A Systematic Review / R.J. Miron, M. Fujioka–Kobayashi, M. Bishara [et al.] // *Tissue Eng. Part B. Rev.* – 2017. – Vol. 23. – № 1. – P. 83–99.

160. Pro- and anti-angiogenic factors in human skeletal muscle in response to acute exercise and training / B. Hoier, N. Nordsborg, S. Andersen [et al.] // *J. Physiol.* – 2012. – Vol. 590. – № 3. – P. 595–606.

161. Prokopova, L.V. The use of the CO₂ laser in the combined treatment of chronic osteomyelitis in children / L.V. Prokopova, N.G. Nikolaeva, N.K. Maliarchuk // *Klin. Khir.* (1962). – 1993. – № 2. – P. 46–48.

162. Pustisek, N. UV-radiation, apoptosis and skin / N. Pustisek, M. Situm // *Coll. Antropol.* – 2011. – Vol. 35. – Suppl. 2. – P. 339–341.

163. Regenerative medicine and war: a front-line focus for UK defence / A.M. Spear, G. Lawton, R.M.T. Staruch, R.F. Rickard // *NPJ Regen. Med.* – 2018. – Vol. 3. – P. 13.

164. Reliability of the Bates–Jensen wound assessment tool for pressure injury assessment: The pressure ulcer detection study / B.M. Bates–Jensen, H.E. McCreath, D. Harputlu, A. Patlan // *Wound Repair Regen.* – 2019. – Vol. 27. – № 4. – P. 386–395.

165. Rochkind, S. An innovative approach to induce regeneration and the repair of spinal cord injury / S. Rochkind, A. Shahar, Z. Nevo // *Laser Therapy.* – 1997. – Vol. 9. – № 4. – P. 151–152.

166. Rochkind, S. A single transcutaneous light irradiation to injured peripheral nerve: comparative study with five different wavelengths / S. Rochkind, M. Nissan, R. Lubart // *Lasers in Medicine Science.* – 1989. – Vol. 4. – № 3. – P. 259–263.

167. Rüedi, T.P. *AO Principles of Fracture Management*. 2nd ed. // T.P. Rüedi, R.E.

Buckley, C.G. Moran. – New York : Georg Thieme Verlag, 2007. – 947 p.

168. Scott Levin, L. Institutional Experience and Orthoplastic Collaboration Associated with Improved Flap-based Limb Salvage Outcomes / L. Scott Levin // *Clin. Orthop. Relat. Res.* – 2021. – Vol. 479. – P. 2397–2399.

169. Short-term effects of 890-nanometer radiation on pain, physical activity, and postural stability in patients with knee osteoarthritis: a double-blind, randomized, placebo-controlled study / R.L. Hsieh, M.T. Lo, W.C. Liao, W.C. Lee // *Arch. Phys. Med. Rehabil.* – 2012. – Vol. 93. – № 5. – P. 757–764.

170. Stasinopoulos, D.I. Effectiveness of low-level laser therapy for lateral elbow tendinopathy / D.I. Stasinopoulos, M.I. Johnson // *Photomedicine and Laser Surgery.* – 2005. – Vol. 23. – № 4. – P. 425–430.

171. Surendranath, P. Low level laser therapy—a review / P. Surendranath, K. Arjun // *IOSR-JDMS.* – 2013. – Vol. 12. – P. 56–59.

172. Surgical management of combat-related upper extremity injuries / L. Mathieu, A. Bertani, C. Gaillard [et al.] // *Chir. Main.* 2014. – Vol. 33. – № 3. – P. 174–182.

173. The effects of low-level diode laser irradiation on differentiation, antigenic profile, and phagocytic capacity of osteoblast-like cells (MG-63) / R. Medina–Huertas, F.J. Manzano–Moreno, E. De Luna–Bertos [et al.] // *Lasers Med. Sci.* – 2014. – 29. – № 4. – P. 1479–1484.

174. The evolution and impact of the "damage control orthopedics" paradigm in combat surgery: a review / G. Kalinterakis, A. Koutras, A. Syllaios [et al.] // *Eur. J. Orthop. Surg. Traumatol.* – 2019. – Vol. 29. – № 3. – P. 501–508.

175. The impact of wavelengths of LED light-therapy on endothelial cells / S. Rohringer, W. Holnthoner, S. Chaudary [et al.] // *Sci. Rep.* – 2017. – Vol. 7. – № 1. – P. 10700.

176. The multifaceted activity of VEGF in angiogenesis – Implications for therapy responses / S. Moens, J. Goveia, P.C. Stapor [et al.] // *Cytokine Growth Factor Rev.* – 2014. – Vol. 25. – № 4. – P. 473–482.

177. The nuts and bolts of low-level laser (light) therapy / H. Chung, T. Dai, S.K. Sharma [et al.] // *Ann. Biomed. Eng.* – 2012. – Vol. 40. – № 2. – P. 516–533.

178. Therapeutic effects of short-term monochromatic infrared energy therapy on patients with knee osteoarthritis: a double-blind, randomized, placebo-controlled study / R. Hsieh, M.T. Lo, W. Lee, W. Liao // *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* – 2012. – Vol. 42. – № 11. – P. 947–956.
179. The systemic immune response to trauma: an overview of pathophysiology and treatment / J.M. Lord, M.J. Midwinter, Y.F. Chen [et al.] // *Lancet.* – 2014. – Vol. 384. – № 9952. – P. 1455–1465.
180. Tumor angiogenesis and anti-angiogenic gene therapy for cancer / T. Li, G. Kang, T. Wang, H. Huang // *Oncol. Lett.* – 2018. – Vol. 16. – № 1. – P. 687–702.
181. Tuner, J. *The Laser Therapy Handbook : A Guide for Research Scientists, Doctors, Dentists, Veterinarians and Other Interested Parties Within the Medical Field* / J. Tuner, L. Hode. – Grängesberg : Prima Books, 2004. – 231 p.
182. Two different mechanisms of low-intensity laser photobiological effect on *Escherichia coli* / T. Karu, O. Tiphlova, R. Esenaliev [et al.] // *J. Photochem. Photobiol. B.* – 1994. – Vol. 24. – № 2. – P. 155–161.
183. Vacuum-assisted closure therapy for vascular graft infection (Szilagyi grade III) in the groin—a 10-year multi-center experience / H. Verma, K. Ktenidis, R.K. George, R. Tripathi // *Int. Wound J.* – 2015. – Vol. 12. – № 3. – P. 317–321.
184. Volgas, D. *Manual of Soft-Tissue Management in Orthopaedic Trauma* / D. Volgas, Y. Harder. – New York : Georg Thieme Verlag, 2011. – 336 p. – ISBN 978-3-13-166371-9. – URL : <http://www.thieme.com/bonuscontent>.
185. WITHDRAWN: Low level laser therapy (Classes III) for treating osteoarthritis / L. Brosseau, V. Robinson, G. Wells [et al.] // *Cochrane Database Syst. Rev.* – 2007. – № 1. – CD002046.
186. Wound ballistics of military rifle bullets: An update on controversial issues and associated misconceptions / P.K. Stefanopoulos, G. Mikros, D.E. Piniolidis [et al.] // *J. Trauma Acute Care Surg.* – 2019. – Vol. 87. – № 3. – P. 690–698.
187. Wound healing in cell studies and animal model experiments by low level laser therapy; were clinical studies justified? A systematic review / C. Lucas, L.J. Criens-Poublon, C.T. Cockrell, R.J. De Haan // *Lasers Med. Sci.* – 2002. – Vol. 17. – P. 110–

134.

188. Wound-healing outcomes using standardized assessment and care in clinical practice / L. Bolton, P. McNeess, L. van Rijswijk [et al.] // *J. Wound Ostomy Continence Nurs.* – 2004. – Vol. 31. – № 2. – P. 65–71.

189. Yeldan, I. The effectiveness of low laser therapy on shoulder function in sub-acromial impingement syndrome / I. Yeldan, E. Cetin, A.R. Ozdincler // *Disabil. Rehabil.* – 2009. – Vol. 31. – № 11. – P. 935–940.

190. Yin, H. Satellite cells and the muscle stem cell niche / H. Yin, F. Price, M.A. Rudnicki // *Physiol. Rev.* – 2013. – Vol. 93. – № 1. – P. 23–67.

Приложение А.

Оценка тяжести повреждений по шкале кафедры военно-полевой хирургии (для огнестрельных ранений) Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова

| Характер и локализация повреждений | Баллы |
|--|-------|
| Ограниченные раны мягких тканей конечностей | 0,05 |
| Непроникающие раны крупных суставов | 0,1 |
| Ограниченные раны мягких тканей стопы | 0,2 |
| Краевые и дырчатые переломы длинных костей | 0,2 |
| Проникающие раны мелких суставов | 0,2 |
| Ограниченные раны мягких тканей и костей кисти | 0,4 |
| Обширные раны мягких тканей конечностей | 0,6 |
| Ограниченные раны мягких тканей и костей стопы | 0,8 |
| Переломы коротких костей, костей предплечья | 0,8 |
| Проникающие раны крупных суставов | 1,0 |
| Перелом плеча | 1,0 |
| Обширные раны мягких тканей и костей кисти | 1,0 |
| Перелом голени | 2,0 |
| Обширные раны мягких тканей и костей стопы | 2,0 |
| Повреждение крупных нервов | 2,0 |
| Отрыв кисти, стопы | 3,0 |
| Отрыв предплечья | 3,0 |
| Перелом бедра | 3,0 |
| Повреждение магистральных сосудов конечностей | 4,0 |
| Отрыв плеча | 4,0 |
| Отрыв голени | 4,0 |
| Отрыв бедра | 10,0 |

Примечание: сумма баллов 0,05–0,49 – лёгкое поражение; 0,5–0,99 – поражение средней тяжести; 1,0–12,0 – тяжёлое поражение; свыше 12 баллов – крайне тяжёлое поражение.

Приложение Б.
Шкала Бейтс–Дженсен (1995)

| Показатели | Оценка (баллы) |
|------------------------------|---|
| Площадь раны | 1 = длина × ширина <4 см ² ; 2 = длина × ширина 4 – <16 см ² ; 3 = длина × ширина 16,1 – <36 см ² ; 4 = длина × ширина 36,1 – <80 см ² ; 5 = длина × ширина >80 см ² |
| Глубина раны | 1 = небледнеющая эритема на интактной коже; 2 = частичное истончение (некроз) кожи, затрагивающее эпидермис и/или дермальный слой; 3 = некроз всей толщи кожи, сопровождающийся повреждением или некрозом подкожной клетчатки; может распространяться до фасции, но не глубже; и/или дно раны выстлано грануляциями; 4 = дно раны представлено некротическими тканями; 5 = полный некроз толщи кожи с обширными повреждениями и некрозами |
| Края раны | 1 = расплывчатые, диффузные, без чётких границ; 2 = с чёткими контурами, фиксированные, с раневым дефектом в центре; 3 = хорошо определяемые, нефиксированные к раневому дефекту; 4 = хорошо определяемые, нефиксированные к раневому дефекту, закруглены, утолщены; 5 = хорошо определяемые, фиброзные, рубцующиеся или гиперкератозные |
| Карманы раны | 1 = нет; 2 = <2 см в любую сторону; 3 = 2–4 см, включая в себя <50% раневой поверхности; 4 = 2–4 см, включая в себя >50% раневой поверхности; 5 = >4 см в любую сторону |
| Вид некротической ткани | 1 = не визуализируется; 2 = бело-серая нежизнеспособная ткань и/или невязкая, жёлтая субстанция; 3 = рыхлая жёлтая субстанция; 4 = вязкий, мягкий, чёрный струп; 5 = твёрдый, жёсткий, чёрный струп |
| Площадь некротических тканей | 1 = не визуализируется; 2 = <25% раневой поверхности; 3 = 25–50% раневой поверхности; 4 = 50–75% раневой поверхности; 5 = 75–100% раневой поверхности |

| | |
|--|---|
| Вид экссудата в ране | 1 = нет; 2 = геморрагический; 3 = серозно-геморрагический: водянистый, бледно-розовый; 4 = серозный: водянистый, прозрачный; 5 = гнойный: водянистый/густой, непрозрачный, золотисто-жёлтый, с/без запаха |
| Количество экссудата в ране | 1 = нет, сухая рана; 2 = рана влажная, но экссудат не наблюдается; 3 = рана влажная, влага равномерно распределяется по ране, «промокание» <25% повязки; 4 = ткани пропитаны влагой, экссудат может быть распределен по ране равномерно или неравномерно. «промокание» 25–75% повязки; 5 = ткани пропитаны влагой, жидкость в полости раны, «промокание» 25–75% повязки |
| Цвет кожи вокруг раны | 1 = розовая или нормальная для этнической группы; 2 = ярко-красная и/или бледнеющая при надавливании; 3 = белая/бледно-серая/гипопигментированная; 4 = тёмно-красная или фиолетовая и/или не бледнеющая при нажатии; 5 = чёрная или гиперпигментированная |
| Периферические отёки тканей | 1 = нет отёка; 2 = неизъязвлённый отёк <4 см вокруг раны; 3 = неизъязвлённый отёк >4 см вокруг раны; 4 = изъязвлённый отёк <4 см вокруг раны; 5 = крепитирующий и/или изъязвлённый отёк >4 см вокруг раны |
| Уплотнение периферических тканей вокруг раны | 1 = нет; 2 = уплотнение <2 см вокруг раны; 3 = уплотнение 2–4 см <50% вокруг раны; 4 = уплотнение 2–4 см ≥50% вокруг раны; 5 = уплотнение >4 см в любую сторону вокруг раны |
| Грануляции в ране | 1 = кожа не затронута или рана эпителизирована; 2 = яркая, мясисто-красная, 75–100% от площади раны и/или гипертрофия ткани; 3 = яркая, мясисто-красная, 75–25% от площади раны; 4 = розовая и/или тусклая, тёмно-красная и/или ≥25% от площади раны; 5 = нет грануляций |
| Эпителизация в ране | 1 = 100% покрытие раны, поверхность не повреждена; 2 = 75–100% покрытия раны и/или эпителизация >0,5 см в дне раны; 3 = 50–75% покрытия раны и/или эпителизация <0,5 см в дне раны; 4 = 25–50% покрытия раны; 5 = <25% покрытия раны |

Приложение В.

Публикации по использованию лазерного излучения низкой интенсивности в медицине

Таблица В.1 – Публикации по использованию лазерного излучения низкой интенсивности в медицине

| № п/п | Тип лазера | Длина волны (нм) | Мощность, (мВт) | Плотность энергии (Дж/см ²) | Плотность мощности (МВт/см ²) | Модель излучения: непрерывная волна (НВ) / импульсная волна (ИВ) | Патология (область изучения) | Литературный источник |
|-------|-------------|------------------|-----------------|---|---|--|---|----------------------------|
| 1. | Diode laser | 810 | 10 | 3 and 30 | 5 and 50 | НВ | Зимозан-индуцированный артрит | Castano et al., 2007 |
| 2. | He-Ne | 632.8 | 10 | 3, 5, 10, 20, 25, 50 | 64.6 | НВ | Нейродегенеративные заболевания | Song et al., 2012 |
| 3. | He-Ne | 632.8 | 10 | 0.5, 1, 2, 4 | | НВ | Болезнь Альцгеймера | Meng et al., 2013 |
| 4. | Nd:YAG | 1064 | 1.25 | | | НВ | Удаление зубов | Vescovi et al., 2013 |
| 5. | GaAs | 904 | 10 | 5.4 | 20 | НВ | Заболевания опорно-двигательного аппарата | Bjordal et al., 2006 |
| 6. | Diode laser | 830 | 30 | 1.1 | | ИВ | Болезненный стоматит | Toida et al., 2003 |
| 7. | Diode laser | 810 | 30 | 0.9 | 30 | НВ | Диабетические раны | Danc'akov'a et al., 2014 |
| 8. | Diode laser | 830 | 30 | | | НВ | Хронические заболевания внутреннего уха | Wilden and Dindinger, 1996 |
| | He-Ne | 632.8 | 20 | | | | | |
| 9. | Diode laser | 660 | 50 | 2 | | НВ | Лихеноидная форма хронической реакции «трансплантат против хозяина» | Chor et al., 2004 |
| 10. | Diode laser | 810 | | 3 | 20 | НВ | Корковые нейроны | Huang et al., 2014 |
| 11. | He-Ne | 632.8 | 400 | 1 | | НВ | Болезнь Альцгеймера | Farfara et al., 2015 |
| 12. | GaAlAs | 860 | 30 | 3 | 3000 | ИВ | Болевой синдром при остеоартрите | Brosseau et al., 2005 a, b |
| | | | 60 | | | НВ | | |
| 13. | GaAs | 808 | | | 10 and 20 | НВ | Черепно-мозговая травма | Oron et al., 2007 |
| 14. | GaAlAs | 830 | 60 | 45 | 4000 | НВ | Болевой синдром в поясничном отделе позвоночника | Ohshiro and Shirono, 1992 |
| 15. | Diode laser | 660 | 30 | 7.5 | | НВ | Нейтрофилез | Aimbire et al., 2008 |

Продолжение Таблицы В.1

| | | | | | | | | |
|-----|-------------|--------------------|--------|-------------------------|---------|----|---|-----------------------------|
| 16. | Diode laser | 660 | 40 | 20 | | НВ | Синдром жжения во рту | dos Santos Lde et al., 2011 |
| 17. | Diode laser | 665, 730, 810, 980 | | 36 | 150 | НВ | Черепно-мозговая травма | Wu et al., 2012 a |
| 18. | Diode laser | 660 | 24 | | | НВ | Пародонтоз | de Almeida et al., 2008 |
| 19. | Diode laser | 820 | 300 | 3 | | НВ | Миофасциальный болевой синдром | OeZ et al., 2010 |
| 20. | GaAlAs | 780 | 50 | 7.5 | | НВ | Ревматоидный артрит | Ekim et al., 2007 |
| 21. | Diode laser | 810 | | 0.03, 0.3, 3, 10 and 30 | 25 | НВ | Корковые нейроны | Sharma et al., 2011 |
| 22. | GaAlAs | 830 | 70 | 6 | | НВ | Регенерация периферических нервов | Midamba and Haanaes, 1993 |
| 23. | GaAlAs | 810 | 1 | 4.8; 24 | 80 | НВ | Орофациальный гранулематоз | Merigo et al., 2012 |
| 24. | Diode laser | 830 | 100 | 3 | | НВ | Хронический пародонтит | Makhlouf et al., 2012 |
| 25. | Diode laser | 780 830 | 30 500 | 6.3 100 | | НВ | Боль в височно-нижнечелюстном суставе | Chang et al., 2014 |
| 26. | He-Ne | 632.8 | 10 | 0.18–27 | | НВ | Вялотекущие язвы | Schindl et al., 1992 |
| 27. | Diode laser | 808 | | | 110 165 | НВ | Потеря слуха | Tamura et al., 2015 |
| 28. | Diode laser | 532 | 7.5 | | | НВ | Потеря слуха | Goodman et al., 2013 |
| | | 635 | | | | ИВ | | |
| 29. | Diode laser | 650 | 5 | | | НВ | Шум в ушах | Salahaldin et al., 2012 |
| 30. | InGaAlP | 660 | 10 | 2.5 | | НВ | Острый артрит, вызванный зимозаном | Carlos et al., 2014 |
| 31. | GaAs | 904 | 20 | 2–20 | 11.2 | ИВ | Миофасциальный болевой синдром в области шеи | Gur et al., 2004 |
| 32. | GaAs | 904 | | 29.5 | 246 | ИВ | Ксеростомия | Lončar et al., 2011 |
| 33. | Diode laser | 630–670; 780–830 | 10–100 | 2, 3, 4 | | НВ | Мукозит полости рта, вызванный противоопухолевой терапией | Bensadoun and Nair, 2012 |
| 34. | Diode laser | 660, 810, 980 | | 36 | | НВ | Черепно-мозговая травма | Wu et al., 2010 |
| 35. | GaAlAs | 670 | 5 | 2 | | НВ | Хронический пародонтит | Obradovi'c et al., 2013 |
| | | | | | | | Сахарный диабет | |
| 36. | Ga-AsI-Al | 780 | 22 | 7.7 | 100 | НВ | Ревматоидный артрит | Alves et al., 2013 |
| 37. | Diode laser | 810 | | 36 | 50 | НВ | Черепно-мозговая травма | Xuan et al., 2015 |

Продолжение Таблицы В.1

| | | | | | | | | |
|-----|-----------------|-------------|--------|---------|----------|--------|---|---------------------------|
| 38. | Diode laser | 685 | 200 | 2 | | НВ | Болезнь Рейно | Hirschl et al., 2004 |
| 39. | LED Diode laser | 640–685–810 | | | 50 | НВ | Болезнь Паркинсона | Trimmer et al., 2009 |
| 40. | Diode laser | 790 | 120 | 6 | | НВ | Синдром жжения во рту | Kato et al., 2010 |
| 41. | IR laser | 830 | 35 | 3 | | НВ | Воспаление легких | Oliveira et al., 2013 |
| 42. | GaAs | 904 | 150 | 6 | | ИВ | Синдром запястного канала | Dakowicz et al., 2011 |
| 43. | AlGaAs | 780 | 30 | 22.5 | 750 | НВ, ИВ | Почечный интерстициальный фиброз | Oliveira et al., 2012 |
| 44. | GaAlAs | 830 | 60 | 18 | 3000 | НВ | Остеоартроз коленного сустава | Trelles et al., 1991 |
| 45. | AlGaAs | 785 | 70 | 3 | | НВ | Ревматоидный артрит | Meireles et al., 2010 |
| 46. | Diode laser | 670 | 50 | 3 | | ИВ | Дисфункция височно-нижнечелюстного сустава | Núñez et al., 2006 |
| 47. | GaAs | 904 | 45 | 5 | | НВ | Мышечная травма | Rizzi et al., 2006 |
| 48. | GaAlAs | 980 | 300 | 4 | 1500 | НВ | Пемфигоид слизистой оболочки | Cafaro et al., 2012 |
| 49. | Diode laser | 660 | 5 | 4.5 | | НВ | Острое воспаление | de Lima et al., 2011 |
| 50. | GaAs | 980 | 10; 80 | 2–4 | | НВ, ИВ | Хроническая боль в пояснице | Hadi et al., 2009 |
| 51. | GaAlAs | 980 | 300 | 4 | 1000 | НВ | Красный плоский лишай полости рта | Cafaro et al., 2014 |
| 52. | GaAlAs | 660 | 30 | 57.14 | 428 | НВ | Пародонтоз | Garcia et al., 2011 |
| 53. | InGaAlP | 660 | 40 | 2 | 1000 | НВ | Язвы при последствиях лепры | Barreto and Salgado, 2010 |
| 54. | GaAlAs | 815 | 250 | 12 | | НВ | Воспаление в «ретродискальных тканях» височно-нижнечелюстного сустава | Kucuk et al., 2010 |
| 55. | GaAlAs | 808 | 500 | 5 | 1.8 | НВ | Бисфосфонатный остеонекроз челюсти | Altay et al., 2014 |
| 56. | AsGaInP | 660 | 50–100 | 12.5–25 | 1.25–2.5 | НВ | Ожоги третьей степени | Brassolatti et al., 2016 |

Приложение Г.

Публикации по влиянию низкоинтенсивной лазерной терапии на различные клеточные линии

Таблица Г.1 – Публикации по влиянию низкоинтенсивной лазерной терапии на различные клеточные линии

| Используемые типы клеток | Выявленные биологические эффекты | Авторы |
|--|---|--------------------------|
| Фибробласты кожи человека | <p>Обработка клеток. Количество необлученных, обработанных гидроксимочевинной (ГМ) клеток в центральной царапине было меньше, по сравнению с необлученными, необработанными клетками, что свидетельствует о том, что ГМ ингибировала пролиферацию. Количество облученных, обработанных ГМ клеток в центральной царапине увеличилось по сравнению с необлученными обработанными клетками. Это увеличение было обусловлено стимулирующим эффектом облучения с энергией 5 Дж/см². Добавление ГМ не оказало существенного влияния на жизнеспособность клеток.</p> <p>Тест на исключение трипанового синего не выявил существенной разницы жизнеспособности между обработанными и необработанными клетками.</p> <p>Облученные клетки без обработки показали значительное увеличение содержания формазана, что является следствием расщепления 2,3-бис(2-метокси-4-нитро-5-сульфофенил)-2Н-тетразолий-5-карбоксамид митохондриальной сукцинатдегидрогеназой в активно пролиферирующих клетках, по сравнению с необлученными необработанными клетками.</p> <p>Анализ жизнеспособности, пролиферации и целостности ДНК клеток показал, что облученные и необлученные N-клетки не подвергались значительному влиянию как через 1, так и через 24 ч после облучения.</p> <p>Достоверное снижение повреждений через 24 ч инкубации по сравнению с периодом через 1 ч за счет активации механизмов репарации ДНК</p> | Mbene et al., 2006 |
| <i>E. Coli</i> AB1157, BW527, BV9091 и BW375 | <p>При воздействии лазера не происходит никаких изменений в выживаемости культур <i>E. Coli</i>.</p> <p>Лазерное воздействие индуцирует филаментацию в экспоненциальных культурах <i>E. Coli</i> AB1157, BW527, BH20, BW375 и BV9091 во всех режимах излучения.</p> <p>Лазерно-индуцированная стимуляция репликации клеток в культурах кишечной палочки зависит от условий культивирования, определяя конкретное метаболическое состояние, необходимое для деления</p> | da Silva S. et al., 2013 |

Продолжение Таблицы Г.1

| | | |
|--|---|------------------------|
| Стволовые клетки | НИЛИ увеличивает скорость пролиферации различных клеточных линий. Стимуляция клеточной пролиферации зависит от доз лазерного облучения, так как более низкие дозы увеличивают скорость пролиферации клеток и другие клеточные функции, в то время как более высокие дозы НИЛИ оказывают отрицательное действие | AlGhamdi et al., 2012 |
| Мезенхимальные стволовые клетки (МСК) и сердечные стволовые клетки | НИЛИ (1 Дж/см ²) через 1 и 2 недели достоверно увеличивает количество стволовых клеток сердца в 7 и 2 раза соответственно, по сравнению с контролем. Значительное увеличение количества клеток при плотности энергии 3 Дж/см ² через 1 неделю. Количество МСК увеличивалось после НИЛИ 50 мВт/см ² в течение 20 и 60 секунд | Tuby et al., 2007 |
| Фибробласты кожи, слизистой оболочки щёк и десны | Повышенная пролиферация, созревание и передвижение, а также трансформация в миофибробласты. Снижение продукции провоспалительного простагландина E2. Повышенная продукция основных факторов роста фибробластов. Усиливается пролиферация при низких дозах и подавляется при высоких | Walsh et al., 1997 |
| Макрофаги | Повышение способности к фагоцитарному действию и усиление секреции основных факторов роста фибробластов. Макрофаги резорбируют фибрин в ходе фазы распада в процессе заживления раны быстрее при использовании НИЛИ благодаря усилению их фагоцитарной активности на начальных этапах репаративной реакции | |
| Лимфоциты | Лимфоциты активируются и быстрее пролиферируют | |
| Эпителиальные клетки | Эти клетки становятся более подвижными и способными мигрировать через раневые участки с ускоренным закрытием дефектов | |
| Клетки эндотелия | Эндотелий образует грануляционную ткань быстрее. Расслабление гладкой мускулатуры сосудов | |
| Фибробласты десны человека (Hgf3 Pi 53 NCBI code C50) | Различия между группой наблюдения и контрольной группой были статистически значимыми на 48 и 72 часа после облучения. Результаты исследования in vitro показали, что хороший уровень пролиферации клеток может быть достигнут, если клеткам было предоставлено достаточно времени для проявления воздействия лазерного облучения на скорость пролиферации | Frozanfar et al., 2013 |
| Клетки HeLa | Когда клетки подвергались лазерному облучению в течение 60 минут перед воздействием γ -излучения, наблюдались существенные различия между кривой выживаемости и кривой, представляющей выживание γ -облученных клеток. Увеличение количества клеток после стимуляции гелий-неоновым лазером в экспоненциальной фазе роста по сравнению с контрольной группой | Karu et al., 1994 |

Продолжение Таблицы Г.1

| | | |
|---|---|-----------------------|
| Человеческие В-лимфоциты | Измерение жизнеспособности клеток не показывает существенных изменений выживаемости Сами по себе гелий-неоновые лазеры не приводят к повреждению ДНК | Dube et al., 2001 |
| Фрагменты альвеолярной кости человека | Рост клеток зависел от времени только в группе НИЛИ. С 10-го по 14-й день в культурах с воздействием НИЛИ наблюдалось увеличение роста клеток | Petri et al., 2010 |
| Дрожжи, клетки HeLa | Определена активность некоторых ферментов и показано, что стимуляция роста сопровождается увеличением дыхательной активности при отсутствии накопления токсичных промежуточных продуктов кислородного обмена и преобладанием синтетических процессов в клетке над дегенеративными. Облучение вызывает перестройку клеточного метаболизма, причем свет играет роль пускового регулятора клеточного обмена | Karu, 1988 |
| Макрофаги человека | После 1 дня культивирования активированные и облученные лазером с длиной волны 780 нм макрофаги показали более низкую митохондриальную активность (МА), чем активированные макрофаги, но активированные и облученные лазером с длиной волны 660 нм макрофаги показали МА, схожую с активированными клетками. Через 3 дня активированные и облученные (660 и 780 нм) макрофаги показали большую МА, чем активированные макрофаги, а через 5 дней активированные и облученные (660 и 780 нм) макрофаги показали аналогичную МА к активированным макрофагам | Souza et al., 2014 |
| Клеточная линия MG 63 | Импульсный низкоуровневый лазер с низкой энергией, по-видимому, оказывает биостимулирующее действие на костную ткань | Huertas et al., 2013 |
| МС3Т3 (Osteoblastic (МС3Т3) cell line) | Снижение пролиферации клеток по сравнению с контрольной группой, не подвергавшейся облучению | Renno et al. 2010 |
| Остеобласты человека | НИЛИ способствует пролиферации и созреванию остеобластов человека <i>in vitro</i> и значительно увеличивает выживаемость клеток на 31–58% | Stein et al., 2005 |
| ТНР-1 (Human monocytic ТНР-1 cell line) | Фотобиомодулирующая терапия способствует пролиферации моноцитов человека <i>in vitro</i> и значительно увеличивает выживаемость клеток за счет увеличения целостности мембран и митохондриальной активности | Musstaf et al., 2017 |
| Стволовые клетки из отслоившихся молочных зубов | Повышение жизнеспособности и пролиферации стволовых клеток после лазерного облучения, за исключением для 1,2 Дж/см ² | de Souza et al., 2018 |