

## ДИНАМИКА РАНЕВОГО ПРОЦЕССА ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЫСОКО- ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ДЛИНОЙ ВОЛНЫ 1,47 МКМ

Свириденко Л.Ю.

Харьковская медицинская академия последипломного образования  
ул. Корчагинцев, 58, г. Харьков, 61176, Украина  
Тел.: +38 (057) 711-35-56; тел./факс: +38 (057) 711-80-25

*Проведен сравнительный анализ структурных изменений в коже крыс и ее придатках в результате воздействия высокоэнергетического лазерного излучения с длиной волны 1,47 мкм с различными временными и энергетическими параметрами.*

**Ключевые слова:** высокоэнергетическое лазерное излучение, лазерное повреждение тканей, гистологическое исследование дермы и ее придатков

### Введение

Лазерные технологии нашли широкое применение в хирургии, урологии, гинекологии, оториноларингологии, офтальмологии, дерматологии и др. областях медицины [2, 9]. Возможность доставки лазерного излучения по световодам позволяет использовать его в эндоскопии [7, 8, 13]. Высокоэнергетическое лазерное излучение (ВЭЛИ) применяется при хирургических операциях на паренхиматозных органах с развитой васкуляризацией – печени, селезенке, легких, почках, а также на коже. Считают, что внедрение «лазерных скальпелей» в хирургическую практику снижает частоту интра- и послеоперационных осложнений за счет гемостатического и др. свойств ВЭЛИ [9, 10, 11]. По мнению некоторых авторов, лазерное воздействие улучшает микроциркуляцию крови и трофику тканей, что способствует их быстрой репарации за счет пролиферации и дифференциации клеток [1, 5, 8, 9].

Особыми достоинствами хирургических лазерных технологий являются низкая инвазивность вмешательств и отсутствие побочных эффектов благодаря минимизации травмы ткани в операционном поле, асептичности, а также быстрое заживление. Такие особенности лазерной хирургии особенно ценны при операциях на тканях лица и открытых частях тела, хирургических операциях минимальных объемов [2, 4, 8, 10, 13].

Несмотря на значительное количество публикаций о практическом применении хирургических лазерных технологий в различных областях медицины, механизмы позитивных эффектов ВЭЛИ (асептичности, ускорения репаративно-регенера-

торных процессов и др.) не установлены до конца. Не определены оптимальные условия лазерного воздействия при хирургическом удалении мелких объемов на лице, при ЛОР-патологии, что иногда приводит к осложнениям и косметическим дефектам. Нами не найдено результатов воздействия ВЭЛИ длиной волны 1,47 мкм на различные ткани. Нет четких клинико-морфологических характеристик ремоделирования ткани кожи, ее составляющих и подлежащих тканей при различных параметрах лазерного воздействия на них [1, 3, 4, 5, 6, 12].

**Целью исследования** явилось сравнительное исследование особенностей структурных изменений в коже и подлежащих мягких тканях после воздействия инфракрасного ВЭЛИ с различной мощностью и экспозицией (продолжительностью облучения).

### Материал и методы

Исследования проводились на крысах линии «Vistar» (в количестве 30 особей) массой 220±50 г., в возрасте двух лет. Животные были разделены на 3 экспериментальные группы по 10 особей, разделенных по времени обследования на 3, 7, 28 сутки. Исследования проводились с целью изучения влияния на кожные покровы и мягкие ткани крысы лазерного излучения длиной волны 1,47 мкм, мощностью 10 Вт, при экспозиции 1 секунда, 2 секунды. В эксперименте использовались полупроводниковые лазерные аппараты «Ликахирург» производства ЧП «Фотоника Плюс». Выходная мощность лазерного излучения на конце световодного инструмента 15 Вт, длина волны 1,47 мкм, непрерывный режим.

Поверхностные раны наносились на кожу передней стенки живота крысы кварцевым световодом, расположенным непосредственно над кожей (без касания). Оценивали диаметр лазерной раны, степень заживления, гистологические изменения поврежденных тканей.

Экспериментальные животные содержались в стандартных условиях вивария Харьковской медицинской академии последипломного образования. При содержании, наблюдении за животными и проведении всех манипуляций придерживались положений «Европейской конвенции по защите позвоночных животных, которые используются для экспериментальных и научных целей» (Страсбург, 1995 г.), придерживались «Общих этических принципов экспериментов на животных, утвержденных 1 Национальным Конгрессом по биоэтике (Киев, 2001 г.). Экспериментальных животных обследовали после проведения декапитации под эфирным наркозом, согласно «Методическим рекомендациям по выведению животных из эксперимента» (1985 г.), соответственно срокам исследования, с целью изучения морфологических изменений течения раневого процесса.

Гистологические срезы тканей производились с захватом неповрежденных тканей на расстоянии 0,8 см от зоны лазерного воздействия, по краю биоптата кожи крыс, которые брались за «норму». Микропрепараты окрашивали гематоксилин-эозином и по методу Ван-Гизона.

Макроскопически на третьи сутки исследования раневой дефект кожи крысы после лазерного воздействия с экспозицией 1 с составлял  $7,2 \pm 1,1$  мм. Более обширные раны размерами  $10,1 \pm 0,5$  мм регистрировались при экспозиции 2 с.

На седьмые сутки у всех крыс имелось сходное течение раневого процесса: раны заживали первичным натяжением, под струпом, без воспалительных изменений окружающих тканей. Размер струпа коррелировал с размером ран при обследовании на третьи сутки.

Через три недели после лазерного воздействия все раны были эпителизированы. На поверхности заживших ран кожные покровы покрылись шерстью без особого ущерба для внешнего вида.

Микроскопически исследовались гистологические препараты кожи и подлежащих мягких тканей экспериментальных животных до и после воздействия ВЭЛИ с различными параметрами – мощностью и экспозицией.

Воздействие на кожу и подлежащие мягкие ткани проводили инфракрасным ВЭЛИ с длиной волны 1,47 мкм, мощностью излучения 5, 10 и 15 Вт и экспозицией 1, 2, 3, 5 и 15 с.

Гистологическое исследование проводили на 3-и, 7-е, 28-е сутки после лазерного воздействия.

Кусочки тканей из очагов воздействия фиксировали в нейтральном 40% формалине с последующей парафиновой проводкой по методике, принятой в практике патоморфологических лабораторий. После парафиновой проводки готовили срезы толщиной 5-6 мкм, которые окрашивали по методу Ван-Гизона и гематоксилин-эозином. С целью оценки изменений в тканях, наступивших под влиянием ВЭЛИ, определяли количество слоев эпидермиса, толщину дермы, гиподермы и прослоек в них соединительной ткани. С помощью сетки Автандилова в 10 полях зрения в 3 видах тканей изучали структурное и функциональное состояние вышеуказанных тканей.

В поле зрения микроскопа (микроскоп Optika B-352PLi 40x-1600x) под увеличением  $\times 100$ , подсчитывали количество сосудов, фибробластов и клеточных элементов: плазмочитов, лейкоцитов, тучных клеток и др. В дерме и гиподерме подсчитывали количество придатков кожи, учитывали наличие и размеры язвенного дефекта.

В тканях обращали внимание на геморрагические проявления, отеки, состояние стенок сосудов. Исследовали также наличие и динамику клеточных элементов, остро и хронического воспаления, степень выраженности репаративных и регенераторных процессов на месте повреждения.

Статистическую обработку результатов исследования осуществляли по методу Фишера-Стьюдента.

### Результаты и их обсуждение

**Контрольная группа (норма).** При исследовании биоптатов кожи крыс, взятых на расстоянии 8 мм от зоны лазерного воздействия, по краю биоптата, принятого нами за норму, была установлена целостность эпителиального покрова с количеством слоев, в среднем составляющим  $7,5 \pm 1,2$  (от 6 до 9 слоев).

В норме количество придатков кожи в дерме в 1,26 раз превышало их число в гиподерме. Толщина дермы в норме была равна  $80 \pm 2$  мкм, что в 1,33 раза больше толщины гиподермы, а толщина межмышечных соединительнотканых прослоек меньше толщины дермы в 1,6 раза и равна  $50 \pm 1$  мкм.

В нормальной подкожной жировой клетчатке количество собственно соединительнотканых клеток, фибробластов и фиброцитов в поле зрения составляло в среднем  $26,8 \pm 3,9$ , что в 1,77 раза меньше, чем в дерме ( $47,4 \pm 6,4$ ), а в межмышечных соединительнотканых прослойках их количество ( $49,8 \pm 2,3$ ) в 1,1 раза больше. Такое же соотношение, как у фибробластов, наблюдается и в отношении мелких сосудов и капилляров в изученных нами тканях.

В гиподерме регистрируется в норме в 1,5 раза меньшее количество сосудов ( $4,3 \pm 0,9$ ) по сравнению с их содержанием в дерме ( $6,7 \pm 1,2$ ). В межмышечных соединительнотканых прослойках, напротив, количество сосудов ( $8,7 \pm 1,1$ ) по сравнению с их числом в дерме ( $6,7 \pm 1,1$ ) увеличено в 1,29 раза.

На 3-и сутки после лазерного воздействия с мощностью 10 Вт в течение 1 и 2 секунд выявлены существенные различия значений как от нормы, так и в зависимости от величины экспозиции и, следовательно, дозы энергии ВЭЛИ.

Мощность ВЭЛИ 10 Вт, экспозиция 1 с, через 3 суток после воздействия. Через короткие сроки после воздействия ВЭЛИ в таком режиме во всех изучаемых тканях развились гемодинамические, дистрофические и атрофические изменения. Полнокровие сосудов и стаз крови приводили к ацидозу, гипоксии, трофическим нарушениям и расстройству обменных процессов на клеточном и тканевом уровнях.

Развитие выраженного отека в тканях способствовало нарушению паренхиматозно-стромальных взаимоотношений по сравнению с нормой. Толщина дермы, гиподермы и ширина межмышечных соединительнотканых прослоек увеличились за счет выраженного отека на 1,25%, 16,7% и 20% соответственно. Количество слоев эпидермиса уменьшилось относительно нормы на 36,4%. Нарушения в тканях способствовали атрофии и редукции придатков кожи, количество которых уменьшилось после воздействия ВЭЛИ в значительной мере в дерме (на 49,2%), а - в гиподерме всего на 10,3%. Последнее, возможно, связано с более глубоким залеганием жировой клетчатки и ее удаленностью от точки воздействия лазерного луча.

В соединительной ткани дермы после облучения в связи с отеком и нарушением трофики произошло набухание основного вещества, накопление кислых гликозаминогликанов. В результате этого коллагеновые волокна дистанцировались (промежутки между ними увеличились), несколько набухли, контуры их стали нечеткими, размытыми. Окрашивание волокон по методу Ван-Гизона и гематоксилин-эозином стало бледнее, но местами усилилось, что является признаком их значительного повреждения.

В дерме количество клеток собственно соединительной ткани, фибробластов и фиброцитов, уменьшилось после воздействия ВЭЛИ по сравнению с контролем на 65,6%. Что касается количества клеток соединительной ткани в гиподерме, то оно увеличилось на 27,6% относительно нормы. Такая же тенденция наблюдается в межмышечных соединительно-тканых прослойках,

где количество фибробластов и фиброцитов увеличилось по сравнению с контролем на 36,0%.

Увеличение количества клеток соединительной ткани является, с одной стороны, показателем развития репаративных процессов в гиподерме и межмышечных соединительно-тканых прослойках, но с другой - может быть свидетельством большей чувствительности жировой и мышечной ткани к лазерному воздействию, чем дермы. В то же время уменьшение количества слоев эпидермиса, уменьшение количества придатков и количества клеточных элементов соединительной ткани дермы является признаком более выраженного повреждения дермы ВЭЛИ, чем подлежащих тканей; угнетения репаративных возможностей дермы.

Различная степень повреждения мягких тканей, располагающихся на разной глубине (и удалении от источника лазерного облучения), сказывалась и на количестве сосудов в поле зрения микроскопа, являющихся источником репарации и регенерации повреждений.

Количество сосудов через 3 суток после лазерного воздействия уменьшилось на 17,9 % в дерме, в гиподерме - на 18,2%, а в межмышечной фиброзной ткани - на 24,1%, что свидетельствовало о большой скорости созревания вновь образованной рыхлой соединительной ткани, минующей стадию грануляции.

Количество пришлых клеток соединительной ткани на разной глубине от поверхности кожи также подтвердило разную степень реакции и повреждений тканей под действием лазерного излучения. В контроле количество иммунокомпетентных клеток весьма невелико, но все же они выявлены во всех трех изучаемых слоях, хотя и в единичных экземплярах.

Надо помнить, что у нас в качестве контроля изучены кусочки тканей конкретных животных. Наши исследования позволяют установить, что на расстоянии 8 мм от места лазерного воздействия регистрируется ремоделирование структуры тканей, о чем следует помнить специалистам, особенно работающим в области косметической лазерной хирургии.

После воздействия ВЭЛИ в гиподерме находится минимальное количество лимфоцитов, а в межмышечной соединительной ткани количество лимфоцитов в 3 раза больше, чем в гиподерме. Такое распределение содержания лимфоцитов в дерме и межмышечной соединительной ткани свидетельствует о травме первой и значительной чувствительности второй к лазерному воздействию, несмотря на более глубокое залегание ее относительно точки лазерного воздействия на кожу.

Плазматические клетки через трое суток после облучения встречаются в дерме в единичных

экземплярах не в каждом поле зрения. В подлежащей гиподерме и мышечной ткани реакции В-системы иммунитета не выявлено. В межмышечных соединительно-тканых прослойках регистрируются тучные клетки в единичных количествах, тогда как в гиподерме и дерме их не обнаружено. Появление тучных клеток связано с отеком и может быть предвестником фибротизации межмышечной вновь образованной соединительной ткани, поскольку они секретируют биогенные амины и гликозаминогликаны.

После воздействия ВЭЛИ через трое суток в дерме, гиподерме и вновь образованной межмышечной соединительной ткани происходит активизация Т-системы иммунитета. Однако степень активности лимфоцитов в дерме и вновь образованных прослойках межмышечной соединительной ткани меньше, чем в контроле, особенно в дерме. Такие результаты позволяют сделать вывод о повреждающем эффекте лазерного излучения на структуру и функцию дермы, гиподермы, особенно мышечной ткани, а также Т-системы иммунитета. Степень повреждения тканей ВЭЛИ зависит от чувствительности тканей, расстояния от источника излучения, дозы лазерного излучения.

В результате наших исследований установлена слабая чувствительность жировой ткани и повышенная чувствительность мышечной ткани к лазерному воздействию. Дерма умеренно чувствительна к ВЭЛИ, но степень ее повреждения, возможно, связана со свойством кожи поглощать и отражать лазерное излучение в зависимости от его длины волны.

Мощность ВЭЛИ 10 Вт, экспозиция 2 с, через трое суток после воздействия. Вдвое большая доза ВЭЛИ при той же мощности приводит к более выраженному повреждению кожи, подкожной жировой клетчатки и мышечной ткани, чем при экспозиции в 1 с. При исследовании отмечено появление язвенного дефекта, занимающего всю толщину дермы, и уменьшение толщины гиподермы на 16,7% по сравнению с нормой, а в мышечной ткани развивается отек, причем ширина вновь образованной на месте погибших мышечных волокон межмышечной ткани увеличилась на 20%.

Количество придатков в истонченной гиподерме уменьшилось по сравнению с нормой на 57,2%, а по сравнению с их количеством при экспозиции 1 с - на 47,9%.

Содержание фибробластов в гиподерме через 3 суток после воздействия ВЭЛИ практически не снизилось по сравнению с нормой, а вот в межмышечной вновь образованной соединительной ткани количество фибробластов возросло на 27,3%, что является проявлением репаративных процессов в чувствительной ткани. В тканях вы-

явлен умеренный отек, полнокровные сосуды - расширены.

В гиподерме после 2 с воздействия ВЭЛИ количество сосудов уменьшено на 25,2% по сравнению с нормой, а в межмышечных вновь образованных прослойках соединительной ткани оно снижено на 41,4%.

На третьи сутки после лазерного облучения в течение 2 с в гиподерме появляются плазмоциты ( $2,0 \pm 0,7$  в поле зрения), а в рыхлой межмышечной соединительной ткани их количество составляет  $6,0 \pm 0,9$ , что на 33,7% больше, чем при экспозиции в 1 с. Это, по-видимому, является проявлением антигенной стимуляции в облученной области. В связи с появлением антигенов, производных альтерации тканей, и активацией В-системы иммунитета, в контрольных исследованиях и при облучении гиподермы в течение 1 с плазмоциты не выявлены. Наиболее высокий уровень плазмоцитов в межмышечной соединительной ткани является еще одним из проявлений альтерации и нарастания антигенной стимуляции при воздействии ВЭЛИ в течение 2 с.

После лазерного облучения с экспозицией в 2 с тучные клетки изредка регистрируются в гиподерме (в среднем  $0,7 \pm 0,03$ ). В межмышечной новообразованной соединительной ткани их больше ( $4,0 \pm 0,29$ ), частично с признаками дегрануляции, что может быть предвестником начинающейся фибротизации. Признаков формирования грануляционной ткани на третьи сутки после лазерного воздействия выявлено не было.

Аналогичные изменения претерпела инфильтрация тканей тучными клетками. В результате воздействия ВЭЛИ в течение 2 с их количество увеличилось по сравнению с контролем на 80%, а относительно опытной группы с экспозицией 1 с - на 48%.

В общем ремоделирование кожи и подлежащих мягких тканей при экспозиции в 2 с сходно с результатами облучения в течение 1 с, но с увеличением вдвое дозы энергии лазерного воздействия на третьи сутки отмечаются большее повреждение кожи с образованием язвенного дефекта, более выраженные альтерационные реакции в гиподерме и во вновь образованной соединительной ткани. Кроме того, реакция В-системы иммунитета при экспозиции 2 с выражена не только в межмышечной ткани, но и в гиподерме, как и появление тучных клеток.

Мощность ВЭЛИ 10 Вт, экспозиция 1 с, через 7 суток после воздействия. В более длительные сроки наблюдения после лазерного воздействия толщина дермы уменьшилась на 25% по сравнению с нормой, толщина гиподермы - на 33%, тогда как толщина вновь образованной межмышеч-

ной соединительной ткани осталась на уровне нормы за счет активной фибротизации погибших мышечных волокон.

Количество слоев эпидермиса уменьшилось на седьмые сутки после облучения на 26,7%. Количество придатков в дерме и гиподерме резко сократилось по сравнению с нормой - на 54,8% и 65,6%, соответственно. Редукция количества придатков кожи обусловлена, с одной стороны, непосредственным воздействием ВЭЛИ, а с другой - опосредованными дистрофическими и атрофическими изменениями в дерме, которые к седьмым суткам еще не завершились. Об этом свидетельствует увеличение количества фибробластов в дерме на 68,9%, а в гиподерме на 33,2% относительно нормы.

Некротических изменений дермы и подлежащих тканей при экспозиции в 1 с не выявлено, как и нарушения поверхностной целостности кожи, поэтому уменьшение количества слоев эпидермиса и придатков кожи можно объяснить нарушением трофики тканей, фибриллогенеза и редукцией сосудов.

В межмышечной соединительной ткани репаративные процессы на седьмые сутки после воздействия ВЭЛИ были еще не завершены и менее активны, чем в дерме и гиподерме; количество фибробластов возросло на 21,3%.

Динамика клеточных элементов в соединительной ткани при экспозиции ВЭЛИ в 1 с в общем соответствовала динамике сосудистого русла в разных раневых средах - дерме, гиподерме, мышечной ткани.

Мощность ВЭЛИ 10 Вт, экспозиция 2 с, через 7 суток после воздействия. Неделю спустя после лазерного воздействия в течение 2 с толщина мягких тканей значительно уменьшилось во всех слоях. Язвенный дефект не выявлен, поверхность кожи эпителизирована. Количество слоев эпителия сократилось на 36,0% по сравнению с нормой.

Толщина дермы уменьшилась в результате более длительного действия ВЭЛИ на 37,5%, гиподермы - на 66,7%, а рыхлой вновь образованной соединительной ткани - на 60% против уровня нормы. Это истончение всех 3 слоев произошло за счет сокращения соединительнотканых прослоек в связи с их созреванием. Во вновь образованной соединительной ткани, развившейся на месте тканей, подвергшихся дистрофическим и атрофическим изменениям, процессы фибротизации не завершены полностью.

Атрофические процессы коснулись на седьмые сутки после облучения всех составляющих кожи, подкожной жировой и мышечной ткани. Количество придатков в дерме и гиподерме уменьшилось на 69,6% и 65,0% относительно нормы, соответственно.

Количество фибробластов в дерме на седьмые сутки после лазерного воздействия уменьшилось на 43,5%, а в гиподерме - на 26,2%, тогда как на третьи сутки наблюдалось увеличение их количества. Это происходит в связи с созреванием фиброзной ткани на седьмые сутки, тогда как на третьи сутки созревания вновь образованная соединительная ткань находится на более ранних этапах развития.

Количество сосудов на седьмые сутки после лазерного воздействия, как и на третьи сутки раневого процесса, уменьшено по сравнению с показателями контроля для всей кожи и подлежащих мягких тканей, но степень редукции сосудов со временем постепенно уменьшается. Снижение составило в дерме - 47,8%, в гиподерме - 27,9%, в межмышечной соединительной ткани - 33,4%. Такая реакция сосудов на седьмые сутки после лазерного воздействия и уменьшение числа фибробластов связаны с созреванием соединительной ткани и ее фиброзированием.

В сосочковом и верхних отделах ретикулярного слоя дермы появляются лимфоциты в незначительном количестве (до 15 в поле зрения), что можно рассматривать как местную иммунную реакцию на деструкцию тканей.

Таким образом, ремоделирование кожи, подкожной жировой клетчатки и мышечной ткани через 7 суток после облучения не всегда имеет одну направленность при воздействии ВЭЛИ с одной мощностью (10 Вт), но разной экспозицией. Так, при экспозиции в 1 с толщина дермы и гиподермы уменьшается по сравнению с нормой, но толщина межмышечных соединительнотканых прослоек остается на уровне контроля. При экспозиции в 2 с толщина всех трех тканей значительно уменьшена. В обоих случаях уменьшаются показатели всех других изучаемых составляющих кожи, подкожной жировой клетчатки и мышечной ткани, кроме количества фибробластов, которые при экспозиции в 1 с, напротив, пролиферируют. Таким образом, при длительности воздействия ВЭЛИ в 2 с пролиферативная активность соединительной ткани подавляется, тогда как вдвое меньшая доза энергии (экспозиция в 1 с) стимулирует регенерацию соединительной ткани.

Мощность ВЭЛИ 10 Вт, экспозиция 1 с, через 28 суток после воздействия. В поздние сроки после лазерного облучения кожи толщина мышечной ткани уменьшилась на 80% по сравнению с нормой, чего мы не наблюдали при других условиях. Толщина дермы тоже сократилась на 62,5%, то есть дерма атрофировалась. Уменьшилось количество слоев эпидермиса, придатков кожи и фибробластов.

На 28-е сутки после лазерного воздействия количество фибробластов в дерме уменьшилось на 31,2%, в межмышечной соединительной ткани - на 28,9% против уровня контроля. В гиподерме количество фибробластов снизилось не столь значительно - на 9,3%. Это является свидетельством нестабильности репаративных процессов в тканях разной структуры и на разной стадии заживления.

Известно, что общебиологическими процессами репарации поврежденных тканей в организме является рубцевание и организация повреждений через новообразованную грануляционную ткань в дерме, которую мы не выявили во всех сроках наблюдения.

Подводя итоги исследования результатов лазерного воздействия на кожу и подлежащие мягкие ткани при длине волны 1,47 мкм и мощности 10 Вт, можно заключить, что минимальная разница в экспозиции (1 с или 2 с) приводит к различной степени нарушения структуры и функции биологических тканей, расположенных на разной глубине относительно поверхности кожи.

При экспозиции в 1 секунду происходят гемодинамические нарушения, отек, ацидоз и гипоксия, что приводит к дистрофическим, атрофическим и деструктивным процессам с исходом в фиброз. Деструктивные изменения на тканевом уровне в дерме и гиподерме выражены умеренно. Более весомые изменения происходят в мышечной ткани. Происходит выраженное образование соединительной ткани, что свидетельствует о высоком репаративном потенциале соединительной ткани в толще мышечной ткани по сравнению с дермой и гиподермой.

Увеличение экспозиции воздействия ВЭЛИ до 2 секунд при той же мощности приводит к повреждению всех видов тканей на клеточном и тканевом уровнях с появлением язвенного дефекта кожи, уменьшением объема всех видов мягких тканей, количества придатков и сосудов. Увеличение количества фибробластов в межмышечной соединительной ткани свидетельствует о более значительном ее повреждении и, вместе с тем, о выраженной способности к регенерации.

Кроме прямого термического эффекта, лазерное воздействие на кожу опосредовано вызывает гемодинамические и трофические нарушения в окружающих место облучения тканях. Особо чувствительной оказывается мышечная ткань, несмотря на большую глубину ее залегания под кожей по сравнению с дермой и гиподермой. Это необходимо учитывать при лазерных операциях на коже, особенно в косметологии и дерматологии.

Мощность ВЭЛИ 5 Вт, экспозиция 15 с, через 7 суток после воздействия. При более длитель-

ном лазерном воздействии с пониженной в 2 раза мощностью отмечены значительные повреждения мягких тканей, дермы и ее составляющих, с самой выраженной по сравнению с другими условиями альтерацией тканей. На коже такой режим облучения вызвал некроз в виде язвы, покрытой некротической корочкой. Язвенный дефект занимал всю толщу дермы и захватывал 1 мм гиподермы.

В гиподерме через 7 суток после воздействия развился отек, но в связи с частичным некрозом ее толщина уменьшилась по сравнению с контролем на 16,7%. Количество придатков в межмышечных соединительнотканых прослойках в гиподерме уменьшилось по сравнению с контролем на 78,7%. Вместе с тем, в гиподерме после облучения произошла активация фиброгенеза, так что ширина межмышечных соединительнотканых прослоек превысила норму в 2,8 раза. Количество сосудов в гиподерме к седьмым суткам после лазерного воздействия с пониженной мощностью, но большей экспозицией, увеличилось по сравнению с нормой на 41,8%, а в межмышечной вновь образованной соединительной ткани - уменьшилось на 13,8%.

На седьмые сутки после воздействия ВЭЛИ в воспалительном инфильтрате появляются признаки хронизации и реакция иммунной системы. Среди воспалительного инфильтрата лейкоцитов и плазмочитов сосуды в мышечной и соединительной ткани расширены и полнокровны. Во вновь образованной соединительной ткани плохо различима волокнистая структура. Волокна ткани набухшие, гомогенизированные, мышечные волокна фрагментированы, кое-где истончены, лишены поперечной исчерченности, а продольная исчерченность слабо выражена и не везде визуализируется. Ближе к гиподерме мышечные волокна разрушены вовсе. Количество фибробластов в гиподерме увеличилось на 113%, что соответствует феномену Бергонье-Трибондо. Данный феномен был открыт при лучевом воздействии ионизирующих излучений на ткани живого организма и заключается в следующем: более значимые изменения наступают при малой мощности источника излучения, но более длительной экспозиции, чем при большей мощности и краткосрочном воздействии. В нашем исследовании изменения в тканях значительно отличаются при воздействии ВЭЛИ с длиной волны 1,47 мкм, мощностью 10 Вт с малыми экспозициями 1 и 2 с, и воздействии с меньшей мощностью (5 Вт), но длительной экспозицией (15 с). Решающим является доза энергии излучения: при 5 Вт и 15 сек. кожа получает 75 Дж, а при 10 Вт и 1-2 с – всего 10-20 Дж.

Несмотря на значительные повреждения тканей, сохраняются регенераторные и репаративные процессы, количество сосудов в гиподерме увеличивается по сравнению с контролем. Это свидетельствует о том, что решающим моментом в повреждении является не мощность, а интегральная энергия.

#### Выводы

1. Воздействие инфракрасного ВЭЛИ с длиной волны 1,47 мкм при равной мощности, но при разной экспозиции (1 с и 2 с) оказывает различное повреждение кожи и подлежащих тканей, что выражается разной степенью дистрофических, некротических и репаративных процессов.

2. При мощности ВЭЛИ 10 Вт и экспозиции в 1 с повреждение мягких тканей в значительной степени происходит в связи с отеком дермы, связанным с гемодинамическими нарушениями, стазом, гипоксией и ацидозом, что вызвано в большей степени опосредованным и в меньшей степени - непосредственным воздействием ВЭЛИ на ткани.

3. При экспозиции ВЭЛИ в 1 с деструктивные изменения на тканевом уровне происходят прежде всего в дерме и гиподерме в виде уменьшения количества придатков кожи, фибробластов, соединительной ткани и сосудов во всех трех видах тканей. Также происходит стимуляция фибрилlogenеза в гиподерме и межмышечной соединительной ткани.

4. Увеличение времени экспозиции до 2 с при той же мощности - 10 Вт, приводит к усилению альтерации во всех тканях на клеточном и тканевом уровнях. На поверхности кожи появляется язвенный дефект, уменьшается количество придатков дермы и толщина всех трех изучаемых типов тканей. Во всех тканях происходит редукция сосудов и замедляются фибробластические реакции, по сравнению с нормой и меньшей экспозицией ВЭЛИ.

5. Выбор режима лазерного воздействия на кожу должен зависеть от цели его применения. Необходимо учитывать значительную чувствительность лежащих глубже мышечных тканей и их потенциала к регенерации. При этом лазерное воздействие исключает гнойные осложнения, что приводит к хорошему косметическому эффекту - без значительных реактивных осложнений и рубцов.

6. ВЭЛИ с длиной волны 1,47 мкм обладает гемостатическим эффектом за счет лимфостаза в просвете сосудов, без лейкодиapedеза. Оно снижает уровень медиаторов воспаления и тем самым уменьшает проницаемость сосудов и экссудативную фазу воспаления. Заживление ран после лазерного воздействия происходит без лейкоцитарной инфильтрации, что увеличивает абластичность процесса.

### Литература

1. Автандилов Г.Г. Основы патологоанатомической практики.- М.: Российская медицинская академия последипломного образования, 1998.- 505 с.
2. Агеева С.А. Современные лазерные скальпели как основа внедрения высокоэффективных и стационарозамещающих технологий в оториноларингологии / С.А.Агеева, В.П.Минаев // Национальный медицинский каталог.- М.: БДЦ-Пресс», 2003.- Вып.1(2).- С.62.
3. Байбеков И.М. Морфологические аспекты лазерных воздействий (на хронические язвы и печень) / Байбеков И.М., Назаров Ф.Г., Ильханов Ф.А. и др. // Цитология РАН. - 2007 - №3 - С. 204-209.
4. Гельфонд М.Л. Применение полупроводниковых лазеров в дерматологии и косметологии: Пособие для врачей / М.Л.Гельфонд, Г.Н.Соколов, Н.Е.Проценко, А.А.Иванов.- Санкт-Петербург: МЗ РФ, СПбГМУ им. акад. Павлова, 2004.- 47 с.
5. Герасимов И.Г. Оценка жизнеспособности клеток по их морфологическим параметрам на примере культивируемых фибробластов / Герасимов И.Г., Попандуло А.Г. // Цитология РАН.- 2007.- №3.- С.204-209.
6. Лапкин Г.Ф. Биометрия.- М.: Высшая школа, 1990.- 352 с.
7. Левитин Г.Д. Применение ИАГ лазера при операциях на паренхиматозных органах в экспериментах и в клинике / Г.Д.Левитин, А.Г.Кирпичев, В.В.Уткин // Применение лазеров в клинике и эксперименте.- М.: Медицина, 1987.- С.60-61.
8. Отченаш Н.Н. Лазерное излучение при лечении рака кожи // Вестник Харьковской медицинской академии последипломного образования.- 2007.- №2.- С.83-85.
9. Плетнев Г.Д. Лазеры в клинической медицине.- М: Медицина. 1981.- 389 с.
10. Плужников М.С. Внутритканевая лазерная деструкция при полипозе полости носа / М.С.Плужников, М.А.Шавгулидзе // Актуальные проблемы лазерной медицины.- Санкт-Петербург 2001.- С.106-112.
11. Audo Y. Bactericidal effect of erbium YAG laser on periodontopathic bacteria / Y.Audo., A.Foki, H.Watanabe, I.Ishikawa // Lasers Surg. Med.- 1996.- Vol.19.- P.435-444.
12. Geronemus R.G. Fractional photothermolysis: current and future applications. // Lasers Surg. Med.- 2006.- Vol.38.- P.169-176.
13. English R. Keloids and hypertrophic scars // Dermatologic Surgery.- 1999.- Vol.25.- P.631-638

*ДИНАМІКА РАНЬОВОГО ПРОЦЕСУ ПІСЛЯ ВПЛИВУ ВИСОКОЕНЕРГЕТИЧНОГО  
ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ З ДОВЖИНОЮ ХВИЛІ 1,47 МКМ*

*Свириденко Л.Ю.*

*Харківська медична академія післядипломної освіти  
вул. Корчагинців, 58, м.Харків, 61176 Україна  
Тел. +38 (057) 711-35-56; тел./факс: +38 (057) 711-80-25*

*Проведено порівняльний аналіз структурних змін в шкірі щурів та її придатках в результаті впливу високоенергетичного лазерного випромінювання з довжиною хвилі 1,47 мкм з різними часовими і енергетичними параметрами .*

**Ключові слова:** *високоенергетичне лазерне випромінювання, лазерне пошкодження тканин, гістологічне дослідження дерми та її придатків.*

*DYNAMICS OF WOUND AFTER EXPOSURE TO HIGH-ENERGY LASER RADIATION WITH A  
WAVELENGTH OF 1.47 MKM*

*Sviridenko L. Yu.*

*Kharkiv Medical Academy of Postgraduate Education  
Korchagintsev Street, 58, Kharkov, 61176 Ukraine  
Tel. +38 (057) 711-35-56; tel./fax: +38 (057) 711-80-25*

*A comparative analysis of structural changes in the skin of rats and its appendages as a result of exposure to high-energy laser radiation with wavelength of 1.47 microns in length with different time and power parameters.*

**Keywords:** *high-energy laser radiation, laser tissue damage, histological examination of the dermis and its appendages.*