

**Лазерные технологии
в коррекции эстетических
недостатков кожи**

Министерство здравоохранения Российской Федерации
Уральский государственный медицинский университет

Лазерные технологии в коррекции эстетических недостатков кожи

Учебное пособие

Под общей редакцией доктора медицинских наук,
профессора М. А. Уфимцевой

Электронное издание
сетевого распространения

Екатеринбург
УГМУ
2021

УДК 616.5-089(075)

ББК 54.548.9я78

Л17

Авторы: М. А. Уфимцева, Ю. М. Бочкарев, И. Ф. Вишневская, М. А. Захаров, К. Н. Сорокина, К. И. Николаева, Е. П. Гурковская, С. Б. Антонова, Н. В. Симонова, Н. В. Савченко, А. С. Шубина, Н. В. Савченко, Е. С. Мыльникова, М. С. Ефимова

Рецензент — доктор медицинских наук, профессор *С. А. Чернядьев*

Лазерные технологии в коррекции эстетических недостатков кожи : учеб. пособие / Л17 М. А. Уфимцева, Ю. М. Бочкарев, И. Ф. Вишневская [и др.] ; под ред. д-ра мед. наук, проф. М. А. Уфимцевой ; Урал. гос. мед. ун-т, М-во здравоохранения РФ. — Екатеринбург : УГМУ, 2021. — 102 с. — Загл. с титул. экрана. — ISBN 978-5-89895-989-0. — Текст. Изображение : электронные.

Учебное пособие составлено в соответствии с нормативными документами по оказанию медицинской помощи пациентам по профилю «Косметология», типовой программой дополнительного профессионального образования по специальности «косметология», дополнительной профессиональной образовательной программой цикла тематического усовершенствования в рамках непрерывного медицинского образования «Коррекция эстетических недостатков различных областей тела».

В учебном пособии представлены термины и определения, материалы по физическим основам и медицинским принципам работы лазерного косметологического оборудования, показания и противопоказания, основы безопасности пациента и врача при работе с лазером.

Пособие направлено на формирование у врачей-дерматовенерологов, врачей-косметологов профессиональных навыков по специальности «дерматовенерология», «косметология», а также для специалистов смежных направлений.

УДК 616.5-089(075)

ББК 54.548.9я78

Печатается по решению
Центрального методического совета
ФГБОУ ВО УГМУ Минздрава России
(протокол № 3 от 15 декабря 2021 г.)

ISBN 978-5-89895-989-0

© Уральский государственный
медицинский университет, 2021

Содержание

Термины и определения.....	5
Введение.....	6
Раздел 1 Физические основы применения лазерных технологий в косметологии.....	10
1.1 Физические свойства и характеристики лазерного излучения.....	10
1.2 Конструкция лазера. Основные типы лазеров в косметологии.....	17
1.3 Механизмы воздействия и биологические эффекты лазера.....	24
1.4 Виды медицинских лазеров. Медицинские принципы применения лазеров.....	34
1.5 Показания и противопоказания к применению лазерных процедур.....	36
Раздел 2 Лазерные технологии коррекции эстетических недостатков.....	38
2.1 Лазерная эпиляция.....	40
2.2 Лазерные технологии коррекции телеангиэктазий и гемангиом	54
2.3 Лазерная коррекция гиперпигментации.....	61
2.4 Лазерная коррекция татуировочной пигментации.....	62
2.5 Лазерное омоложение.....	68
2.6 Лазерные технологии коррекции рубцов.....	75
Раздел 3 Основы безопасности при работе с лазерным оборудованием.....	87
3.1 Классификация лазеров по классу опасности.....	87
3.2 Вредные и опасные факторы лазерного излучения и оборудования.....	90
3.3 Меры для защиты пациента и врача при использовании лазеров.....	91
Примеры тестовых заданий для контроля.....	93
Литература.....	98
Список сокращений.....	101

Термины и определения

Фотон – квант электромагнитного поля или излучения оптического диапазона, нейтральная элементарная частица с нулевой массой покоя. Фотон часто представляют и как одиночную волну.

Квант – минимальная порция энергии (E) электромагнитного поля излучения.

Электрон – стабильная элементарная частица с отрицательным электрическим зарядом.

Микроволны - область спектра электромагнитного излучения с длинами волн от одного метра до одного миллиметра, соответствующими частотам от 300 МГц и до 300 ГГц.

Волна – возмущение (изменение состояния среды или поля), распространяющееся в пространстве с конечной скоростью.

Электромагнитная волна – переменное электромагнитное поле, периодическое изменение напряженности электромагнитного поля.

Электромагнитное излучение (поле) – распространяющаяся электромагнитная волна.

Свет (оптическое излучение) – электромагнитное излучение в оптическом диапазоне длин волн от 0,1 до 30 мкм.

Металлы – вещества, проводящие электрический ток за счет наличия свободных электронов.

Введение

Лечение заболеваний с помощью света известно с давних времен. Древние жители Египта, Индии и Китая применяли целительные свойства световых волн и цветового диапазона. Согласно древним документам, китайские врачи использовали жёлтый цвет для лечения болезней желудка, а больным скарлатиной прописывалось ношение красного шарфа. В Древнем Египте существовал обряд питья солнечных лучей, исполняемый ежедневно (Рисунок 1).



Рисунок 1 – Древнегреческое изображение египтян, принимающих солнечные ванны

Одним из наиболее доступных естественных источников сохранения здоровья и молодости был и остаётся солнечный свет. Солнце во все времена превозносили как Бога, и люди не без основания полагали, что солнечные лучи обладают целительной силой. Дошедшее до нас первое упоминание об осознанном использовании солнечных лучей в профилактических и лечебных целях относится к временам правления в Египте фараона Аменхотепа IV (Эхнатона), который строил башни, посвящённые богу Солнца. В этих специальных башнях Эхнатон и его жена Нефертити вместе с детьми ежедневно принимали солнечные ванны. Много веков спустя Геродот, отмечая красоту и здоровье египтян, связывал это с традицией принимать солнечные ванны.

Врачи в Древнем Риме назначали солнцелечение по определенным показаниям, называя такое лечение гелиотерапией. В Древнем Риме в термах (банях) в специальных открытых помещениях можно было принимать солнечные ванны. Такие помещения назывались «солярий». Этот термин теперь означает использование естественного солнечного света или от ламп, прежде всего в косметологической практике.

В конце 19-го века датский физиотерапевт Нильс Рюберг Финсен предложил концентрировать солнечные лучи, исключая видимую и инфракрасную части спектра. Он также впервые использовал искусственные источники света, которые оказались эффективнее солнечного, т. к. позволяли управлять целебными свойствами лучей. За разработку нового метода лечения кожных заболеваний и создание нового направления в медицине — фототерапии, в 1903 г. ему была присуждена Нобелевская премия в области медицины.

Появившиеся в 60-х годах прошлого века лазеры оказались еще более совершенным инструментом в руках врача, т. к. позволили с более высокой точностью обеспечивать параметры воздействия — нужный спектр и плотность дозы. Лазер, так же как Солнце и лампы, излучает электромагнитные волны оптического диапазона (свет), но позволяет выбрать только нужные характеристики для проведения лечения. Эта избирательность и определила преимущества применения лазера в терапии различных заболеваний кожи и в косметологии. И речь идёт, в первую очередь, об эффективности лечения. Ученые тех времен полагали, что синий, желтый и красный свет активизируют силы физического, умственного и духовного существования человека. Существовало лечение с помощью света, проходящего через драгоценные камни и кристаллы.

В 1877 году английские ученые Даун и Блунт открыли терапевтические свойства ультрафиолетовых лучей, при помощи которых лечили кожные заболевания и рахит.

Изобретение лазеров стало одним из значимых научных достижений XX века, и преобразовалось в самостоятельное направление практической медицины.

Аббревиатура **LASER** - *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* с английского расшифровывается дословно как «усиление света посредством стимулированной эмиссии излучения». Эмиссия в переводе с латинского означает: *emissio* — выпуск, *emitto* — выпускаю.

Лазер называют оптическим квантовым генератором, т. е. устройством, которое преобразует световую, электрическую, тепловую, химическую и другие виды энергии в энергию когерентного, монохроматического, поляризованного и узконаправленного потока излучения.

До 50-х годов XX века существовали предпосылки создания лазера, такие как предположение Альбертом Эйнштейном существования явления вынужденного излучения — физической основы работы лазера. Явление вынужденного излучения получило теоретическое обоснование в работах других ученых. И в 1955 году ученые Николай Басов и Александр Прохоров разработали первый квантовый генератор - усилитель микроволн с помощью индуцированного излучения, активной средой которого является аммиак.

Изобретение данного лазера позволило ученым Чарльзу Таунсу и Артуру Шавлову два года спустя начать разработку принципов работы лазера. В том же направлении продолжал работать Александр Прохоров, который в 1958-м использовал для создания лазера резонатор Фабри-Перо, представляющий собой два параллельных зеркала, одно из которых полупрозрачно.

В мае 1960 г. американский физик Теодор Мейман, основываясь на работах Н. Басова, А. Прохорова и Ч.Таунса, сконструировал первый лазер на рубине с длиной волны в 0,69 мкм. Спустя полгода появился инфракрасный лазер на фториде кальция с добавкой ионов урана, разработанный и сконструированный учеными Питером Сорокиным и Миреком Стивенсоном. Это был уникальный прибор, который действовал лишь при температуре жидкого водорода и практического значения не приобрел (Рисунок 2).



Рисунок 2 – Ученые Н.Басов, А. Прохоров, Ч.Таунс на вручении Нобелевской премии, 1964 г.

Первые исследования по практическому применению лазеров в медицине относились к областям хирургии, где лазерные устройства использовались для разрезания, деструкции и коагуляции тканей. На сегодняшний день преимуществами хирургического лазера являются:

возможность прецизионных манипуляций, бесконтактность с раной, асептичность, короткие сроки реабилитации.

Физика лазеров продолжает развиваться. С момента изобретения лазера почти каждый год появлялись всё новые его виды. Лазерные технологии меняются в зависимости от потребностей различных областей медицины.

В 1961 г. был создан первый лазер на неодимовом стекле, в течение следующих пяти лет были разработаны диодные лазерные, лазеры на красителях, лазеры на диоксиде углерода, химические лазеры. Ученые Ж.Алфёров и Г.Кремер в 1963 г. разработали теорию полупроводниковых гетероструктур, на основе которых были созданы многие лазеры (Нобелевская премия по физике 2000 г.).

Направление лазерной медицины изучает терапевтическое действие *низкоэнергетического и высокоэнергетического* лазерного излучения на ткани. Достижения науки последних лет позволили научно обосновать не только симптоматическую, но и патогенетическую направленность применения лазеротерапии в лечение многих заболеваний кожи.

Высокоинтенсивные лазерные установки, применяющиеся в хирургии, стоматологии, косметологии, являются технически сложным и дорогостоящим оборудованием, имеют высокий класс опасности, что обуславливает необходимость углубленной теоретической и практической подготовки специалистов (Рисунок 3).



Рисунок 3 – Пример использования лазера в косметологии

Раздел 1 Физические основы применения лазерных технологий в косметологии

1.1 Физические свойства и характеристики лазерного излучения

LASER (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* - «усиление света посредством вынужденного излучения») — это техническое устройство, продуцирующее электромагнитное излучение в виде направленного сфокусированного пучка (Рисунок 4).



Рисунок 4 – Направленные и сфокусированные лучи лазерного излучения

Электромагнитные волны / электромагнитное излучение (ЭМИ) — распространяющееся в пространстве возмущение (изменение состояния) электромагнитного поля.

Свет представляет из себя электромагнитную волну, для распространения которой не требуется материального носителя, как, например, воздуха для звуковой волны. **Электромагнитная волна** может распространяться в любом веществе и в вакууме. В вакууме она распространяется даже быстрее. Электромагнитная волна переносит энергию. **Лазерное излучение** также является электромагнитной волной, т. е. светом, но обладает рядом **уникальных** свойств.

В настоящее время все электромагнитные волны разделены по длинам волн на **шесть основных диапазонов** (Рисунок 6).

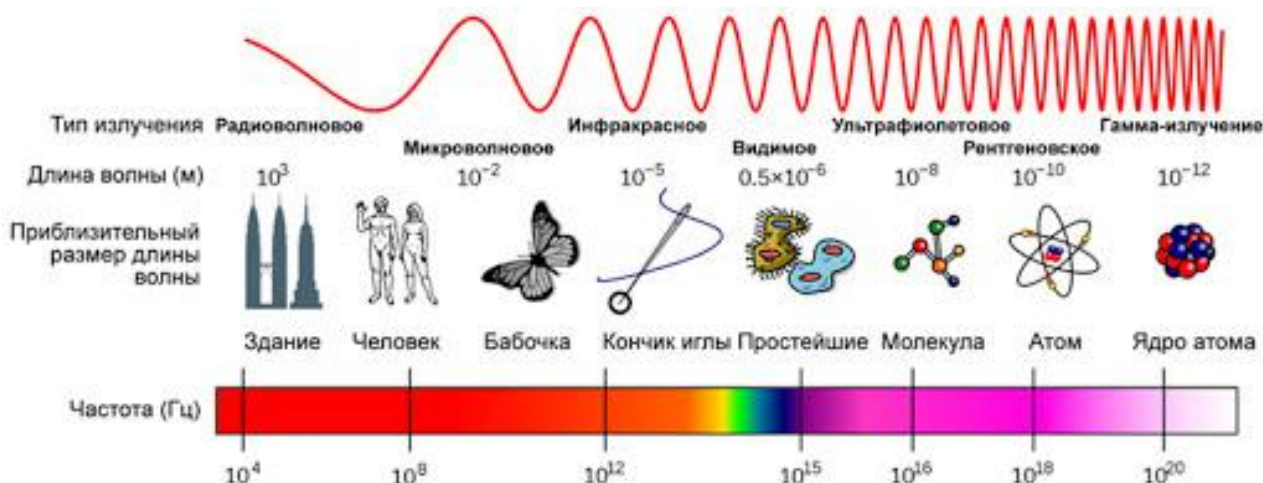


Рисунок 6 – Диапазоны электромагнитных волн

Неионизирующее излучение

Это вид электромагнитного излучения, которое не переносит достаточно энергии на квант (энергия фотона) для ионизации атомов или молекул, при этом не происходит отрыва электрона от атома, поэтому не создается угрозы для биологической ткани. Мощность излучения в данном случае не имеет значения, так как если для ионизации молекулы нужна определенная энергия, то этого не смогут сделать и миллион квантов с вдвое меньшей энергией.

Ближний ультрафиолет, видимый свет, инфракрасный, микроволновая печь, радиоволны и низкочастотные радиочастоты (длинноволновые) являются примерами неионизирующего излучения.

Радиоволны — это электромагнитные волны (с длиной волны от 10000 м до 0,005 м), служащие для передачи сигналов (информации) на расстояние без проводов.

Микроволны (300–1 мм) применяются в промышленности или в быту: спутниковая и сотовая связь, микроволновые печи.

Инфракрасное излучение - электромагнитное излучение с длиной волны, от 0,005 м до 1 мкм, т. е. лежащее между диапазоном радиоволн и диапазоном видимого света. *Инфракрасное излучение* испускают любые нагретые тела. Источником служат печи, батареи, электрические лампы накаливания. С помощью специальных приборов инфракрасное излучение можно преобразовать в видимый свет и получать изображения нагретых предметов в полной темноте.

Оптическое излучение или видимый свет - излучение с длиной волны в диапазоне от 770 нм до 380 нм, от красного до фиолетового цвета. Значение этого участка спектра электромагнитных излучений в жизни человека исключительно велико, так как почти все сведения об окружающем мире человек получает с помощью зрения.

Невидимое глазом электромагнитное излучение с длиной волны меньше, чем у фиолетового цвета, называют **ультрафиолетовым излучением** (380–10 нм), оно занимает спектральный диапазон между видимым и рентгеновским излучениями. Термин происходит от лат. *ultra* — «сверх», «за пределами» и от англ. *violet* – «фиолетовый».

Естественный источник – солнце. Искусственные источники – ультрафиолетовые лампы. Это излучение получило широкое распространение в медицине и в промышленности: ультрафиолетовые лампы, бактерицидные и кварцевые лампы.

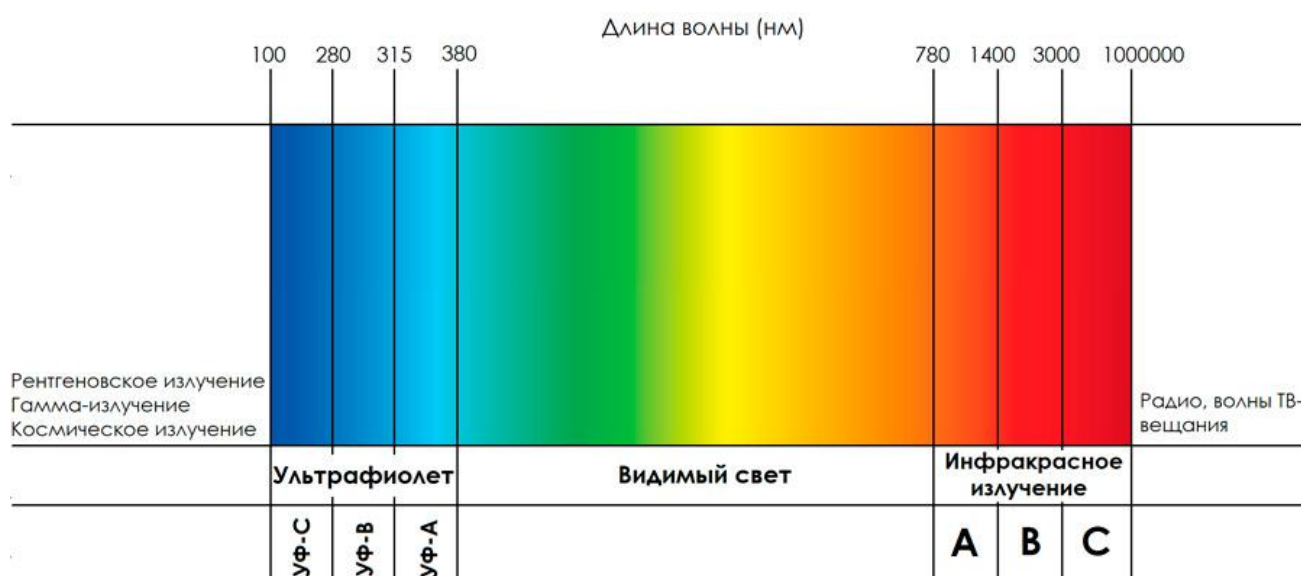


Рисунок 7 - Схематическое представление спектра электромагнитного излучения

Ионизирующее излучение

Электромагнитные излучения, длина волны которых менее 365 нм, обладают ионизирующими свойствами.

Сущность ионизирующего излучения заключается в том, что энергия кванта оказывается достаточной для того, чтобы оторвать электрон от атома. Ионизация биологической ткани может происходить при частотах, примерно в десять раз превышающих частоту видимого света (например, рентгеновское излучение, представляющее опасность для человека).

Биологическая ткань состоит из большого количества сложных молекул. Тем не менее каждая ионизированная молекула является дефектной, поскольку ее свойства отличаются от свойств обычной молекулы. При воздействии ионизирующего излучения количество дефектных молекул накапливается, что может привести к необратимым результатам. Даже слабое ионизирующее излучение может представлять опасность.

Рентгеновское излучение (0,1–1,01 нм) невидимо глазом. Оно проходит без существенного поглощения через значительные слои вещества, непрозрачного для видимого света, что используют для диагностики заболеваний внутренних органов. Оно воздействует на ткани живых организмов и может быть причиной лучевой болезни, лучевых ожогов и злокачественных опухолей. По причине этого при работе с рентгеновским излучением необходимо соблюдать меры защиты. Считается, что поражение прямо пропорционально поглощенной дозе излучения. Рентгеновское излучение является мутагенным фактором.

Гамма-излучением (менее 0,01 нм) называют электромагнитное излучение, испускаемое возбужденными ядрами и возникающее при взаимодействии элементарных частиц. Облучение гамма-квантами в зависимости от дозы и продолжительности может вызвать хроническую и острую лучевые болезни. Стохастические эффекты облучения включают различные виды онкологических заболеваний. В то же время гамма-облучение подавляет рост раковых и других быстро делящихся клеток. Гамма-излучение обладает мутагенным и тератогенным эффектом.

В физике принято считать светом соседние области: в диапазоне длинных волн - ближнюю ИК область спектра и в диапазоне коротких волн - УФ область спектра (Рисунок 8).

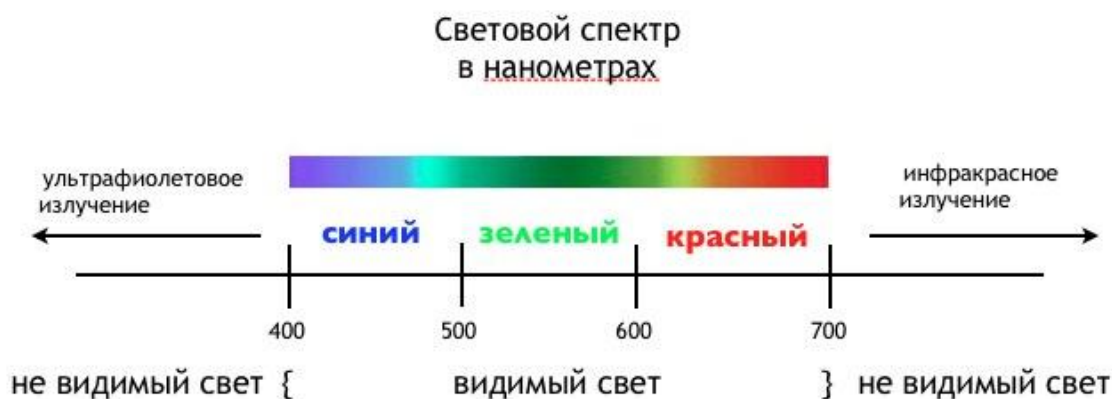


Рисунок 8 – Световой диапазон

После короткого пребывания в возбужденном состоянии E_1 электроны всегда стремятся назад в более стабильное состояние с низкой энергией – E_0 . Если в возбужденный атом попадает фотон с энергией E_{01} , то переход атома на уровень E_1 ускоряется. При этом первоначальный фотон сохраняется и при переходе атома в состояние E_0 высвобождается идентичный фотон. Электрон переходит на более низкую орбиту, а два одинаковых фотона покидают систему. Этот процесс называют вынужденным излучением. Оба фотона имеют одинаковую энергию, распространяются в одном направлении, имеют одинаковую пространственную и временную фазы. Процесс вынужденного испускания является основой лазерного усиления. Для реализации процесса лазерного усиления необходимо перевести электроны атомов активных элементов (лазерных сред) с более низкого на более высокий энергетический уровень. Число атомов на верхнем уровне должно быть всегда больше числа (заселенности) нижнего энергетического уровня. Это явление называют инверсией населенности. В лазерах для обеспечения максимального количества электронов на более высоком энергетическом уровне используются многоуровневые системы.

В активную среду подается энергия, которая обеспечивает переход электронов с E_0 на E_1 , E_2 и т. д., т. е. на более высокие энергетические уровни. E_1 — это метастабильный уровень. Электроны накапливаются на E_1 , при этом E_0 обедняется. Создается максимальное количество электронов на E_1 - **инверсия населенности** (от лат. *inversio* – перестановка).

Переход электронов из метастабильного состояния в основное происходит под воздействием света (электромагнитного излучения) определенной частоты. В результате возникает вынужденное излучение.

Таким образом, согласно квантовой теории, результатом взаимодействия возбужденного атома с фотоном является появление двух одинаковых фотонов (Рисунок 10).

$$h\nu = E_1 - E_0 - \text{рабочий лазерный переход}$$

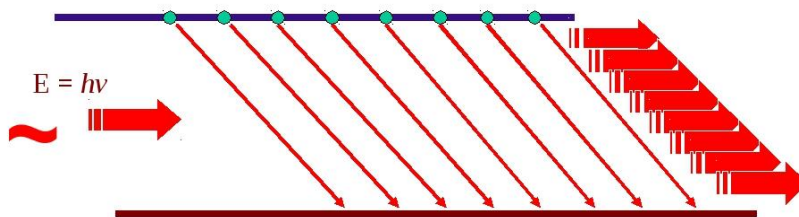


Рисунок 10 - Переход электронов из метастабильного состояния в основное под воздействием света (электромагнитного излучения) определенной частоты с образованием множества фотонов (вынужденное излучение)

Свойства лазерного излучения.

Лазерное излучение обладает **уникальными свойствами**, отличающими его от других видов электромагнитного излучения, используемых в медицине. Большая часть лазерных источников излучает в ультрафиолетовом и инфракрасном диапазонах электромагнитных волн.

Современные косметологические лазеры могут работать в диапазоне от 400 до 10600 нм.

Уникальные свойства лазерного излучения:

1. *Когерентность.*

Свет можно представить в виде синусоидальной волны. Свет, излучаемый лазером, отличается наличием временной и пространственной когерентности, т. е. волны совпадают по фазе во времени и пространстве (Рисунок 11).

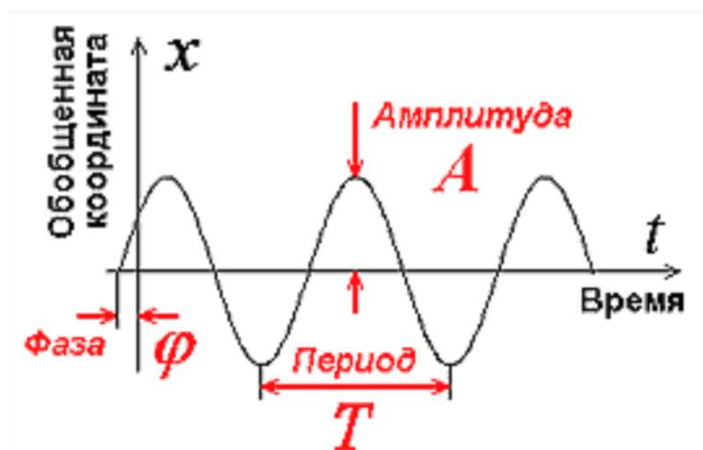


Рисунок 11 – Световая волна

Когерентные волны имеют одинаковую, совпадающую во времени длину волны и амплитуду. Именно когерентность делает возможным получение сверхкоротких импульсов (когда за сверхкороткое время, измеряемое в нано- и пикосекундах, выдается излучение определенной длины волны). В любой момент времени сохраняется одинаковое распределение волн в пространстве и лазерное излучение имеет высокую фокусировку и высокую направленность.

2. *Монохромность.* Это означает, что все световые волны имеют один цвет – излучение одинаковой длины волны.

3. *Коллимация* - прямое следствие когерентности, при этом волны в луче света сохраняют параллельность, не расходятся, и луч переносит энергию без потерь. Все лучи,

испускаемые лазером параллельны, и не рассеиваются с расстоянием. Диаметр луча не меняется по его ходу, если его не фокусировать линзами.

1.2. Конструкция лазера. Типы лазеров в косметологии

На рисунке 12 представлена конструкция лазера: **активная среда** (активное вещество), **источник света** (накачки) и оптический **резонатор**.

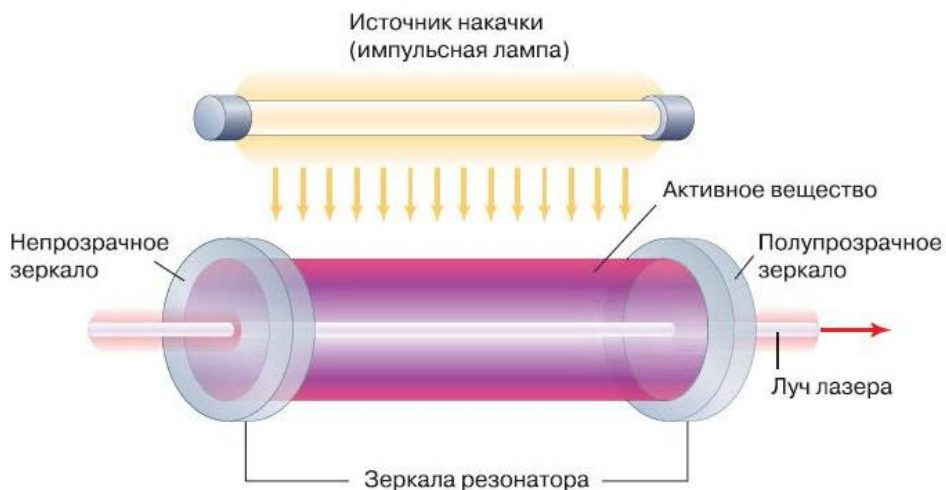


Рисунок 12 – Схематическое представление конструкции лазерного излучателя

Рассмотрим основные элементы конструкции лазера.

1. Активные среды (проводники) играют решающую роль в получении лазерного излучения и определяют длину испускаемой волны. В качестве активной лазерной среды могут использоваться любые материалы (жидкости, газы, кристаллы, полупроводники и др.), у которых можно обеспечить инверсию населенности. Вид применяемого для этой цели материала (его энергетическая структура, оптические, тепловые и другие свойства) оказывает принципиальное влияние на параметры лазера и определяет его конструкцию.

Активной средой могут быть:

□ **твердые вещества** (твердотельные лазеры) – кристаллы и сплавы (Рисунок 13):
- рубиновые кристаллы (окись алюминия Al_2O_3 — корунд), содержащего в качестве примеси ионы хрома Cr^{3+} (0,050%). Ионы хрома придают кристаллу характерную вишнево-розовую окраску и способствуют генерации излучения. Остальная часть кристалла является прозрачной проводящей средой. Рубиновые кристаллы обеспечивают высокую степень монохроматичности с длиной волны 694 нм.

- кристаллы иттрий-алюминиевого граната (YAG), легированного ионами неодима (Nd)(0,2-1,4%) – неодимовый лазер (Nd:YAG – лазер), обеспечивает излучение с длиной волны 1064 нм.
- alexandritовый кристалл (александрит) – разновидность минерала хризоберилла с незначительными примесями хрома и железа (александритовый лазер).
- кристаллы иттрий-алюминиевого граната (YAG), легированного ионами металла эрбия обеспечивает длину волны 2940 нм.
- фосфатное стекло с ионами эрбия 1540 нм, и другие.

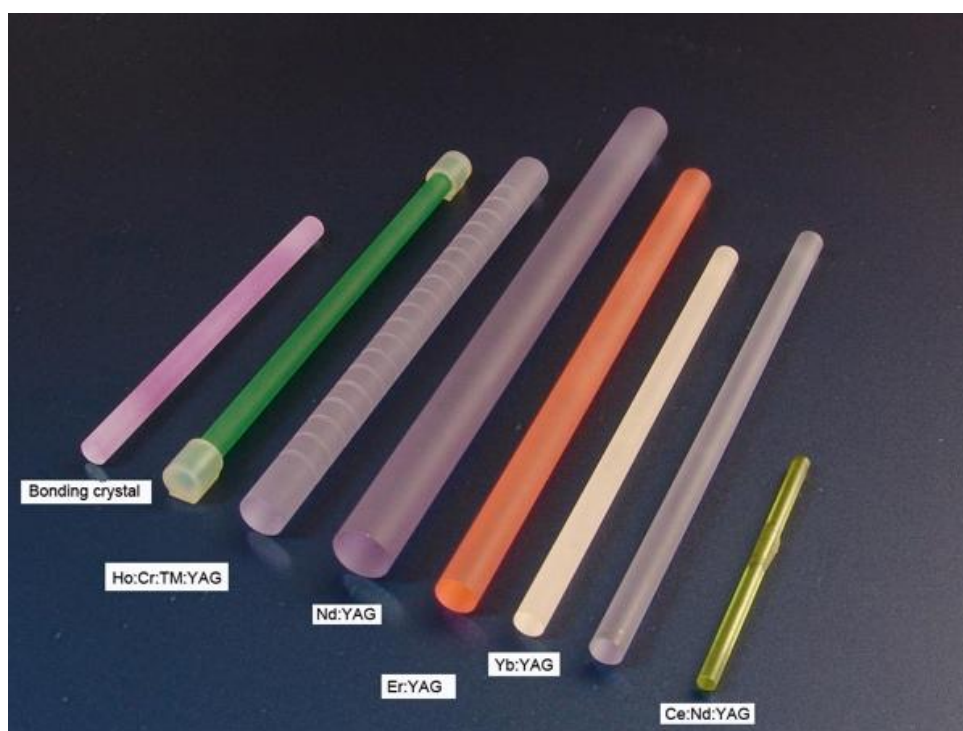


Рисунок 13 – Изображение твердотельных активных сред, использующихся для лазеров

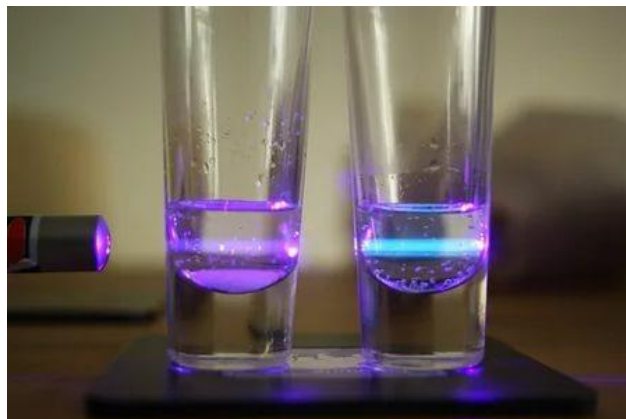
□ **газы** (газовые лазеры) – газовая активная среда обладает малыми оптическими искажениями и излучает с высоким качеством лазерного пучка (Рисунок 14):

- углекислый газ (CO₂) (углекислотный лазер)
- аргон (Ar), криптон (Kr) (лазер на ионах аргона и криптона)
- газовые смеси (гелий-неоновый лазер)
- пары металлов (медь, золото) (лазер на парах меди)
- эксимерный лазер



Рисунок 14 - Газовый лазер

- **жидкости** (жидкостные лазеры) - лазеры на органических красителях
- флюоресцирующая жидкая среда (родамин)



- **полупроводники** (диоды):

- арсенид-галлиевый полупроводниковый лазер
- арсенид-фосфид-галлиевый полупроводниковый лазер
- селенид-свинцовый полупроводниковый лазер

Полупроводниковые (диодные) лазеры состоят из двух слоев полупроводникового материала, сложенных вместе.

В создании полупроводникового лазера приоритет принадлежит советским ученым. Ученым Н. Г. Басовым и его сотрудниками в 1958 г. впервые было указано на возможность использования полупроводниковых материалов в качестве активных сред.

Формально, полупроводниковые лазеры являются твердотельными лазерами, однако их принято выделять в отдельную группу, т. к. они имеют иной принцип работы.

2. Источник возбуждения.

Активация среды достигается с помощью фотонов – квантов электромагнитного излучения, то есть **мощного светового потока**, в результате происходит возбуждение атомов активной среды и переход их в активное состояние. При поглощении фотона (частицы света) электроны атомов на орбите становятся нестабильными, при спонтанном возвращении к исходному состоянию происходит выход дополнительного светового кванта. В дальнейшем, каскад этих реакций с освобождением стимулированных фотонов с одинаковой энергией, длиной волны, фазой и направлением выливается в стимулированную эмиссию, то есть излучение.

Используют следующие методы возбуждения:

- ☐ «оптическая накачка» - возбуждение среды световым потоком.
- ☐ электрический разряд (применяется в газовых средах; в полупроводниковых лазерах возбуждение осуществляется электрическим током).
- ☐ посредством химических реакций (используется редко).

«Оптическая накачка» осуществляется с помощью интенсивных ламп-вспышек, непрерывно излучающих ламп высокого давления (лампы дугового разряда) и других лазеров. Для стимуляции лазерного перехода используется только часть энергии возбуждения, поэтому длина генерируемой лазерной волны всегда больше, чем длина волны возбуждения. Используют в твердотельных и жидкостных лазерах

Газовые разряды. В газовом разряде нейтральный газ частично распадается на ионы и электроны. Используют в газовых лазерах: возбуждение происходит непосредственно в лазерной среде.

3. Оптический резонатор.

Первоисточником генерации является процесс спонтанного излучения, поэтому для обеспечения преобладания поколений фотонов необходимо существование положительной обратной связи, за счёт которой излучённые фотоны вызывают последующие акты индуцированного излучения. Для этого активная среда лазера помещается в оптический

резонатор, который представляет из себя цилиндрическую трубку. Активная среда находится в резонаторе между 2 зеркал, одно непрозрачное и оно полностью отражает поток фотонов, а второе – частично их пропускает. После многократных отражений от зеркал поток фотонов, генерированных в активной среде, выходит из резонатора в виде лазерного луча. Резонатор обеспечивает усиление излучения и благодаря ему лазерный луч становится узконаправленным, усиление света внутри резонатора отличает лазерный луч от других источников излучения.

По режимам генерации излучения лазеры делятся на:

1. Непрерывные (continuous wave, CW). Лазеры генерируют непрерывный свет с постоянной средней мощностью луча, специальные устройства могут разделять этот свет на короткие сегменты (частотная модуляция) (Рисунок 15).
2. Импульсные (long pulse, LP). Импульсный свет генерируется в виде пучков волн, испускаемых с определенными интервалами. Длительность импульса может составлять мили и микросекунды (этот режим обычно называют длинноимпульсным), либо нано- и пикосекунды (короткоимпульсный и сверхкороткоимпульсный). Интервал между импульсами - от 1 нс до 300 мкс.



Рисунок 15 – Схематическое представление режимов генерации лазерного излучения

Примечание: Длительность импульсов - секунды (с), миллисекунды – 10^{-3} (мс), микросекунды – 10^{-6} (мкс), наносекунды – 10^{-9} (нс), пикосекунды – 10^{-12} (пс)

3. Квaziнепрерывные. Генерация импульсов происходит так часто, что его действие похоже на действие непрерывного лазера. Используется режим *модуляции добротности* (q-switched).

Модуляция добротности — способ получения коротких импульсов со сверхвысокой пиковой мощностью лазерного излучения. Существуют специальные методы модуляции добротности с использованием зеркал, электрооптических выключателей или поглощающих устройств.

Таким образом, имеются лазеры импульсного и непрерывного генерирования излучения и лазеры, работающие в Q-Switched режиме.

Основные параметры лазерного излучения, используемые в практике:

1. *Длина волны* – расстояние, на которое распространяется волна за один период колебаний, измеряется в мкм, нм.

2. *Энергия* (для импульсных лазеров) или *мощность* (для непрерывных лазеров).

Энергия лазерного импульса – это энергетическая характеристика отдельного импульса, измеряется в джоулях (Дж).

Мощность лазерного импульса (мощность одного импульса).

$W_{\text{имп}} = E/t = \text{Дж/с} = \text{Вт}$, где $W_{\text{имп}}$ - импульсная мощность (Вт), E - энергия (Дж), t - длительность одного импульса.

Энергия лазерного импульса и мощность тесно связаны, мощность лазера в 1 Ватт означает, что 1 Джоуль энергии излучается за 1 секунду (то есть мощность – это количество энергии, излучаемое за определенное время).

Чем больше мощность, тем большая энергия может испускаться за определенный промежуток времени. Высокомощные лазеры могут генерировать мощные импульсы за короткое время. Непрерывные лазеры излучают с низкой средней мощностью в диапазоне от 0,01 до 100 Вт.

Частота импульсов – частота, с которой повторяется импульс за период времени, измеряется в Герцах (Гц).

Медицинские лазеры обычно функционируют в режиме испускания периодических импульсов. Лазерные импульсы испускаются через определенные промежутки времени. Например, 10 импульсов в секунду.

Средняя импульсная мощность – энергетическая характеристика. зависит от частоты повторения импульсов

$W_{\text{ср}} = E \cdot f = \text{Дж} \cdot \text{Гц}$, где $W_{\text{ср}}$ - средняя мощность (Вт), E - энергия (Дж), f - частота (Гц).

Плотность энергии – количество энергии импульса (Дж) на единицу площади (см^2) (также называется плотность потока или флуенс).

Плотность мощности - количество энергии импульса (Дж) на единицу площади (см^2) за 1 сек. Плотность мощности является соотношением мощности лазерного излучения к поперечному сечению пучка и параметры имеют обратную зависимость, то есть если мощность лазера сконцентрировать в фокусе линзы (уменьшить диаметр пучка излучения), то в этом месте можно получить значительную плотность мощности (Рисунок 16).

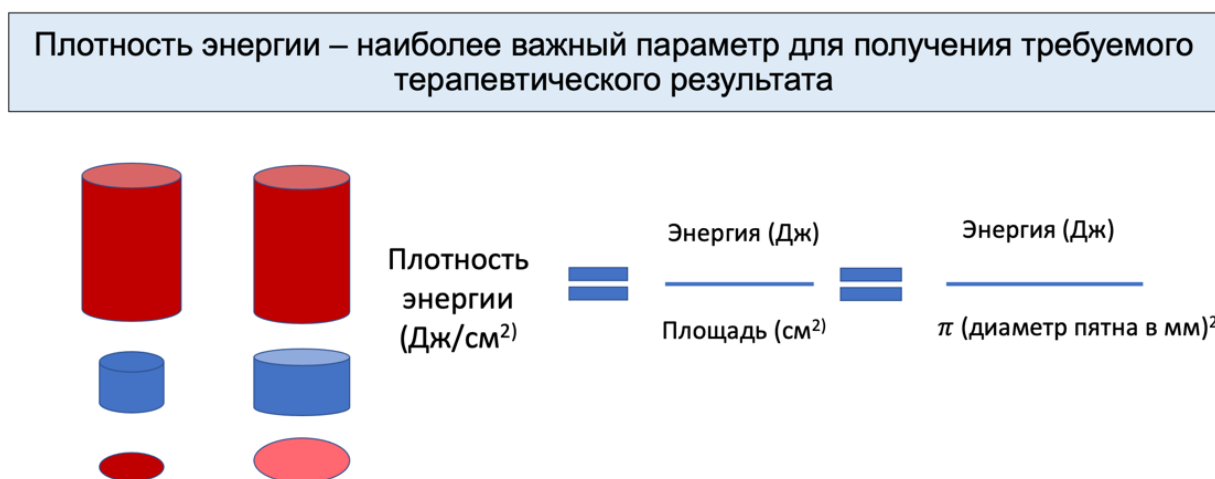


Рисунок 16 – Схематическое представление зависимости флуенса и диаметра лазерного луча

Поскольку размер пятна квадратично определяет площадь (площадь = πr^2), изменение размера пятна намного сильнее влияет на плотность энергии, чем изменение энергии (Таблица 1, 2).

Расходимость лазерного излучения - измеряют в миллирадианах (мРад). Для практического применения имеет значение **диаметр лазерного пятна**, который варьирует от 0,6 до 15 мм.

Таблица 1- Сравнительная характеристика параметров непрерывного и импульсного лазеров

Наименование параметра	Непрерывное излучение	Импульсное излучение
Е (энергия)	0,1 Дж	1 Дж
t (время импульса)	250 мкс	250 мкс
f (частота)	-	10 Гц
W _{ср} (средняя мощность)	40 Вт	10 Вт
W _{имп} (мощность импульса)		4 кВт

$$W_{\text{имп}} (\text{Вт}) = 1 \text{ Дж} / 250 \text{ мкс} = 4 \text{ кВт} = 4000 \text{ Вт}.$$

Таблица 2 - Сравнительная характеристика параметров импульсного лазера в зависимости от длительности импульса

Наименование параметра	Длинный импульс	Q-Switched режим
Е (энергия)	100 мДж	70 мДж
t (время импульса)	250 мкс	5 нс
W (мощность импульса)	400 Вт	$14 \cdot 10^{-6} \text{ Вт}$
Плотность мощности		d=6 мм: 46 МВт/см^2 d=3 мм: 184 МВт/см^2

Расчет плотности мощности лазерного излучения (энергии):

плотность мощности = W/S , где W - мощность, S — площадь пятна (см^2). При диаметре пятна 6 мм площадь пятна равна $0,3 \text{ см}^2$, при диаметре 3 мм - $0,15 \text{ см}^2$. При уменьшении диаметра пятна в 2 раза плотность мощности увеличивается в 4 раза.

1.3 Механизмы воздействия и биологические эффекты лазера

Биологические эффекты лазерного излучения обусловлены взаимодействием фотонов света и молекул ткани (вещества, биологической ткани). Характеристики излучения и свойства ткани определяют процесс взаимодействия и его результат.

В зависимости от энергетических характеристик лазерное излучение может быть **низкоинтенсивным** (НИЛИ) и **высокоинтенсивным** (ВИЛИ). От мощности лазера напрямую зависят его фотобиологические эффекты в тканях.

Низкоинтенсивное лазерное излучение с мощностью энергии не более 100 мВт/см^2 не вызывает видимых деструктивных изменений в тканях, оно способно активировать электронное возбуждение атома, что сопряжено с **фотохимическими реакциями**. НИЛИ применяют в терапии разных заболеваний, и в основном, используется излучение красного и

инфракрасного спектра, которое обладает большей проникающей способностью и достаточно физиологическим действием на ткани. Поглощаясь биологическими структурами это излучение вызывает фотохимическое действие, которое обуславливает лечебные эффекты данного вида лазера.

В основе биологического действия высокоэнергетических лазеров (мощностью энергии более 10 Вт/см^2) лежат процессы фотодеструкции в виде **фотодинамического**, **фототермического** или **фотоакустического** эффекта в тканях. В основе фототермического действия лежит процесс нагревания тканей лазером, который вызывает денатурацию. Нагрев может происходить вплоть до карбонизации (обугливания). Фотомеханический эффект наступает при значительном механическом напряжении тканей, когда за короткий промежуток времени поступает большой поток энергии (высокомощное излучение) и происходит распространение волны в ткани с разрушающим действием (разрыв эпидермиса, клеток, молекул) (Рисунок 17).

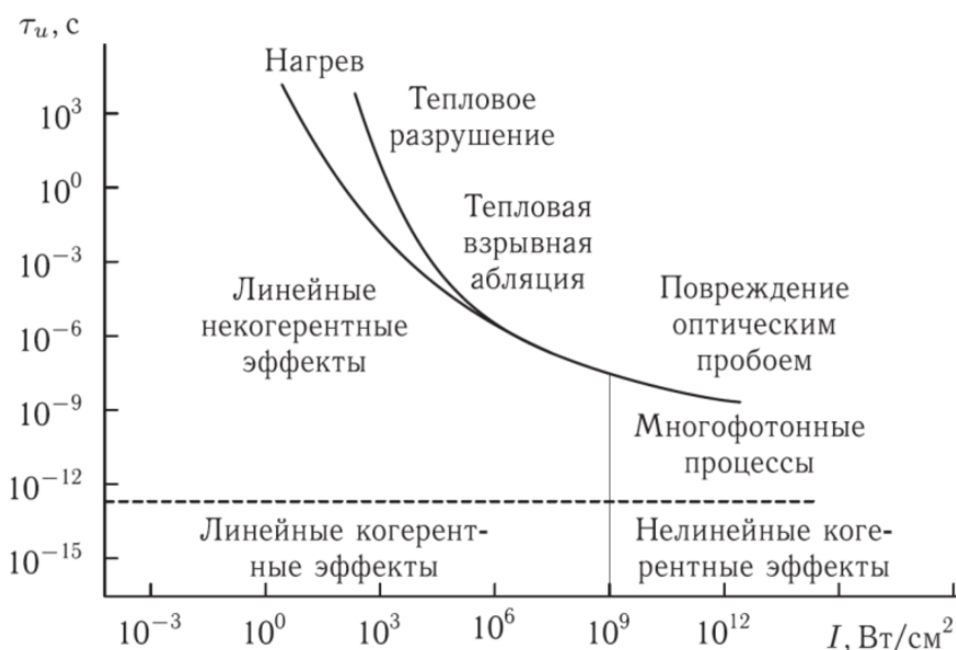
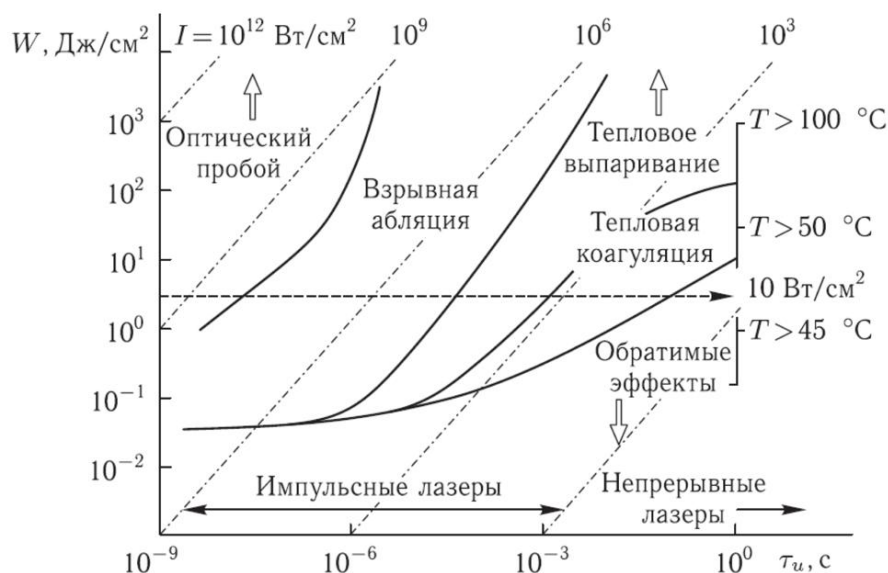


Рисунок 17 – Зависимость биологических эффектов от параметров лазерного излучения

Таким образом, под воздействием ЛИ в живой ткани происходят фотохимические, термические и нелинейные процессы (фотоакустический эффект) (Рисунок 18):

□ при низкой плотности мощности и продолжительном времени экспозиции - фотохимические процессы

- при высокой плотности мощности и коротком времени воздействия - термические процессы
- при плотности мощности более 10^{11} Вт/см² с ультракоротким временем облучения – деструктивные процессы (повреждение оптическим пробоем)



(пунктирная линия соответствует дозе облучения около 3 Дж/см²)

Рисунок 18 – Зависимость биологических эффектов от параметров лазерного излучения

Эффективность воздействия лазерного излучения зависит от основных свойств биологических тканей — это оптические свойства облучаемых тканей (спектр поглощения) и термические свойства (время термической релаксации, ВТР).

1. Оптические свойства тканей.

При попадании лазерного луча на ткань могут наблюдаться процессы: отражение, проникновение, поглощение, рассеивание.

Излучение проникает в роговой слой, в нем частично поглощается, частично рассеивается, частично проходит в эпидермис (если глубина проникновения излучения достаточна). В эпидермисе излучение также частично поглощается, частично рассеивается, частично проходит в дерму. В дерме излучение также частично поглощается, частично рассеивается.

Часть рассеянного излучения выходит над поверхностью кожи, образуя диффузное *отраженное излучение* (Рисунок 19).

Коэффициент отражения (КО) кожей электромагнитных волн достигает 43–55% и зависит от различных причин:

- ☐ охлаждение участка воздействия снижает значение коэффициента отражения на 10–15%;
- ☐ у женщин КО выше, чем у мужчин;
- ☐ у лиц старше 60 лет КО ниже по сравнению с молодыми: увеличение угла падения луча ведет к возрастанию КО в десятки раз;
- ☐ влияние на КО оказывает цвет кожных покровов: чем темнее, тем этот параметр ниже; на пигментированные участки он составляет 6–8%.

Скользкое падение света на поверхность кожи увеличивает коэффициент отражения до 90%.

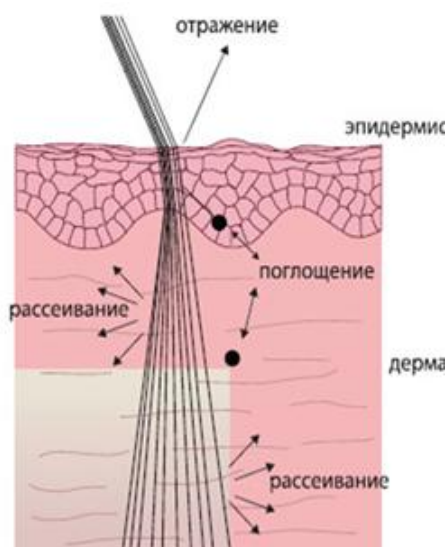


Рисунок 19 – Схематическое представление процессов взаимодействия лазерного луча при попадании на кожу

Рассеивание излучения в тканях организма происходит вследствие того, что структура биологической ткани имеет неомогенный характер, ячеистую структуру и определяется различными показателями преломления у разных ячеек. В коже рассеивание обусловлено главным образом волокнистыми структурами дермы.

- ☐ Важность явления рассеивания в том, что оно быстро уменьшает плотность потока энергии, доступной для поглощения хромофором, а, следовательно, и клиническое воздействие на ткани.

□ Снижается с увеличением длины волны, делая более длинные волны идеальным средством доставки энергии для поражения глубоких кожных структур, таких как волосяные фолликулы.

Остатки света проникают вглубь ткани. Глубина проникновения зависит главным образом от длины волны, более короткие волны (300–400 нм) рассеиваются и не проникают глубже 0,1 мм. Волны в диапазоне 600–1200 нм проникают глубже, поскольку рассеиваются меньше.

Рассеяние и проникновение ЛИ в биологических тканях зависит от длины волны лазерного излучения.

1) эксимерный лазер УФ диапазона (193, 248, 308 и 351 нм) и ИК излучение эрбиевого (2,9 мкм) и CO₂ - лазера (10,6 мкм) имеют глубину проникновения 1–20 мкм и минимальную степень рассеяния;

2) длина волны 450–590 нм (аргоновый лазер, лазер на парах меди) - глубина проникновения 0,5–2,5 мм. При этом поглощение и рассеяние имеют равностепенное значение. Лазерный луч в ткани остается коллимированным в центре, но он окружен зоной с высоким рассеянием. От 15 до 40 % падающего луча рассеивается.

3) длина волны 590–1500 нм (например, Nd:YAG лазер с длиной волны 1064 и 1320 нм) - глубина проникновения 2,0–8,0 мм, при этом доминирует рассеяние (Таблица 3).

Таблица 3 - Глубина проникновения лазерного излучения в зависимости от длины волны

Длина волны	Глубина проникновения	Поглощение и рассеяние
УФ (193, 248, 308, 351 нм) и ИК (2940, 10600 нм)	1–20 мкм	Рассеяние минимально
450–590 нм	0,5–2,5 мм	Рассеяние и поглощение имеют равностепенное значение. 15–40 % рассеивается.
590–1500 нм	2,0–8,0 мм	Преобладает рассеяние

Поглощение. Фотоны света, падающие на живую ткань, прежде чем произвести какое-либо действие должен поглотиться молекулами - хромофорами, входящими в состав этой

ткани. В УФ диапазоне поглощение зависит от содержания белка, в ИК - от содержания воды. Кроме того, гемопротейны, пигменты, другие макромолекулы (НК, ароматические системы) поглощают лазерное излучение с различной степенью интенсивности в зависимости от длины волны.

Излучение в диапазоне от 600 до 1200 нм глубже проникает в ткани с минимальными потерями на рассеяние и поглощение. В этом диапазоне можно достигнуть глубоко расположенные объекты.

Степень поглощения ЛИ различными хромофорами влияет на глубину проникновения. Поглощение также зависит от наличия эрозии, некротических масс, фибрина и стадии воспалительного процесса.

Мутагенность. В диапазоне длин волн до 450 нм (УФО-синий) световое воздействие не селективно, так как хорошо поглощается практически всеми биологическими молекулами. Такое излучение является опасным, будучи потенциально мутагенным, вызывает повреждение белков, нуклеиновых кислот и липидных мембран.

Зависимость интенсивности поглощения от частоты или длины волны определяется как спектр. Спектр поглощения определяется количеством света, способного поглощаться при разных длинах волн. Каждое вещество имеет свой спектр поглощения, то есть излучение разных длин волн поглощается одним и тем же веществом в различной степени. Так как в коже содержится комбинация различных структур, то практически любое излучение, попадающее на нее, в итоге будет поглощено. Важно - как глубоко излучение успеет проникнуть, и какие структуры кожи поглотят его с большей эффективностью. Действие лазера направлено на специфические хромофоры, которые являются биологическими структурами, обладающими строго определенным спектром поглощения. Это может быть относительно большая структура, например кровеносный сосуд, или специфическая органелла клетки, такая как меланосома. Примером является воздействие лазера на гемоглобин как на основной хромофор крови при лечении сосудистых новообразований кожи. Оксигемоглобин характеризуется пиками поглощения, приходящимися на волну в 488 и 517 нм и на волны в 550 и 585 нм.

2. Термические свойства тканей.

Действие лазера в хирургии основано на превращении электромагнитной энергии лазерного излучения в тепловую энергию. Это преобразование энергии излучения в тепло может произойти только в случае поглощения лазерного излучения специфическими

хромофорами. Термические свойства живой ткани определяются тремя процессами: теплопроводность, накопление тепла и отвод тепла сосудистой системой.

- 1) Теплопроводность - тепло переходит от более теплых к более холодным участкам ткани.
- 2) Накопление тепла. Способность ткани принимать и накапливать тепло - удельная теплоемкость. В практике для определения временной характеристики распространения локального нагревания используют понятие «время термической релаксации» (ВТР).

ВТР - это время, за которое облучаемая ткань успевает передать значительную часть тепла в окружающие области. Зависит от теплопроводности облучаемой и окружающих тканей.

Время термической релаксации различных структур разное: кожа 200-500 мкс, сосуды (капилляры) 100 мкс, меланин 1 мкс, волос 1-5 мс, гемоглобин 450 мс.

- 3) Отвод тепла кровотоком и другие механизмы. Тепловая энергия участка отводится за счет теплопроводности и через сосудистую систему. Кровь поступает в нагретый объем с нормальной артериальной температурой и сразу же нагревается до локальной температуры в капиллярной области. Кроме того, при непрерывном лазерном облучении тепло от облучаемого объекта отводится путем: метаболических процессов, испарения воды с поверхности и конвекции.

В биологических тканях под воздействием лазерного излучения происходит три основных вида процессов: фотохимические, тепловые и «нелинейные».

1. Фотохимические процессы. Преобладают при низкой плотности мощности и длительном времени облучения. Свет является катализатором биохимических реакций. Рудименты светочувствительной системы - митохондрии.

Виды фотохимических реакций: фотоиндуцированная изомеризация, фотоиндуцированная диссоциация, фотоиндуцированный синтез.

Методы, в которых используют фотохимические реакции — это биостимуляция и фотодинамическая терапия.

2. Тепловые воздействия. Преобладают при высокой плотности мощности и коротком времени облучения. Плотность $1-10^7$ Вт/см², длительность импульсов от миллисекунд до нескольких секунд. Относят испарение (резание) и коагуляцию тканей.

При поглощении в биотканях световая энергия лазерного излучения преобразуется в тепло. Коэффициент поглощения зависит от вида ткани и от длины волны лазерного излучения (спектра поглощения и ВТР тканей).

Виды тепловой реакции биоткани на лазерное воздействие зависит от: температуры, длительности температурного воздействия, кроме того, во время лазерного облучения

происходит изменение оптических, механических и термических свойств тканей. Так при обугливании повышается поглощение лазерного излучения и в результате быстро достигается нагрев тканей. При обезвоживании тканей снижается теплопроводность и накапливается тепло. При попадании лазерного излучения на биоткань, оно проникает вглубь ткани, при этом происходит ослабление мощности излучения, частичное поглощение и рассеивание излучения в ткани. Тепловые эффекты в тканях (Таблица 4):

- ☐ фотобиологические (нагрев до 40–45 С°) (обратимые изменения)
- ☐ коагуляция (60–80 С°)
- ☐ высушивание (80–100 С°)
- ☐ обугливание (более 150 С°)
- ☐ абляция (свыше 300 С°)

Таблица 4 – Тепловые эффекты в тканях

Температура, С°	Процессы в тканях	Механические изменения	Оптические изменения
37	Не имеет	Не имеется	Не имеется
40-45	Активизация ферментов, образование отеков, изменение мембран, возможная гибель клеток (в зависимости от температуры)	Не имеется	Не имеется
60-65	Денатурация протеина, начало коагуляции и некроза	Разрыхление	Серая окраска, увеличение рассеяния
80	Денатурация коллагена, дефекты мембран		
90-100	Обезвоживание (карбонизация, высушивание)	Сморщивание, выход жидкости	Постоянное рассеяние
Свыше 100	Высушивание, обугливание	Сильное механическое повреждение	Черная окраска, повышенное поглощение
Свыше 150	Обугливание	Сильное механическое повреждение	Черная окраска, повышенное поглощение
300	Абляция и газообразование (испарение)	Удаление ткани	Дымо- и газообразование

Размер зон биологических эффектов зависит от:

- ☐ свойств тканей (оптических и термических - спектр поглощения, ВТР), сухая или влажная поверхность;
- ☐ параметров лазерного луча (длина волны, мощность, импульсный или непрерывный режим работы, частота повторения импульсов);
- ☐ окружающей среды (кровь, воздух, вода).

Лазеры, действие которых основано на термическом эффекте: CO₂, Nd:YAG, аргоновый, лазер на красителе. Характер термического воздействия лазерного излучения определяется коэффициентом поглощения тканей на определенной длине волны и обратно пропорциональной ему глубиной проникновения.

1. CO₂ лазер. Рассечение (испарение) происходит в результате сильного поглощения излучения водой. Глубина проникновения 0,1 мм. Поверхностный тонкий слой поглощает свет, который преобразуется в тепло, температура быстро поднимается до 300 С° и происходит послойное испарение ткани. Скорость рассечения зависит от плотности мощности.

2. Nd:YAG - лазер. В отличие от CO₂ лазера, излучение проникает в ткань глубже из-за незначительного поглощения и сильного рассеивания и не испаряет ткань.

При средней мощности 30 Вт и коротком времени облучения – только коагуляция ткани. При увеличении времени облучения температура ткани повышается до 100 С° и происходит обезвоживание ткани. При дальнейшем облучении из-за высыхания ткани теплопроводность снижается, и температура ткани еще больше повышается. Если облучаемая поверхность сухая и начинает обугливаться, изменяется параметр поглощения ткани. В результате лазерный луч полностью поглощается в тонком слое ткани, ткань начинает быстро испаряться. При низкой мощности лазера даже при значительном времени облучения нельзя достичь испарения, т.к. энергия полностью отводится в окружающие ткани в результате теплопроводности. В этом случае ткань только коагулируется. Из-за большой глубины проникновения в ткань можно закрывать сосуды диаметром до 5 мм посредством коагуляции и сморщивания. Эффективное рассечение при плотности мощности 70 Вт и низкой скорости рассечения.

3. Аргоновый лазер. Один из первых лазеров, опробованных на подбор длины волны в соответствии с тканью, на которую оказывается воздействие. Глубина проникновения 0,5–2,5 мм. Свойства в промежутке между CO₂ и Nd:YAG лазерами. Длина волны (488 и 514 нм) соответствуют высокому пику поглощения для оксигемоглобина, однако меланин также обладает высокой поглотительной способностью в этом диапазоне. Использование энергии, необходимой для разрушения более глубокого объекта, может привести к образованию рубца

в верхних слоях. Это значительно уменьшило возможность применения аргонового лазера, и он был заменен избирательно действующими лазеры.

4. Криптоновый лазер испускает длины волн 520 нм (зеленый) и 568 нм (желтый), постоянного действия, термический лазер. Проблемой при использовании криптонового лазера является перегревание поверхности и рассеивание. Компании-производители рекомендуют охлаждать кожу перед и во время процедуры.

5. На красителях. Разная длина волны (488, 514 нм), варьирует глубина проникновения.

В связи с термическим эффектом действия лазера применяют 2 термина: фотоабляция и фотовываривание. Здесь учитывают тепловой эффект лазерного излучения на пограничную область. Нагрев пограничной области при этом зависит от: оптического излучения и теплопроводности ткани.

Оптическое излучение. Часть световой энергии попадает на окружающую неудаленную ткань. Поглощенная энергия приводит к нагреванию тканей. Зона коагуляции прямо пропорционально глубине проникновения лазерного излучения. При расчете эффективной глубины проникновения учитывают коэффициент поглощения и рассеивание в ткани.

Термическое воздействие. Термическая глубина проникновения зависит от теплопроводности ткани и от времени воздействия лазерного излучения (считают длительность импульса). При времени контакта 1 мкс глубина составляет 1 мкм, при 1с - 1 мм.

Есть критическое время, при котором оптическая и термическая глубина проникновения становятся одинаковыми. При времени облучения меньшем критического времени пограничная зона определяется только оптической глубиной проникновения и не зависит от длительности импульсов. При длительности времени облучения большем критического времени зона коагуляции увеличивается за счет теплопроводности.

При малой глубине проникновения при длинах волн 193, 248 нм и 2,9 мкм стоит уменьшить длительность импульса до 1 мкс, чтобы обеспечить минимальную пограничную зону в пределах несколько мкм. Дальнейшее уменьшение длительности импульса не приведет к ее сокращению.

При большой глубине проникновения при длинах волн 500–1500 нм могут применяться длительности импульсов секундного диапазона (соответствует непрерывному излучению). При импульсах наносекундного длительности эффективность глубины проникновения снижается из-за нелинейных эффектов, поэтому

тепловая зона равна 50 мкм. Но на тепловое повреждение накладывается широкое механическое повреждение.

3. Нелинейные процессы. Наблюдаются при небольшой длительности импульсов и высокой плотности мощности. При высокой плотности мощности (около 10^{11} Вт/см²) возникает «оптический пробой». Из-за высокой электрической напряженности поля лазерного излучения материя ионизируется, что приводит к образованию плазмы и к механическим ударным волнам. Для этого процесса не требуется поглощения тканями света и поэтому он может наблюдаться в прозрачных средах, например в воздухе.

1.4 Виды медицинских лазеров. Медицинские принципы применения лазеров

Наиболее значимым для практического применения свойством лазера является генерация монохроматического света. Важность применения одной длины волны обусловлена многочисленными структурами в биотканях, которые обладают способностью селективно поглощать различные длины волн с разной интенсивностью. Основоположниками такого избирательного поглощения света являются Андерсон и Перриш, которые в 1983 году предложили метод селективного фототермолиза - способность биотканей поглощать световое излучение определенной длины волны. Селективность (избирательность) метода определяется оптическими свойствами тканей - спектром поглощения структур-мишеней. Сегодня определены спектры поглощения практически всех биотканей человека: кожи, мышц, костей, слизистых, соединительной ткани и т.д., которые складываются из спектров поглощения различных хромофоров в этих тканях (Таблица 5).

Таблица 5 - Поглощение излучения различными хромофорами

Органические молекулы, протеины	УФ диапазон 100–300 нм
Оксигенированный гемоглобин	УФ область, зеленая и желтая части видимого спектра до длины волны 600 нм
Меланин	Во всей видимой части спектра до УФ области
Вода	Инфракрасный спектр

Основными хромофорами кожи являются вода, гемоглобин и меланин, что определяет специфичность воздействия лазерного излучения при различных патологических процессах и

косметических дефектах. Так, при наличии пигментных пятен основным хромофором является меланин, при телеангиэктазиях и гемангиомах воздействие оказывается на гемоглобин и оксигемоглобин, в татуировках мишенью становится экзогенный краситель. Доказано, что чем выше поглощающая способность и концентрация хромофоров, тем интенсивнее результат воздействия. Такая закономерность связана с тем фактом, что целевые структуры-мишени поглощают свет не строго в определенной точке спектра, а на всем его протяжении с различной интенсивностью.

Так, меланин поглощает во всем оптическом диапазоне с максимумом в ультрафиолетовой части спектра, гемоглобин активно поглощает свет в диапазоне 500–600 нм, вода в коже - преимущественно в ближнем инфракрасном диапазоне. Следовательно, излучение практически любой длины волны, попавшее на кожу будет поглощено с той или иной степенью интенсивности. Результатом такого селективного взаимодействия хромофоров с лазерным излучением является образование тепла, которое вызывает их нагрев и коагуляцию.

Как правило, если лазер работает по принципу селективного фототермолиза, то воздействие является избирательным и разрушение происходит только прицельно выбранной структуры.

При применении источников широкополосного импульсного света (IPL-систем) реализация принципа селективного фототермолиза невозможна, в связи с генерацией широкого спектра длин волн от 500 до 1200 нм. В большинстве таких фотосистем для повышения их селективности применяют светофильтры, отсекающие часть волн. Например, для коагуляции телеангиэктазий применяют фильтр с границей отсечения 515 нм. Однако общий диапазон длин волн все равно остается большим и составляет 515–1200 нм, что не позволяет работать системе селективно. В результате такого светового воздействия происходит поглощение излучения не только гемоглобином кровеносных сосудов, но и дополнительно меланином, и водой в коже, что существенно повышает тепловое влияние на окружающие ткани. Это обуславливает снижение эффективности воздействия, для увеличения которой прибегают к повышению параметров излучения. Клинический опыт показывает, что такие приемы лишь незначительно улучшают результат терапии, а риск побочных эффектов и осложнений резко возрастает. Они связаны с тепловым повреждением кожи с развитием длительно существующей эритемы, отека, а в последующем и поствоспалительной гиперпигментации. В тяжелых случаях возможно развитие пузырей и формирование рубца.

Подобные нежелательные эффекты могут развиваться и при применении лазерных технологий, однако правильно определенные показания и противопоказания, выбранные параметры и режим воздействия позволяют избежать осложнений.

В связи с приведенными данными основной сферой применения IPL-систем является неаблятивное омоложение кожи или фотоомоложение.

В настоящее время представлено многообразие медицинских лазеров, каждый из которых имеет индивидуальные технические характеристики.

Единой классификации лазеров не существует. Принято подразделять медицинские лазеры на высокоэнергетические или хирургические, которые используются в косметологии и пластической хирургии и низкоэнергетические или терапевтические, применяемые для физиотерапии.

В зависимости от функциональных возможностей лазеры применяют:

1. Для эпиляции (рубиновый, александритовый, неодимовый лазер).
2. Для лечения сосудистых образований (лазер на парах меди, неодимовый лазер, неодимовый с удвоением частоты, лазер на красителях)
3. Для лечения пигментных образований (лазер на красителях, лазер на парах меди, неодимовый лазер с удвоением частоты модуляцией добротности, рубиновый, александритовый)
4. Для удаления татуировок (рубиновый лазер с модуляцией добротности, александритовый лазер с модуляцией добротности, неодимовый лазер с модуляцией добротности, неодимовый с удвоением частоты и модуляцией добротности).
5. Для удаления новообразований кожи (неодимовый длинноимпульсный лазер, СО₂- лазер, эрбиевый лазер, лазер на парах меди).
6. Лазеры для омоложения (основанные на принципе фракционного фототермолиза, лазеры для шлифовки кожи СО₂-лазер и эрбиевый лазер).

1.5 Показания и противопоказания к проведению лазерных процедур

В настоящее время основными показаниям к лазерным процедурам являются:

1. Избыточный / нежелательный рост волос для проведения процедуры лазерной эпиляции.

Важно подчеркнуть, что неоспоримым преимуществом последних поколений лазеров для эпиляции является возможность ее проведения у людей при любом фототипе коже, вплоть до 4 - 6 по Фицпатрику, т.е. даже у лиц негроидной расы, и при любом цвете волос.

2. Телеангиэктазии лица и нижних конечностей (диаметром до 2,5 мм), а также гемангиом. Метод лазерной коагуляции сосудов.

3. Интрадермальный пигмент - татуировка. Внедрение принципа селективного фототермолиза в лазерных аппаратах позволяет удалять татуировки любого цвета без повреждения целостности окружающей кожи и образования рубцов

4. Рубцы, стрии. Проводится с помощью абляционной лазерной шлифовки и методом фракционного фототермолиза.

5. Доброкачественные пигментные новообразования (гиперпигментации). Применяют селективные лазеры и метод фракционного фототермолиза.

6. Старение кожи. Используют фракционное лазерное омоложение и плоскостную шлифовку кожи

Лазерные технологии являются методами лечения, поэтому необходимо помнить о **наличии противопоказаний**, как абсолютных, так и относительных, которые следует учитывать при назначении лазерных процедур.

1. Абсолютными противопоказаниями являются:

- инфекционные болезни
- соматические заболевания в стадии декомпенсации (сахарный диабет, варикозная болезнь, гипертоническая болезнь, ишемическая болезнь сердца, бронхиальная астма, ревматоидный артрит, системная красная волчанка, системная склеродермия)

-склонность к келоидным рубцам

-злокачественные новообразования

-наличие кардиостимулятора

2. Относительные:

-беременность, лактация

-психические заболевания

-фотодерматоз

-алкоголизм

-прием медицинских препаратов (фотосенсибилизаторов).

Важно отметить отсутствие данных о безопасности некоторых лазерных технологий у беременных женщин, по этическим соображениям такие исследования не проводятся.

Раздел 2 Лазерные технологии в коррекции эстетических недостатков

Для достижения оптимального результата при решении конкретных эстетических задач подбор лазерной системы должен осуществляться с учетом параметров целевой мишени воздействия (определить структуру для воздействия, где она находится, ее размер, концентрация хромофора), преобладающего хромофора, конкурирующих хромофоров (например, с меланином кожи может конкурировать меланин волос, гемоглобин) и степени соотношения целевых и конкурирующих хромофоров.

Длина волны лазера определяет вид поглощения в тканях, цветозависимый или цветонезависимый, инфракрасный спектр с длиной волны более 1200 нм поглощается преимущественно молекулами воды (пик поглощения водой – 2940 нм), входящими в состав биологических жидкостей. Данный вид лазера является цветонезависимым, (это эрбиевый YAG лазер, CO₂ лазер) он наиболее эффективен для тканей с оптической однородностью и содержащей большое количество воды. Цветозависимые лазеры: неодимовый YAG, александритовый, взаимодействуют с гемоглобином, меланином и другими пигментами. Наибольшее поглощение квантов света меланином происходит в диапазоне 300–450 нм, но при этом максимум поглощения гемоглобином и дезоксигемоглобином находится на 430 и 415 нм, следовательно эти хромофоры конкурируют между собой, и данная длина волны не может быть специфичной для меланина. При длине волны 450–500 и 600–1000 нм целевым хромофором будет меланин. Наличие такого «меланинового окна» (определенная длина волны поглощается практически полностью только меланином) обеспечивает селективность лазера и значительно увеличивает его целевое воздействие (Рисунок 20).

Основные фотобиологические эффекты ЛИ, применимые в практике использования ВИЛИ — это фототермический и фотодинамический эффект. В основе фототермического действия ЛИ лежит процесс нагревания, который вызывает денатурацию. Сначала в тканях происходит коагуляция, затем при достижении определенного порога мощности ЛИ наступает фаза вапоризации, в дальнейшем может произойти карбонизация тканей (обугливание), что является, безусловно, нежелательным эффектом, и приводит к обширным термическим повреждениям окружающих тканей с последствиями в виде рубцов, депигментаций, деформаций.

Фототермический эффект=
преобразование электромагнитной энергии лазерного
луча в тепловую.

Это нагревание тканей!

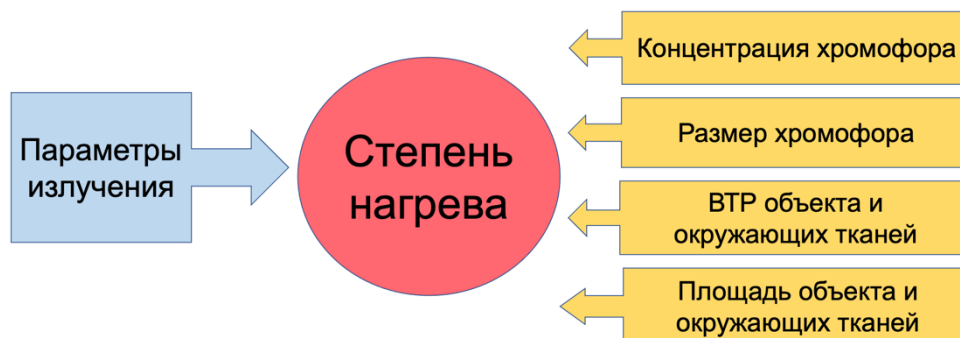


Рисунок 20 – Параметры, влияющие на степень нагрева мишени

В тканях избирательное фототермическое или фотомеханическое действие объясняется теорией селективного фототермолиза, согласно которой для целевого повреждения или разрушения мишени хромофора необходимо чтобы коэффициент поглощения мишени и окружающих тканей максимально различался, то есть чтобы целевой хромофор поглощал импульс, а окружающие ткани - нет, и чтобы продолжительность этого импульса была меньше или равна времени термической релаксации (ВТР). Время термической релаксации ткани имеет ключевое значение и показывает промежуток времени, необходимый для того, чтобы отдать 63 % избыточной температуры в ткани. Это параметр применим к конкретным объектам с конкретными размерами (меланосомы, волосяные фолликулы, диаметр кровеносного сосуда и др.), ВТР прямо пропорционально квадрату диаметра мишени. Чем больше объект, тем больше времени нужно ему для рассеивания тепла в окружающие ткани и тем более он нагревается. Избыточное тепло поглощается окружающими тканями, площадь которых превосходит площадь мишени и как правило распределяется равномерно, не повреждая их.

Консультация и отбор пациентов перед процедурой лазерного воздействия

1. Предварительная консультация пациента. Постановка диагноза. Выявление показаний и противопоказаний для проведения лазерных процедур. Краткая информация о предполагаемой процедуре. Возможные побочные эффекты и осложнения. Рекомендации по подготовке процедуре и особенности реабилитационного периода.

2. Проведение предварительного тест-сеанса с обработкой отдельных участков косметического дефекта выбранным лазером с целью подбора оптимального режима воздействия. Рекомендуется зафиксировать параметры лазерного излучения в индивидуальной карте пациента отобразить схематично зоны воздействия. Проведение фото-, а при наличии технической возможности, видеосъемки пробной процедуры.
3. Повторная консультация через 1–2 недели для оценки эффективности, переносимости процедуры, коррекция протокола воздействия, проведение обработки всего косметического дефекта. Рекомендуется проводить фотосъемку перед каждой процедурой для оценки результатов лечения.

2.1 Лазерная эпиляция

Лазеры с целью удаления волос применяются с 1996 года, с тех пор популярность процедуры лазерной эпиляции растет.

Ожидания и эффекты процедуры:

1. Перманентное или долговременное удаление нежелательных волос
2. Процедура должна быть быстрой, очень комфортной и безболезненной, и с минимальными постпроцедурными явлениями, которые не требуют сложного ухода.
3. Процедура не должна нарушать образ жизни пациента и ограничивать его повседневные привычки.
4. Для специалиста также процедура должна быть комфортной и простой по выполнению, эффективной и быстрой, с возможностью выполнения на любом фототипе кожи и с минимальным риском осложнений.

Строение волоса

Корень (луковица) волоса — часть волоса, находящаяся под поверхностью кожи. В корне содержатся живые клетки, которые интенсивно делятся, обеспечивая рост волоса.

Стержень (ствол) волоса — видимая часть волоса, расположенная над поверхностью кожи. В стержне волоса живых клеток нет, он состоит из отмерших клеток, заполненных твердым белком — кератином.

Корневое влагалище — ткани, окружающие корень волоса, участвующие в образовании и росте волоса.

Волосистой фолликул — корень волос вместе с корневым влагалищем.

Волосистой сосочек — образование, расположенное в нижней части корня волоса, состоящее из соединительной ткани и кровеносных сосудов, обеспечивающих питание, необходимое для роста волоса.

Зона роста в виде стволовых (матричных) клеток, часть из которых остается при атрофии сосочка (переходе в фазу катагена). Оставшаяся часть материнских клеток является источником нового волосистой фолликула в фазе раннего анагена.

Глубина залегания фолликула в коже — 2,5-4,8-5,2 мм.

Стадии роста волоса

Волосистой фолликул находится в непрерывном циклическом развитии, фазы анагена, катагена, телогена постоянно сменяют друг друга.

Анаген — период роста волос. В этой стадии клетки волосистой фолликула интенсивно делятся, волос растет, стержень волоса удлиняется. Продолжительность фазы анагена различная в зависимости от локализации. Таким образом, в стадии анагена находятся те волосы, которые растут после депиляции.

В фазе анагена одновременно находятся:

- Борода (мужчины) - 70% волос
- Верхняя губа — 65% волос
- Подмышки — 45–30%
- Линии бикини — 30%
- Ноги — 20%

В первые процедуры воздействуем на этот процент волос в зависимости от локализации. Поэтому интервал можно делать небольшим.

Катаген — период обратного развития корня волоса. В этой стадии рост волоса останавливается, прекращается деление клеток волосистой луковицы, начинается атрофия волосистой сосочка, происходит укорочение волосистой фолликула, его сморщивание, он перемещается ближе к поверхности кожи. Длительность фазы катагена различная в зависимости от локализации. В стадии катагена находится 1–2% волос.

Телоген — период покоя волосистой фолликула. Во время телогена волос может безболезненно выпасть при легком физическом воздействии. Длительность фазы телогена различная в зависимости от локализации. В стадии телогена одновременно находится 10–40% волос.

Естественное выпадение волоса происходит в конце периода телогена, начале анагена, когда в фолликуле начинается рост нового волоса, выталкивающего старый.

Волосыные фолликулы наиболее уязвимы для различных методов эпиляции только в стадии анагена. В этой стадии луковица соединена с дермальным сосочком, питающим волос, а также есть возможность разрушить зону роста. Воздействие на волосыные фолликулы в другие фазы их развития неэффективно, к их гибели не приводит, поэтому достичь эффекта эпиляции (необратимого прекращения роста волоса на участке кожи) за одну процедуру невозможно никаким методом.

Основные причины избыточного роста волос:

- Гипертрихоз — избыточный рост волос, который не зависит от уровня андрогенов. Он может развиваться на фоне приема определенных препаратов (фенитоин, циклоспорин, кортизон и т. п.). Наблюдается при ряде заболеваний: поздняя порфирия кожи, нарушение функции щитовидной железы, при голодании и нервной анорексии.
- Гирсутизм — рост терминальных волос у женщин в андрогензависимых зонах, таких как верхняя губа, подбородок, грудная клетка. Являясь чаще всего результатом избытка андрогенов, гирсутизм может сопровождаться появлением акне, андрогенной алопецией (облысением). Наиболее частые причины: поликистоз яичников, который возникает у 1–4% женщин репродуктивного возраста.

Цвет волоса

Эффект лазерной эпиляции сталкивается с конфликтом между поглощением света в меланине, находящимся в матриксе волос, и меланине вокруг границ эпидермис/дерма, концентрация которого меняется в зависимости от типа кожи.

Фототипы кожи

Самой оптимальной и распространенной является классификация по методу Томаса Б. Фицпатрика из Гарвардской медицинской школы, который разработал данную классификацию в 1975 г. Данный метод основан на реакции меланоцитов человека на воздействии ультрафиолетовых лучей (Рисунок 21).

- Кельтский — Кожа молочного цвета, нежная, прозрачная, часто с веснушками. Глаза зеленые или голубые. Кожа довольно фоточувствительная, но образование пигмента на ней незначительное. Такая кожа очень часто обгорает.
- Нордический — Кожа светлая, немного темнее, чем в первом типе, веснушек нет совсем или очень мало. Волосы светлые, светло-русые или каштановые (разные коричневые оттенки). Глаза голубые, серые или зеленоватые. Кожа довольно чувствительна к ультрафиолетовым лучам, поэтому загар ложится плохо, но шансы добиться легкого золотистого загара есть.

- Средиземноморский, или южно-европейский — К такому типу относятся люди с яркими карими глазами, темными волосами, со смуглой, оливковой кожей без веснушек. Представители данного типа загорают легко и быстро, без обгорания. Счастливые обладатели южно-европейского типа могут позволить себе получить моментальный ровный загар под воздействием солнечных лучей.
- Индонезийский, или средне-восточный — У представителей данного типа очень смуглая, темно-коричневая кожа, волосы черные, глаза темные. Им легко удастся получить равномерный глубокий и темный загар. Люди данного типа не подвержены солнечным ожогам и не имеют противопоказаний к частому и длительному загару.
- Афроамериканцы — У них очень темная кожа, черные волосы и глаза. Их кожа содержит природный пигмент, благодаря которому ей не требуется защита от солнца даже при постоянном нахождении под прямыми лучами.



Рисунок 21 – Фототипы кожи

Лазерная эпиляция — это удаление нежелательных волос с разрушением фолликула, а точнее дермальной папиллы, посредством которой осуществляется жизнеобеспечение роста волос, с помощью лазерной технологии. Основной хромофор для лазерной эпиляции — меланин. Спектр поглощения меланина в диапазоне 600–1200 нм. Цвет волос определяется количественным соотношением эумеланина (светло- и темнокоричневые, черные волосы) и феомеланина (рыжие, светлые). В светлых волосах меньше хромофора, поэтому для разрушения волоса требуются более высокие энергетические параметры и большее количество процедур. Седые и золотистые волосы – процедура не эффективна! Чем темнее кожа, тем больше в ней меланина и **выше риски ее перегрева** при проведении процедур лазерной эпиляции.

Разрушить структуру волоса можно двумя способами: фототермическим (коагуляция) и фотомеханическим (микрокавитация). При этом применяются лазерные аппараты, работающие в двух режимах: длинноимпульсном и короткоимпульсном.

Фототермическая технология. Основана на избирательном поглощении энергии лазерного излучения «мишенью» - меланином волосяного фолликула и области булге, вызывая их разогрев и коагуляцию.

Лазерный луч проходит через кожу и, не повреждая ее, избирательно поглощается меланином, содержащимся в больших количествах в волосяных луковицах. Это вызывает нагрев волосяных луковиц (фолликулов) с последующей их коагуляцией и разрушением. Для этого необходимо создать температуру в волосяном стержне выше 70°C (пороговая температура теплового некроза $\sim 70\text{-}80^{\circ}\text{C}$), сохраняя температуру слоя меланина в коже ниже $45\text{-}50^{\circ}\text{C}$. Запасенное в волосяном стержне тепло медленно рассеивается, уничтожая соседние клетки в фолликуле, достигая области с наименьшим содержанием меланина (зона роста волоса, содержащая стволовые клетки) и дермального сосочка, питающего волос.

Чтобы добиться данного эффекта необходимо учитывать время термической релаксации.

Время термической релаксации (ВТР) — величина, характеризующая время, необходимое для полного охлаждения нагретой структуры.

Волосяной стержень имеет плотную концентрацию меланина, но слабо связан с окружающей тканью; это требует время для рассеивания тепла. С другой стороны, кожа имеет широкое, плоское ложе меланина вокруг границы дерма/эпидерма, которое является весьма тонким и хорошо связанным с объемной тканью и кровеносными сосудами, и поэтому охлаждается намного быстрее. Если облучать кожу коротким импульсом, и стержень волоса и кожа поглощают часть энергии, и их температура повышается на несколько градусов. Сразу после импульса, обе структуры начинают охлаждаться, но волосяной стержень охлаждается намного медленнее.

В процентном соотношении: за одну и ту же единицу времени волосяной фолликул остывает на 10%, в то время как эпидермис успевает остыть на 50%.

Исходя из ВТР волосяного фолликула $\sim 10\text{-}100$ мс, подбирают продолжительность лазерного импульса, которая должна лежать между временами терморелаксации эпидермиса и фолликула.

Мишень	Время воздействия
Роговой слой	25 мс
Эпидермис	1 мс
Дерма	600 мс
Толстый волос	20–80 мс
Пушковый волос	10 мс
Гемоглобин	10–30 мс
Меланин	4–5 мс

Вследствие переноса тепла происходит нагревание пограничных областей, даже если они не/или почти не содержат хромофоров:

- Зона максимального теплового эффекта, где поглощается основная часть излучения (испарение, нагревание)
- Зона теплового эффекта, который вызван небольшой частью излучения, проникшего в ткань глубже (коагуляция)
- Зона теплового эффекта, который возникает вследствие переноса тепла в более холодные участки (биостимулирующее действие)

Волосы, находящиеся в фазе покоя, испытывают на себе биостимулирующее действие. Таким образом, удастся провести процедуру более эффективно.

При этом используют длинноимпульсные лазеры: рубиновый 694 нм, александритовый 755 нм, диодный 810 нм, неодимовый 1064 нм и Q- switched Nd:YAG (1064 нм), супердлинноимпульсный диодный (810 нм) и высокоинтенсивные источники света (590–1200 нм). Для того чтобы целью был меланин волосяных фолликулов, а не кожи, лазер должен испускать глубоко проникающую длину волны в диапазоне 600–1000 нм.

Характеристика: при длинноимпульсных режимах длительность импульса составляет от единиц до десятков миллисекунд и плотность энергии 10–60 Дж/кв.см. Супердлинноимпульсный режим характеризуется длительностью импульса в несколько сотен миллисекунд и плотностью энергии до 100 Дж/кв.см.. Таким образом, длительность лазерного импульса при длинноимпульсном методе превышает время термической релаксаций облучаемой ткани (t) и тепло от волоса успевает достаточно интенсивно распространиться в прилегающие области. В этом случае для эффективной эпиляции величина плотности энергии должна быть достаточно высока (не ниже 40 Дж/см²), чтобы компенсировать отток тепла, необходимый для коагуляции волосяного фолликула. В то же

время, при значениях плотности энергии выше 45 Дж/см² высока вероятность коагуляции окружающих тканей. В результате перегрева кожи повышен риск развития побочных эффектов, связанных с нарушением естественной пигментации кожи в виде гипер- (при загаре после сеанса эпиляции) и депигментации (у пациентов со смуглой кожей). Для исключения теплового повреждения меланинсодержащего базального слоя эпидермиса создают оптимальные: условия для отвода тепла с помощью внешнего охлаждения (специальные гели, фреон, криогенный спрей, контактный охлаждающий сапфировый наконечник, холодный воздух и т. д.). Кроме того, в случае свежего загара необходимо сделать интервал для уменьшения количества меланина в эпидермисе и осветлении загара.

При данном методе эпиляции необходим контраст между цветом волос и цветом кожи пациента и эффект достигается при темных волосах и светлой коже. При эпиляции пациентов с 4-6 фототипом кожи по Фицпатрику эффективными и безопасными являются лазеры с длиной волны длиннее 694 нм (рубин), т.е. с длиной волны 755 нм, 800 нм и 1064 нм, которая меньше поглощается меланином эпидермиса и поэтому имеет большую глубину проникновения. Фототермическая технология приводит к более выраженному перманентному удалению волос, т. е. она более эффективна.

Фотомеханическая технология. Короткоимпульсный метод реализуется с помощью более современных и высокотехнологичных лазеров, работающих в режиме модулированной добротности (Q-Switched). В этом методе используют неодимовый (1064 нм) лазер. Характеристика: мощность импульса сотни мегаватт и длительность импульса 10–20 наносекунд (ультракороткие мощные импульсы). Плотность энергии 2–4 Дж/см². Так как длительность импульсов здесь не превышает десятков наносекунд (t волоса - единицы миллисекунд), то исключается риск нежелательного перегрева прилегающих тканей. В этом случае энергия излучения расходуется на ионизацию частиц «мишени», что вызывает генерацию акустических волн. Таким образом, происходит механическое разрушение меланоцитов и меланосом в структуре волоса и волосяной луковицы, вследствие микровзрывов и кавитации в пределах этих ограниченных объемов.

Для генерации моноимпульсного излучения высокой плотности мощности, достаточной для начала нелинейных эффектов излучение лазера фокусируется в пятно 1–2 мм в диаметре. При этом расходимость пучка в мягких тканях достаточно высока, в результате на глубину залегания волосяного фолликула проникает лишь незначительная часть излучения, что снижает эффективность эпиляции. Из-за слабого поглощения этого вида лазерного излучения меланином кожи, этот лазер может использоваться для удаления волос даже темнокожих пациентов и на загорелой коже. Охлаждения кожи при этом не требуется.

Фотомеханическая технология считается более простой, быстрой, безболезненной и безопасной с точки зрения побочных эффектов.

Клинические результаты: положительным эффектом эпиляции является изменение структуры волоса, замена терминальных волос пушковыми, постепенная атрофия волоса.

Количество процедур от 3 до 8, с интервалом 1-3 месяца.

Преимущества лазерной эпиляции:

- Неинвазивность
- Обработка группы волосяных фолликулов, высокая скорость процедуры
- Комфортная, болевой эффект минимальный
- Стойкий и долговременный результат

Эпидермальное (поверхностное) охлаждение

Охлаждение поверхности кожи (cryogen spray) перед приходом лазерного импульса дает ряд преимуществ:

- уменьшается вероятность повреждения эпидермиса;
- снижается боль при лазерном воздействии;
- повышается эффективность лечения: охлаждение позволяет увеличить плотность энергии без риска повреждения эпидермиса, а это, в свою очередь, позволяет ускорить лечение и, главное, лечить более глубокие сосуды.

Также доступны и другие способы охлаждения. Они включают контактные методы, в которых охлаждающая поверхность размещается на коже в течение лечения (холодное окно или охлаждаемый сапфировый наконечник), и неконтактный метод, в котором холодный поток воздуха направляется на кожу в течение лечения.

Показания

- Удаление нежелательных волос с эстетической целью
- Эстетическая коррекция гипертрихоза/гирсутизма
- Удаление волос в медицинских целях (например, волосы с тенденцией к врастанию, псевдофолликулиты и келлоидное акне затылка)

Противопоказания

- Беременность, лактация
- Острые инфекционные заболевания
- Пациенты младше 18 лет (заключение договора с родителями)
- Сахарный диабет (декомпенсированная стадия)
- Хронические заболевания кожи в стадии обострения (псориаз, atopический дерматит)

- Онкологическая патология
- Воспалительные явления в области обработки
- Заболевания внутренних органов (печень, надпочечники, яичники)
- Келоидные рубцы
- Прием системных ретиноидов в течение последних 8 месяцев
- Герпес в анамнезе (частые обострения)
- Ослабление иммунной системы в результате ВИЧ-инфекции или применения лекарств, подавляющих иммунную систему (иммуносупрессанты)
- Заболевания аутоиммунного характера — ревматоидный артрит, системная красная волчанка
- Аллергия на свет и/или солнце (фотодерматозы)
- Психоэмоциональная нестабильность, наличие тяжелых психических заболеваний
- Прохождение процедур химио- и радиотерапии в течение последних 3 месяцев
- Посещение солярия и принятия солнечных ванн в последние 3 недели
- Проведение биоэпиляции в последние 30 дней
- Случаи витилиго в семейном анамнезе
- Прием препаратов, вызывающих изменения светочувствительности

При отборе пациента для проведения процедуры лазерного воздействия мы в первую очередь оцениваем принципиальную возможность проведения процедуры, определяем показания и противопоказания.

При выявлении противопоказаний, общих для всех видов лазерного воздействия, а также таких ограничений как седые волосы (когда процедура не будет иметь эффекта), наличие татуировки в той зоне, где планируется проведение эпиляции, за счет возможного конкурентного взаимодействия с хромофорами и изменения цвета татуировки. Наличие новообразований на коже, которые не могут быть подвергнуты лазерному воздействию и не могут быть защищены от лазерного воздействия. Для маскирования небольших плоских пограничных невусов используется белый карандаш, который не поглощает лазерное излучение. Лазерное воздействие на невус может вызвать перегрев кожи с формированием ожога в результате поглощения излучения меланином образования, существует риск перерождения в злокачественное образование в результате регулярного повреждения клеток, это значимо для невусов с высоким риском перерождения.

Лазерная эпиляция до 16 лет не проводится, так как не проводились исследования по изучению эффективности и безопасности лазерной эпиляции на данной группе пациентов. Пик развития волос это 16–18 лет, когда волосы находятся под мощнейшим гормональным воздействием, утолщаются и пигментируются.

В случае, если мы не видим противопоказаний к проведению процедуры, мы оцениваем характер роста волос, а именно тип оволосения, количество волос, оцениваем структуру волоса (волос толстый, жесткий, или это волос тонкий и мягкий), цвет волоса. Оценивая пациента, мы можем увидеть естественное физиологическое оволосение, когда присутствует умеренное количество волос, соответствующее полу и возрасту, либо имеются признаки гирсутизма или гипертрихоза.

В случае если мы определяем признаки гирсутизма, мы рекомендуем нашему пациенту консультации смежных специалистов для дообследования, постановки правильного диагноза и назначения лечения в случае необходимости.

Правильное информирование пациента об эффективности данного метода предопределяет адекватность ожидаемого результата.

Пациенты, получающие гормональную терапию или имеющие эндокринные нарушения должны быть предупреждены об ограниченном эффекте эпиляции.

Если пациенты с гормональными нарушениями планируют проходить процедуры лазерной эпиляции, но не планируют заниматься своим здоровьем, обязательно нужно сообщить, что эффект в таком случае может быть ограниченным.

В случае если мы определяем признаки приобретенного гипертрихоза, мы рекомендуем нашему пациенту консультации смежных специалистов для обследования, постановки правильного диагноза и назначения лечения в случае необходимости.

Пациенты с врожденным гипертрихозом успешно проходят курс лазерной эпиляции с хорошими результатами, для них данный метод коррекции является основным.

Чаще всего для эпиляции используются лазеры, с разными длинами волн, но в диапазоне, который поглощается меланином.

Александритовый лазер очень часто используется для световой эпиляции, им удаляются даже тонкие и даже относительно светлые волосы, идеально его использование у пациентов со светлой кожей до 4 фототипа, и темными волосами. У пациентов с темной кожей применять данный лазер нельзя ввиду высокого конкурентного поглощения лазера меланином кожи и возникновением ожогов (Рисунок 21,22).

В настоящее время наиболее часто используют полупроводниковые диодные лазеры (Рисунок 23), которые имеют достаточно глубокое проникновение в кожу и хорошее поглощение меланином, ограничено применимы на смуглой коже.

У пациентов с 3 фототипом и темнее целесообразно использовать большую длину волны, как в длиноимпульсном неодимовом лазере 1064 в сочетании с очень хорошим охлаждением. Длинноимпульсный неодимовый лазер показан для использования при всех типах кожи и отличительной особенностью этого лазера является возможность напрямую воздействовать на глубоко расположенные части волосяного фолликула, однако слабое поглощение меланином требует применения высокой плотности мощности излучения



Рисунок 21 – Применение александритового лазера для эпиляции



Рисунок 22 – Интерфейс лазера с сенсорным управлением

У источников широкополосного импульсного света также как и у длинноимпульсных лазеров длительность импульса превышает время термической релаксации волосяного фолликула и соответственно всегда есть перегрев тканей в зоне воздействия (особенно при недостаточном охлаждении), следовательно есть высокий риск осложнений в виде ожогов, рубцов, пигментации за счет перегрева окружающих тканей, неблагоприятный эстетический вид в течение 1-2 дней – покраснение, нельзя проводить процедуры на смуглой и загорелой коже, низкая эффективность при работе со светлыми волосами.

Наиболее безопасным для лиц с темной кожей все-таки считается неодимовой длинноволновый длинноимпульсный лазер 1064 нм он имеет наилучший профиль безопасности по сравнению с диодным и александритовым. Это было описано в исследовании 2003 года, в котором сравнивались александритовый лазер, диодный лазер, фотоэпиляция у пациентов с более темными фототипами кожи.



Рисунок 23 – Пример диодного лазера для эпиляции

Особенности процедуры лазерной эпиляции:

Во время процедуры ощущение горячего покалывания, после обработки — покраснение (точечное, диффузное), возможен перифолликулярный отек.

Количество процедур — 8–10 с интервалом 1-1,5 месяца.

В начале курса возможно усиление роста волос за счет стимуляции фолликула.

На 10-14-й день после процедуры происходит выпадение волос.

Рекомендуемые интервалы между процедурами в разных областях:

на лице — от 3 недель

подмышки — от 4 недель

зона бикини — от 5 недель

на теле — от 6–9 недель

Процедуры с 1-й по 3-ю могут проводиться с минимальным интервалом в 3–4 недели в любой области (зависит от структуры волос, скорости роста), так как убираем только те волосы, которые находятся в фазе анагена.

Процедуры, начиная с 4-й, могут проводиться с увеличенным интервалом, который будет зависеть от скорости роста и локализации. Из-за того, что в предыдущие процедуры простимулировали волосы в стадиях катагена, телогена, рост волос может усилиться.

Чем больше количество волос в стадии анагена будет обработано, тем выше эффективность курса.

Протокол проведения процедуры:

- Длина волос в зоне обработки на момент проведения процедуры не более 1 мм, темный волос убрать накануне процедуры (бритье), светлый волос убрать за 2–3 дня до процедуры.
- Процедура проводится по бесцветному гелю средней вязкости.
- Обрабатываемый участок размером 10*10 см, в 3 подхода.
- Во время проведения курса нельзя удалять волосы с помощью процедур, повреждающих фолликул. Только процедуры, направленные на удаления стержня волоса.
- Обрабатываем площадь полосками путем последовательного перекрытия предыдущей на 50%.
- Не наносить косметические средства на обрабатываемую зону в день проведения процедуры.
- Ограничить посещения солярия и прямого воздействия солнечных лучей:
исключить загар за 4 недели до процедуры, на 3 недели после загара.

Факторы, снижающие эффективность процедуры:

- Тонкий волос (требует большего количества процедур).
- Процедуры, проведенные на одних и тех же параметрах в течение всего курса.
- Большая площадь обработки (свыше 10*10 см одновременно).
- Высокое содержание меланина в эпидермисе (более тщательный подбор параметров).



Рисунок 24 – Ожоги кожи после процедуры лазерной эпиляции

Ошибки:

1. Большая плотность энергии

- Механизм: превышение параметров, а также кратности проходов. Разрыв эпидермиса, нарушение тканей.

- На процедуре: чрезмерные болевые ощущения, выраженная гиперемия, отек (Рисунок 23) .

- Тактика при возникновении: охлаждение, декспантенол 5% крем + гормональное наружное средство в течение 1-2.

- В отдаленном периоде: ожог, рубцовые деформации, посттравматическая гиперпигментация.

- Как избежать: пошаговое увеличение мощности от минимальных параметров.

2. Гипо-, гиперпигментация

- Механизм: нарушение выработки меланина в результате нарушения гормонального фона, повышенная чувствительность кожного покрова к УФ-лучам, недавнее длительное воздействие УФ с целью получения загара.

- На процедуре: болевые ощущения могут отсутствовать.

- В отдаленном периоде: гипо-, гиперпигментация.

- Как избежать: тщательный сбор анамнеза (отсутствие выраженной гормональной патологии), подготовка к процедуре (соблюдение периодов до и после УФ воздействия)

Учитываем:

- Количество меланина в волосе (темный, светлый, рыжий)

- Количество меланина в эпидермисе (фототип)

Метод подбора параметров для программ эпиляции:

- Выбираем фототип
- Выбираем зону обработки
- Выбираем частоту (Гц)
- Определяем стартовую мощность (Дж/см²) согласно рекомендациям производителя оборудования (см. инструкцию)
- Ориентируемся на ощущения (покалывание, жжение) и гиперемию (перифолликулярный отек, точечный).

Рекомендации пациенту после процедуры

В первые 1-3 дня после процедуры использовать только лечебные успокаивающие крема и мази (по показаниям)

Исключить попадание кислото- и спиртосодержащих косметических средств на сутки после процедуры (дезодоранты, лосьоны и т. п.)

В течение 3 дней после процедуры **ИСКЛЮЧИТЬ** горячие ванны, сауны, бани, усиленные занятия спортом.

В промежутках между процедурами удалять волос только при помощи бритвы, стрижка триммером.

2.2 Лазерные технологии коррекции телеангиэктазий и гемангиом

Для лечения сосудистой патологии в настоящее время применяются следующие источники света: лазеры – аргоновый, криптоновый, на парах меди, на парах бромида меди, на красителях, твердотельные – КТР-лазеры и неодимовый лазер (1064 нм) и импульсные источники света. В основе метода световой коагуляции сосудов лежит два принципа: селективного и диффузного фототермолиза.

1. Принцип селективного фототермолиза.

Реализуется лазерное излучение из зелёной и жёлто-зелёной областей спектра, что обусловлено высоким поглощением данного излучения гемоглобином.

Основными условиями для селективного фототермолиза сосудов являются:

а) лазерное излучение определенной длины волны должно достаточно сильно поглощаться хромофором сосуда. В качестве хромофора при коагуляции сосудов выступает

гемоглобин и оксигемоглобин с пиком поглощения 577 нм. Глубина проникновения излучения, т.е. глубина на которой поглощается 50-60 % мощности излучения при длине волны 514 нм составляет 15-45 мкм, при длине волны 578 нм – 65-125 мкм. С увеличением длины волны от 511 до 585 нм увеличивается глубина проникновения из-за уменьшения избирательности его поглощения, а не из-за уменьшения его рассеяния.

б) длительность импульса не должна превышать ВТР сосуда. Каждый сосуд имеет свое специфическое время термической релаксации. Необходимо учитывать это время, иначе тепло будет распространяться в окружающие ткани, приводя к их повреждению и, возможно, образованию рубца. Это время зависит от тепловых свойств сосуда и варьируется в зависимости от его размера. Средний размер сосудов в «винных пятнах» (PWS) приблизительно 50 мкм в диаметре при длине 10–200 мкм и больше. Соответствующее время релаксации для этих сосудов варьируется от 30 микросекунд до 20 миллисекунд или даже больше. Длительность импульса должна быть короче, чем время релаксации большинства сосудов.

в) энергия лазерного излучения должна быть достаточно высокой для деструкции сосуда за время воздействия импульса. Особенность: излучение этого диапазона конкурентно поглощается меланином кожи, что в свою очередь может привести к возникновению ожогов кожи и поствоспалительной гиперпигментации, особенно при 4–6 фототипе кожи по Фитцпатрику и наличии загара.

Механизмы селективного фототермолиза при лазерном склерозировании сосудов: нагрев приводит к внутрисосудистой деструкции (фототермолизу) и коагуляции крови и нарушении целостности стенок сосуда вследствие воздействия очень мощным лазерным импульсом. Вклад того или иного механизма в процессе склерозирования определяется параметрами лазерного излучения (длина волны, энергия, длительность импульсов) и сосудистой патологией (диаметр сосудов, глубина залегания, локализацией). При селективной коагуляции сосудов длина волны (532,540 нм) является пиком поглотительной способности гемоглобина крови, что приводит к коагуляции сосудов.

2. Диффузный или гомогенный фототермолиз. Лазер Nd:YAG (1064 нм)

Инфракрасный диапазон, уступая в эффективности поглощения, обеспечивает большую глубину проникновения излучения в кожу и в то же время меньшее воздействие на меланин. В данном случае разрушение сосуда происходит в результате внутрисосудистой коагуляции белков крови с активацией тромбоза с последующим фиброзом. В результате сосуды коагулируются, а значительного нагрева окружающей кожи не происходит. Визуально может

быть гиперемии обработанной области в течение 2-3 часов. Таким образом, не однозначного мнения по применению лазеров желто-зеленого и инфракрасного диапазонов.

Таблица 6 - Лазеры для лечения сосудистой патологии

Лазер	Длина волны	Механизм действия	Вид сосудов	Недостатки
Аргоновый (непрерывный)	488 нм 514 нм	Сильное поглощение гемоглобином и меланином Сильное рассеивание Глубина проникновения невелика	Мелкие поверхностные сосуды на слабопигментированной коже	При увеличении энергии развиваются рубцы
Криптоновый (непрерывный)	568 нм		Сосуды большого диаметра, капиллярные гемангиомы у взрослых, ТАЭ	
На парах меди (Q-switched)	578 нм	Термический лазер, действует по принципу селективного фототермолиза	Сосуды диаметром 0,1-0,3 мм, большие капиллярные гемангиомы	Поствоспалительная гиперпигментация, риск рубца
На красителях (импульсный)	585 нм 577 нм	Селективный фототермолиз	ТАЭ лица до 0,5 мм, мелкие капиллярные гемангиомы у детей, сенильные ангиомы, после – выраженная пурпура в течение 7-10 дней	Минимальный эффект при объемных сосудистых образованиях, увеличение мощности излучения, риск рубца, не эффективен при венозных образованиях
КТР лазеры	532 нм 540 нм	Селективный фототермолиз	ТАЭ диаметром до 2 мм, капиллярные гемангиомы	

Пики абсорбции гемоглобина 418, 542, 577 нм (синий, зеленый, желтый диапазон) и ближний инфракрасный 700–1100 нм.

Фотомеханическое действие коротких мощных импульсов вызовет пурпуру, более длинные импульсы вызывают коагуляцию сосуда.

Более короткие волны проникают более поверхностно поэтому для сосудов, лежащих на глубине менее 1мм используем длину менее 500, для более глубоких более 600 нм.

Выбрав необходимый лазер, врач определяет наиболее подходящие параметры: размер светового пятна, плотность энергии и длительность импульса.

Размер светового пятна должен примерно соответствовать размеру мишени, но нужно помнить, что, уменьшая размер пятна мы можем увеличить флуенс, что может привести к нежелательным эффектам, нужно всегда помнить, что параметры взаимосвязаны. То есть если вы в ручном режиме адаптируете размер пятна к размеру мишени нужно отслеживать изменение плотности энергии. Плотность энергии нужно увеличивать при коррекции обесцвеченных хромофоров, когда они бледные, или расположены глубоко (если сделать маленькое пятно с высокой плотностью и подать на сосуд, то он взорвется). В начале первого сеанса нужно выбирать параметры, рекомендуемые для достижения клинического эффекта для конкретного аппарата. В большинстве случаев мы видим эффект сразу – сосуд исчезает или при коррекции некоторыми лазерами – появляется пурпура.

Последний параметр — это длина импульса, которая определяется временем термической релаксации сосудов, оно прямо пропорционально квадрату диаметра сосуда. Сосуды мелкие капиллярного типа имеют ВТР измеряемое в микросекундах, венулы винных пятен – миллисекундных, вены нижних конечностей – сотни миллисекунд. Длительность импульса должна быть короче или равна ВТР, чтобы избирательно воздействовать на мишень без разогрева окружающих тканей. Если импульс будет слишком короткий, то эффекта не будет, слишком длинный – может быть ожог и возникнет риск рубцевания и дисхромии.

Клинические эффекты представлены на рисунках 25, 26, 27, 28.



Рисунок 25 – Гемангиома кожи области глабеллы

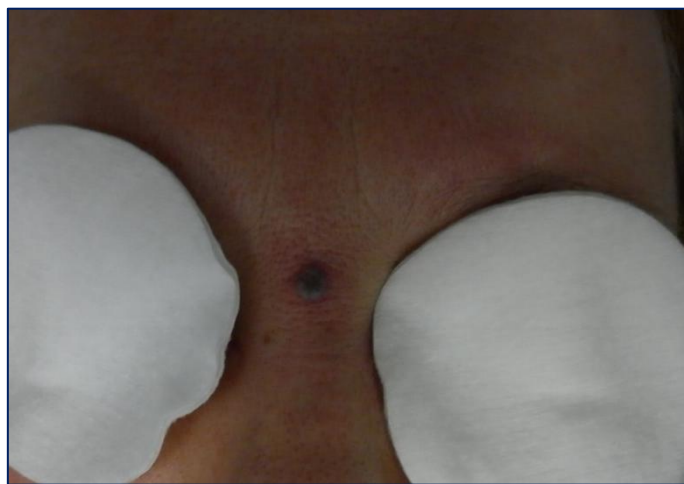


Рисунок 26 – Гемангиома кожи области глабеллы сразу после лазерной коагуляции



Рисунок 27 –Состояние кожи сразу после лазерной коагуляции гемангиомы

Нежелательные эффекты и осложнения могут быть вызваны различными причинами, которые зависят от врача и пациента. Причины, зависящие от врача: многочисленные типичные ошибки такие как неверный диагноз и неправильные показания к терапии, неправильный выбор лазера или параметров воздействия, отсутствие опыта проведения конкретной процедуры, незаполнение первичной документации и информированного согласия, неполная консультация и выяснение не всех анамнестических данных. Каждый пациент индивидуален, и мы должны правильно оценить особенности каждого, перед тем как рекомендовать процедуры, вначале мы устанавливаем диагноз и определяем показания для процедуры, устанавливаем тип кожи по фитцпатрику, и определяем наличие загара или планы пациента на отпуск в ближайшее время.



Рисунок 28 –Состояние кожи сразу после лазерной коагуляции телеангиэктазий

Нежелательные эффекты и осложнения могут быть вызваны различными причинами, которые зависят от врача и пациента. Причины, зависящие от врача: типичные ошибки такие как неверный диагноз и неправильные показания к терапии, неправильный выбор лазера или параметров воздействия, отсутствие опыта проведения конкретной процедуры, незаполнение первичной документации и информированного согласия, неполная консультация и выяснение не всех анамнестических данных.

Пациентам с более темным типом кожи мы должны выбрать более мягкие параметры проведения процедуры, особенно когда есть риски возникновения дисхромий. Обязательно выясняем анамнез чтобы выявить у пациента возможные заболевания соединительной ткани и связанную с ними фоточувствительность, инфекции (вирус простого герпеса), возможные аллергические реакции, сопутствующие заболевания, такие как диабет, например. Это все может стать причиной медленного заживления, кровоточивости, рубцевания, дисхромии. Не забываем уточнить о приеме таких препаратов как ретиноиды, миноциклин, варфарин, препараты золота, аспирин, ниацин, НПВС, витамин Е (фотосенсибилизаторы, кроверазжижающие).

Чаще всего из ожидаемых побочных эффектов возникает болезненность, покраснение, отек, они развиваются у всех пациентов и как правило являются самокупирующимися, для предупреждения персистенции данных побочных эффектов рекомендуется применить

адекватное охлаждение во время проведения процедуры, использование заживляющих кремов и фотозащиты после процедуры.

Разрыв сосуда во время процедуры происходит из-за подбора неадекватных размеру и глубине сосуда параметрах излучения, пурпура при использовании ПДЛ лазера является ожидаемой и связана с воздействием коротких высокоэнергетических импульсов этого лазера, часто она появляется на тонкой светлой коже, уменьшить ее можно используя меньшую энергию и более длинные импульсы. Ожог может возникнуть вследствие применения высокой плотности энергии на пигментированной коже, ожог может сопровождаться образованием пузырей, сильное термическое повреждение дермы может в итоге привести к формированию атрофических или гипертрофических рубцов. Атрофические рубцы также встречаются при работе с мелкими сосудами и использовании мелкого диаметра светового пятна.

Изменения пигментации один из самых распространенных побочных эффектов, за счет воздействия на конкурирующий хромофор меланин при работе с пациентами с более темным фототипом или при работе на открытых участках тела, такие пациенты имеют повышенный риск развития дисхромий. Гипопигментация или гиперпигментация чаще бывают временными, но могут персистировать месяцами и требуют серьезной дополнительной коррекции. Гипопигментация возникает при термическом разрушении меланоцитов в зоне дермо-эпидермального соединения, также она может быть следствием образования пузырей с последующим рубцеванием.

Изменение текстуры кожи – в виде западений, эрозий, изъязвлений – очень редкие побочные эффекты (западение как правило появляется при коррекции более крупных сосудов на лице, в течение нескольких месяцев, постепенно структура кожи восстанавливается) Изъязвления могут быть связаны с плохим охлаждением кожи во время процедуры, неправильными параметрами излучения, особенностями организма пациента. Раневая инфекция встречается редко.

Важно информировать пациента о правильном уходе после процедуры: не мочить в течение нескольких часов, использовать препараты декспантенола в течение 1-3 дней, исключить бани и физическую нагрузку.

2.3 Лазерные технологии коррекции гиперпигментации

При лазерном удалении пигментных пятен хромофором является меланин в меланосомах, которые локализуются в эпидермисе или дерме. При этом длина волны излучения должна эффективно поглощаться меланином и слабо поглощаться гемоглобином и водой.

1. Эпидермальные пигментные пятна (лентиго, веснушки и т. д.) могут быть удалены селективно и неселективно. При неселективном методе используют вапоризацию эпидермиса с избыточным содержанием меланина CO₂ и эрбиевыми лазерами, т.е. проводится лазерная шлифовка. При селективном методе лечения применяют лазеры, длина волны которых хорошо поглощается меланином: неодимовый КТР (510 нм), на парах меди (511 нм) и криптоновый зеленый (520 нм с глубиной проникновения до 4 мм), александритовый (755 нм). Q-switched рубиновый, александритовый и КТР (532 нм) лазеры наиболее эффективны в удалении лентиго. Лазер на красителях (импульсный лазер), генерирующий излучение в зеленой области видимого спектра (510 нм), работает по принципу селективного фототермолиза и эффективен в лечении старческого лентиго, слабопигментированных пятен «кофе с молоком» и веснушек. Более объемные и глубокие пигментные образования и невусы плохо поддаются лечению данными лазерами.

2. При удалении дермальных пигментных новообразований (невусы Ота, дермальные меланоцитозы и т.д.) учитывают, что красный и желто-зеленый цвет сильно рассеиваются в коже и теряют энергию на глубине. Вапоризация в этом случае приведет к образованию рубцов. Поэтому для удаления дермальных пигментаций применяют селективные неодимовые лазеры (1064 нм, с глубиной проникновения до 7 мм) и александритовые (755 нм) с модулированной добротностью, излучение которых глубже проникает в кожу, а так же рубиновый Q-switched лазер.

2.4 Лазерная коррекция татуировочной пигментации

Выделяют две группы татуировок по происхождению: профессиональные и непрофессиональные. Прокол кожи при профессиональных татуировках составляет от 0,5 до 1 мм. Глубина прокола при непрофессиональном нанесении 1-2 мм и более. Основная часть красителя в этом случае попадает глубока в дерму и гиподерму, где фагоцитируется макрофагами и лейкоцитами, а после их гибели фиксируется в тканях коллагеновыми волокнами. Иногда пигмент татуировки проникает в подкожно-жировую клетчатку.

Методы удаления татуировки включают хирургию, электрокоагуляцию, микродермабразию и световые методы.

На эстетический результат после удаления татуировки влияют: вид и глубина залегания красителя, площадь татуировки, толщина кожного покрова в области нанесения татуировки, толщина кожного покрова в области нанесения татуировки, а также особенности пациента (Рисунок 29, 30).

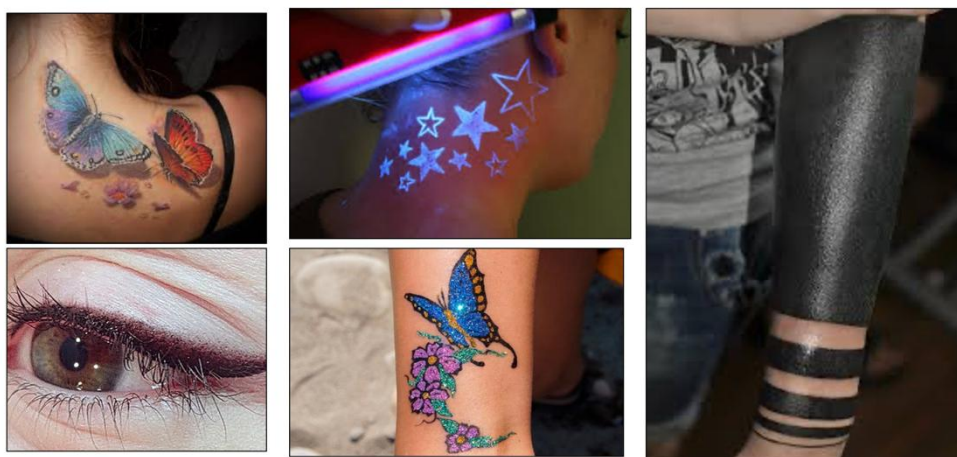


Рисунок 29 – Варианты татуировок

Для селективного разрушения красителя нужно выбрать длину волны, которая максимально им поглощается.

Спектральные свойства красителя лишь с некоторой вероятностью определяются его цветом.

В клинической практике рекомендуется начинать лечение с использования неодимового лазера в связи с его достаточной универсальностью и минимальным повреждающим действием на здоровые ткани. При отсутствии эффекта от лечения, возможно использование рубинового лазера (он достаточно хорошо убирает синий и зеленый

пигмент). Также для удаления татуировок применяют: CO₂, эрбиевый лазер, работающие неселективно и лазеры, работающие на основе принципа селективного фототермолиза: александритовый (755 нм), неодимовый с удвоением частоты (532 нм), лазеры на парах меди (511 и 578 нм).

По способу нанесения	По цвету	По плотности расположения красителя
Любительские	Монохромные	Контурные
Профессиональные	Полихромные	Штриховые
Косметические (перманентный татуаж)		Объемные (большое количество пигмента, плотно)
Травматические		
Медицинские		

Рисунок 30 – Варианты татуировок

При использовании CO₂ и эрбиевого лазера имеет место *неселективный режим воздействия*. Лазерная шлифовка кожи с помощью CO₂ и эрбиевого лазера как метод удаления татуировки должна быть достаточно глубокой. Она может использоваться до применения Q-switched лазеров, чтобы удалить эпидермис и после применения Q-switched лазеров для глубокого проникновения излучения селективных лазеров.

Преимущества: быстрота метода и в 80–85% случаев однократность процедуры.

Недостатки: без образования рубцов могут быть удалены только поверхностные татуировки. Это связано с тем, что краситель татуировок, как правил, залегает в глубоких слоях мезодермы, иногда достигая гиподермы; болезненность процедуры (субъективный критерий, риск рубцевания не является препятствием для примерно 38% пациентов, желающих удалить татуировку).

Селективные методы удаления татуировок. Данный метод основан на механизме селективного фототермолиза. Возможность удаления татуировки обусловлено спектром поглощения красителя. Например, красные пигменты лучше удаляются излучением с длиной волны 510 (зеленая часть спектра) или 532 нм. Зеленые цвета, с другой стороны, лучше удаляются излучением красного спектра. Черный пигмент одинаково хорошо удаляется светом от видимого до инфракрасного диапазона. Кроме того, при воздействии лазера происходит фото механическое разрушение макрофагом, содержащих краситель. Скопления

пигмента поглощают короткие импульсы мощного излучения Q-switched лазеров, что ведет к взаимодействию взрывного характера – происходят микровзрывы. краситель при этом фрагментируется на мелкие частицы, которые в дальнейшем поглощаются окружающими макрофагами и выводятся через лимфатическую систему. Кроме того, происходит трансэпидермальная элиминация части красителя.

Стандартные ситуации: любительские, профессиональные, косметические татуировки, монохромные и цветные включающие синий, черный, красный, зеленый цвета, контурные и штриховые татуировки (на уровне кожи) без избыточного объема

Случаи когда селективные методы не показаны:

Импрегация порошком при травматическом возникновении пигментации, существует вероятность воспламенения

Декоративные или травматические татуировки, осложненные гранулематозной реакцией тканей, в связи с риском возникновения системной аллергической реакции при дальнейшем распространении частичек пигмента в ткани (в таком случае возможно применение аблятивных методик, но скорее всего с рубцом).

В случае нечувствительности красителя к лазерному излучению (например, блестящие татуировки).

Наличие незрелого рубца в проекции татуировки в связи с риском стимуляции роста патологического рубца. Должны в первую очередь применяться методы, направленные на нормальное формирование рубца.

Частицы с диаметром менее 10 нм очень сложно разрушить, это очень мелкие частицы, они уже практически незаметны.

Клетки, содержащие пигменты татуировки, такие как макрофаги, фибробласты и тучные клетки, а также меланоциты и кератиноциты, содержащие меланосомы, разрываются под действием фототермического напряжения. Частицы пигмента попадают в межклеточное пространство, откуда затем утилизируются через лимфатическую систему, либо заново захватываются фагоцитирующими клетками кожи.

Таким образом, на первом этапе происходит мгновенная фрагментация пигмента, изменяющая его светоотражающие свойства, их размер становится меньше либо равен длине волны видимого света. На втором запускается процесс утилизации частиц пигмента макрофагами, который занимает несколько недель и приводит к постепенному уменьшению количества пигмента в коже (Рисунок 31, 32).

При низких плотностях энергии пигмент удаляется недостаточно эффективно, но отсутствует нецелевое повреждение окружающих тканей, при слишком высоких плотностях

энергии возможно повреждение окружающих тканей с формированием ожогов, рубцов, дисхромий.



Рисунок 31 – Клиническое представление результата удаления татуировки лазером

При удалении татуировки за месяц до процедуры нужно избегать инсоляции.

Затем производится тестирование на ограниченном участке для подбора оптимальной дозы, переносимости процедуры и ее эффекта.



Рисунок 32 – Клиническое представление результата удаления татуировки лазером

Тестовое воздействие оценивается не ранее чем через 4 недели. Если отмечен положительный результат, то продолжаем терапию на выбранных параметрах. В среднем

требуется 5–20 процедур, некоторые татуировки (чаще это случается с зелеными, желтыми, бирюзовыми) полностью удалить не удастся. Для татуировок на основе органических соединений необходимо 3–7 сеансов, для разрушения оксидов металлов более 20. Интервал между процедурами 1-2 месяца что бывает достаточно для того чтобы макрофаги удалили частички пигмента. Количество процедур также будет зависеть от местных факторов таких как локализация татуировки, интенсивность локального крово и лимфотока, концентрации и размера частиц, от общих факторов таких как степень макрофагального ответа.

Неадекватный межпроцедурный интервал может быть причиной неэффективности процедур и возникновения осложнений (усиление гематомы будет приводить к экранизации пигмента от лазера, воздействие на макрофаги фагоцитировавшие частицы разрушенного пигмента будет замедлять эффект (если слишком короткий интервал)

Процесс заживления обычно длится до 2 недель, при этом гиперпигментация может сохраняться длительно до года. Достаточно редко может возникать перманентная пигментация, требующая дополнительной коррекции

Нестандартные ситуации:

1. Наличие телесного цвета красителя в зонах, где потемнение эстетически неприемлемо (стойкая фотохимическая реакция кожи) (Рисунок 33).
2. Сложные цвета (фотохимическая реакция, нечувствительность).
3. Травматические татуировки (фотохимическая реакция, нечувствительность)
4. Объемные татуировки (большая концентрация частиц, может привести к рубцеванию).

В нестандартных случаях выбирается тестовый участок маленькой площади, проводится серия процедур для установления эффективности, в случае если есть положительный эффект – процедуры проводятся на всей площади. При работе с объемными татуировками сначала возможна поверхностная шлифовка с целью снизить количество пигмента, затем уже селективные методы также с тестовых режимов.

Трудности существуют при удалении татуировок белого и телесного цвета, они могут поменять цвет на серый или черный и приобрести постоянный характер и их невозможно будет удалить. Наиболее приемлемым в этих случаях является применение неодимового лазера с 1064 нм в наносекундном режиме.

При удалении многоцветных татуировок применяется разная длина волны последовательно, начиная с 1064 и затем обрабатывая 532 нм. В случае если зеленый пигмент не удаляется его можно убрать рубиновым лазером.



Рисунок 33 – Демонстрация фотохимической реакции в виде темной линии

У пациентов с более темной кожей процедуры нужно проводить очень осторожно в связи с высоким риском формирования ожогов, гематом, дисхромий и рубцов, что обусловлено наличием большого количества конкурирующего хромофора меланина, который также будет поглощать волну, в послеоперационном периоде назначается фотопротекция (Рисунок 34).



Рисунок 34 – Рубцы, пузыри после процедур лазерной деструкции татуировок

Основные рекомендации после процедуры:

1. Не мочить в течение 3-4 часов после процедуры
2. Использование кремов с декспантенолом
3. Фотозащита SPF50
4. Избегать травматизации, исключить загар, сауну минимум! на 2 недели после процедуры

2.5 Лазерное омоложение

Цветонезависимое воздействие лазера на кожу может происходить с нарушением целостности кожного покрова, в таких случаях говорят об абляции, и без нарушения целостности кожи, тогда лазер действует неабляционно.

Плоскостное воздействие сплошным пятном подразумевает действие луча всем его диаметром (в среднем от 1–12 мм), фракционное воздействие заключается в разделении луча на большое количество микролучей. Фракционное воздействие также может быть абляционным и неабляционным.

Лазерная шлифовка (в англоязычной литературе называется Laser Skin Resurfacing сокращенно – LSR) – это обновление кожи с помощью лазера, при котором практически полностью слой за слоем удаляется эпидермис. В основе лежит феномен фотоабляции – почти мгновенное испарение (вапоризация) ткани под действием высоких температур. Глубина при лазерной дермабразии, однако, характеризуется более точной дозировкой глубины и меньшим количеством осложнений.

Механизм биологического действия рассмотрим на часто использующихся CO₂ и эрбиевом лазере (высокоинтенсивные абляционные лазеры).

При воздействии ЛИ на ткани происходит быстрый нагрев воды (вода является целевым хромофором для CO₂ и эрбиевого лазера, пик поглощения приходится на излучение эрбиевого лазера, которое в 12–18 раз более интенсивно поглощается водой). Вода быстро нагревается и передает тепло на другие неводные компоненты ткани и вследствие этого происходит фотохимическое испарение тканевой воды – эффект вapoризации и извержения водяных паров вместе с фрагментами клеточных и тканевых структур за пределы места воздействия с формированием абляционного кратера, при этом большая часть тепловой энергии теряется. Вдоль стенок кратера остается полоска разогретой ткани, от которой тепло передается на соседние участки. При низкой плотности энергии выброс продуктов абляции относительно невелик и поэтому ткани нагреваются более значительно, при более высокой энергии, наоборот, мощное короткое воздействие вызывает фотомеханический взрывной эффект аналогичный эффекту взрывной волны. Часть разогретого материала остается вдоль стенок абляционного канала, кратера, и имеет равномерную толщину, именно эта зона передает тепло за пределы участка воздействия, при низком флуенсе (плотность энергии) эта зона больше, и зона термического повреждения больше, при высоком флуенсе - она меньше. Поэтому регулируя мощность излучения можно добиться увеличения скорости удаления ткани снижая при этом глубину фототермического повреждения.

Вапоризация ткани или абляция всегда сопровождается нарушением целостности кожного покрова. Основные механизмы действия аблятивной лазерной шлифовки заключаются в поверхностном испарении тканей, тепловой коагуляции клеток в дерме, денатурации внеклеточных белков, что обуславливает быстрый видимый результат в виде контракции тканевого лоскута на 20–25%. Долгосрочный клинический эффект связан со стимуляцией репаративных процессов, активируемых асептическим воспалением в дерме после травмы (выработка факторов роста, миграция в зону повреждения фибробластов), стимулируется синтез коллагена. В результате абляции также происходит нормализация обновления клеток эпидермиса.

Преимущества лазерной шлифовки:

- удаление эпидермиса осуществляется бесконтактно;
- тепловое воздействие при процедуре дополнительно дезинфицирует кожу;
- малотравматичность;
- контролируемость воздействия;
- легко переносимый послеоперационный период;
- низкий риск послеоперационных осложнений;
- быстрая реабилитация пациента.

Показания:

1. дефекты кожи постакне
2. эпидермальные доброкачественные новообразования кожи. в т.ч. вирусные бородавки
3. разглаживание морщин и улучшение качества кожи
4. комплексное лечение рубцов (гипертрофические и келоидные)
5. внутриэпидермальные кисты и милиумы
6. фибромы, ксантелазмы

Эффект: повышение тургора, улучшение и восстановление цвета, устранение морщин и гиперпигментаций, качественное улучшение структуры кожи: уменьшение дегенеративных изменений коллагеновых и эластиновых волокон.

Механизм лифтинга: при нагреве коллагеновых волокон до температуры 55 С они денатурируются и деформируются, что ведет к сокращению их длины примерно на 1/3. Одновременно происходит синтез новых коллагеновых волокон.

Применяются лазеры: CO₂-лазер (10600 нм) и Ег: YAG лазер (2940 нм).

Излучение этих лазеров поглощается водой, которая содержится в коже, поэтому глубина проникновения невелика. Вследствие такого сильного поглощения вся энергия излучения эрбиевого лазера сосредотачивается в тонком слое кожи толщиной около 1 мкм, CO₂ – лазера проникает на глубину 20 мкм. При этом в глубокие слои проходит только часть излучения (Рисунок . Максимальный тепловой эффект наблюдается в зоне максимального поглощения (в пределах оптической глубины проникновения).

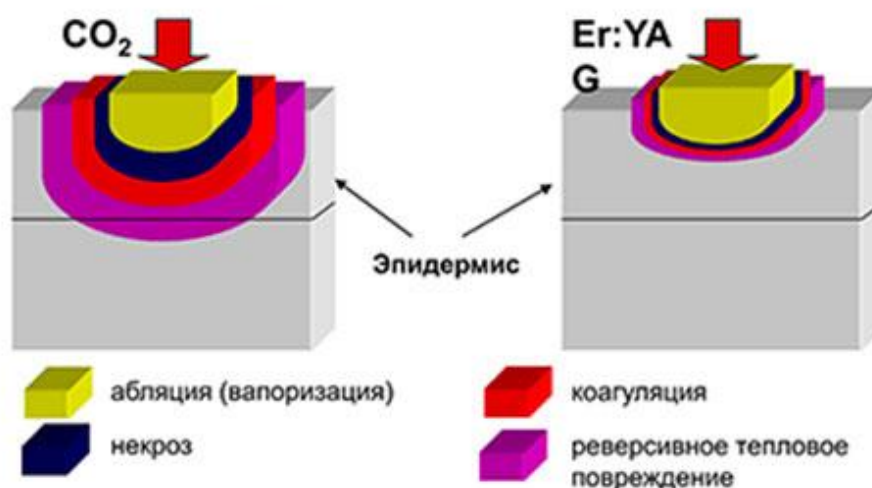


Рисунок 35 – Зоны повреждения при лазерной шлифовке

В области воздействия выделяют:

- а) зона абляции (испарения ткани)
- б) зона пограничного теплового повреждения: зона обугливания (ткань сжигается) и зона коагуляции

Для эрбиевого лазера глубина абляции 1 мкм, зона теплового повреждения – 20-50 мкм, для CO₂-лазера – 20 мкм или 100-250 мкм.

CO₂-лазер в непрерывном режиме используется как режущий инструмент в хирургии и в импульсном или сканирующем – для лазерной шлифовки. Для предотвращения повреждения глубоких слоев дерм в середине 90-х были разработаны специальные импульсные режимы генерации специально для косметологических целей – суперимпульсные CO₂-лазеры (superpulse, Q-switched, ultrapulse).

CO₂-лазеры испускают короткие импульсы (<1 мс) света и за один лазерный импульс испаряют слой эпидермиса в 30-50 мкм с малым тепловым повреждением подлежащей ткани (50-100 мкм). Для охлаждения обрабатываемой области требуется время равное или большее ВТР эпидермиса. Важно, чтобы импульс лазерного воздействия не превышал ВТР, тогда

образующееся тепло, не распространится за пределы удаляемого слоя. Однако, для вапоризации необходимо, чтобы плотность энергии была достаточна для нагрева эпидермиса. Так при использовании CO₂-лазера, работающего в непрерывном режиме, сложно оценить величину термического повреждения прилегающих здоровых тканей. Из-за хорошей теплопроводности биотканей тепло из облучаемой области будет непрерывно передаваться в окружающие ткани, вызывая их перегрев. Для таких процедур, как дермабразия, эта особенность будет весьма существенной т. к. визуальный контроль количества удаленной ткани не всегда соответствует зоне некроза. Для уменьшения термического эффекта используют импульсные лазеры или специальные сканирующие устройства, ограничивающие количество энергии, попадающей на одну точку поверхности. Таким образом, механизм действия CO₂-лазера включает абляцию эпидермиса, тепловое сокращение дермы и увеличение количества упорядоченных пучков коллагена I типа, совместно с ремоделированием кожи. Происходит стимуляция формирования нового коллагена и сокращение на 25% существующего коллагена, которое продолжается в течение более 18 месяцев после лечения.

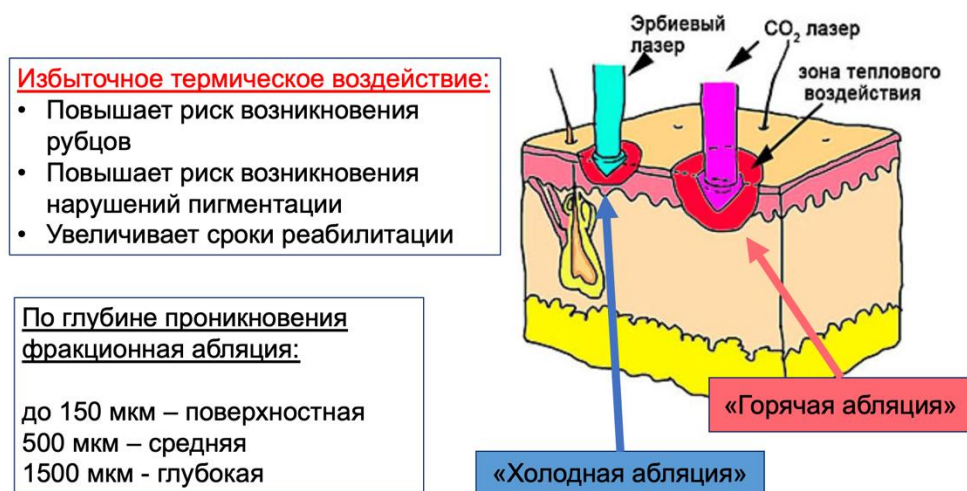


Рисунок 26 – Схематичное представление глубины воздействия лазеров

Er: YAG (2940 нм) лазер оказывает меньшее тепловое повреждение, чем CO₂ лазеры, что связано с более избирательным поглощением этого излучения внутриклеточной и внеклеточной жидкостью (коэффициент поглощения воды у эрбиевого лазера в 12-18 раз выше, чем у CO₂). Этот лазер вызывает менее значительные изменения ткани, чем CO₂-лазеры: Er:YAG-лазер удаляет 2-5 мкм ткани за проход, таким образом, требуется два-три прохода, чтобы удалить эпидермис полностью (Рисунок 26). Также, он вызывает более узкую

зону теплового повреждения (20–50 мкм) и меньшее сокращение коллагена (1-4%). При проведении дермабразии нет необходимости использовать сканирующие устройства, т. к. глубина коагуляции незначительна и возможен визуальный контроль количества удаленной ткани. Возможность точной фокусировки излучения позволяет минимизировать травмирование окружающих тканей, что ускоряет процессы заживления и уменьшает вероятность осложнений. При необходимости увеличения глубины коагуляции (например, кровотечение) увеличивается частота следования импульсов, а энергия отдельных импульсов уменьшается.

Фотоомоложение кожи.

Эта неабляционная технология омоложения кожи. Неабляционное дермальное ремоделирование производится постепенно, в несколько сеансов, с минимальными косметически несущественными побочными эффектами и не требует изменений в привычном графике жизни. Основой метода является селективный фототермолиз, т. е. избирательное поглощение лазерного света верхнесосочковой дермой и имитация процесса долгозаживающей раны без косметически нежелательного повреждения эпидермиса и нижележащих слоев дермы. В результате увеличивается синтез коллагена 1 типа и упаковка его в параллельные ряды компактных фибрилл.

В настоящее время для неабляционного фотоомоложения применяются следующие световые аппараты: лазеры видимого желто-зеленого диапазона, лазеры ближнего инфракрасного диапазона и импульсные широкополосные источники света. Условно различают два типа источников излучения для фотонного ремоделирования: лазеры, воздействующие непосредственно на дерму, и лазеры, воздействующие на сосуды (не воду в дермальной ткани). Отдельно выделяют источники полихроматического излучения, воздействующие на сосуды и на кожу.

Фракционный луч оставляет микроповреждения в коже так называемые микротермальные лечебные зоны МЛЗ, которые представляют собой участки коагуляции диаметром в среднем от 70–150 мкм и глубиной до 2000 мкм (конкретные показатели зависят от конкретных характеристик воздействия и от аппарата) (Рисунок 27). Чем больше энергия лазерного микролуча, тем глубже он проникает, поскольку глубина и ширина МЛЗ коррелируют с энергией импульса, нужно выбирать энергию в зависимости от показаний к применению, зоны воздействия, типа кожи, индивидуальных реакций пациента. Площадь воздействия в среднем составляет 15–35%.

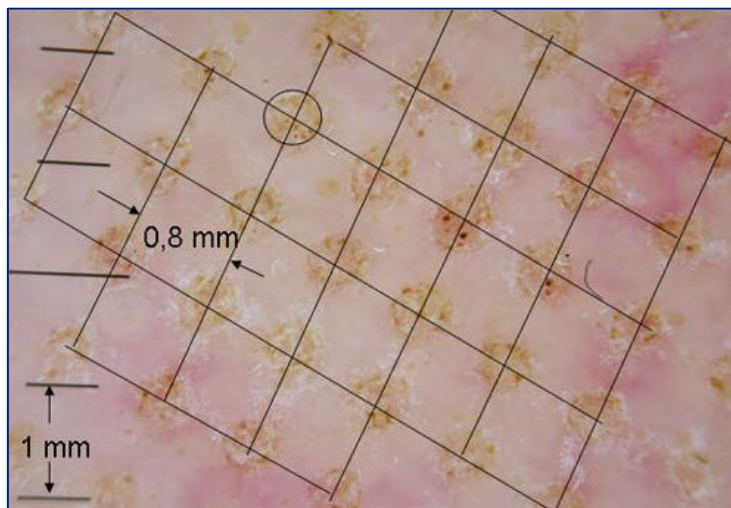


Рисунок 27 – Фотоизображение микротермальных зон на коже после обработки лазером

В среднем после одного прохода на коже остается 125-250 МЛЗ на см², за одну процедуру количество МЛЗ может быть до 2000 МЛЗ на см². При такой методике может обрабатываться от 5 до 70% поверхности кожи.

После фотокоагуляции на месте МЛЗ происходят процессы асептического воспаления, активируются белки теплового шока, в результате чего некротические частички и внеклеточных структур частично подвергаются фагоцитозу макрофагами и эвакуируются на поверхность кожи и начинаются процессы регенерации. В течение 24 часов после процедуры базальный слой эпидермиса восстанавливается и начинается отшелушивание поврежденных тканей. Проллиферативная стадия воспаления, развившаяся на месте МЛЗ включает синтез новых элементов эпидермиса и дермы, а также реорганизацию окружающего тканевого пространства. Процесс заживления отличается от того, который наблюдается при других методиках, поскольку интактные зоны содержат большое количество жизнеспособных клеток, включая эпидермальные стволовые клетки и фибробласты, и индукция внутриклеточного стресса провоцирует пролиферацию и деление этих клеток, благодаря чему появляется достаточное количество молодых фиброцитов и кератиноцитов участвующих в ремоделировании поврежденного участка. Восстановление происходит быстро, с минимальными побочными эффектами. Поскольку объем повреждения небольшой эпидермо-дермальная реэпителизация происходит достаточно быстро, что в свою очередь предупреждает инфицирование и снижает риск образования патологического рубца.

Эстетический эффект после применения фракционной абляции обусловлен эффектом подтяжки за счет непосредственного удаления определенного количества ткани и термическим эффектом, который провоцирует тканевую реструктуризацию. Процесс

восстановления после фракционного фототермолиза длится около 8 недель, процесс ремоделирования тканей может длиться до полугода. При фракционной абляции процессы могут занять от нескольких недель до года. В результате на обработанных участках кожа выглядит моложе, устраняются мелкие морщинки, улучшается цвет лица, наблюдается эффект подтяжки тканей.

Общий протокол процедуры при лазерном омоложении.

1. Первичная консультация пациента, выявление показаний/противопоказаний, составление комплексного плана лечения
2. Заполнение информированного согласия на процедуру, договора на предоставление медицинской услуги в 2 экземплярах
3. Ознакомление пациента с рекомендациями и ограничениями в постпроцедурный период
4. Очищение кожи и обработка антисептиком (в определенных случаях требуется аппликационная анестезия)
5. Проведение процедуры лазерного воздействия на требуемых параметрах и в требуемых зонах
6. Нанесение маски/специального крема/охлаждение после процедуры
7. Повтор рекомендаций

Возможные немедленные ожидаемые реакции, побочные эффекты и осложнения высокоинтенсивной лазерной терапии. Исследования показывают, что возраст, пол, географическая зона не влияют на частоту возникновения осложнений, в отличие от фототипа кожи.

Осложнения чаще всего проявляются в виде поствоспалительных гиперпигментаций. Небольшой процент осложнений в виде акнеформных высыпаний и вирусной герпетической инфекции.

Побочные эффекты являются прямым следствием лазерного воздействия и являются ожидаемыми. К побочным эффектам, связанным с травмой, относятся эритема, отек, бронзовый оттенок кожи, шелушение, повышенная чувствительность кожи, боль, зуд, сухость кожи. Выраженность этих явлений больше при абляционных методиках чем при неабляционных. При абляционных методиках мы можем наблюдать такие ожидаемые побочные как корки, точечное кровотечение, петехии, эрозии, такие реакции наблюдаются часто они быстро проходят и как правило хорошо переносятся.

При неабляционном фракционном термолизе у всех пациентов после процедуры развивается эритема, которая обычно разрешается на 3 день, 86% сообщалось о ксерозе, появляясь через 2 дня после процедуры он разрешался к 5 -6 суткам, локальный отек наблюдался у 82% пациентов, он возникал практически сразу и разрешался через 2 дня после процедуры. Шелушение возникало у 60% пациентов на 2–3 день и разрешалось к 5 дню. Зуд отмечался в 37% случаев и возникал через 3 дня от процедуры. Бронзовый оттенок имели 26% пациентов в течение 2 недель. Боль в процессе процедуры испытывали все пациенты. Рубцевание, инфекция (в том числе реактивация герпетической инфекции), дисхромия и длительная эритема не наблюдались ни у одного пациента.

Профилактика осложнений:

1. Отбор пациентов
2. Подготовительные мероприятия (исключить загар, использовать SPF, увлажнение кожи)
3. Адекватный подбор параметров
4. Профилактика герпетической инфекции (валацикловир по 1000 мг 1 раз в день 3 дня)
5. Профилактика гиперпигментации (адекватный уход, купирование воспаления, избегать инсоляции 1 месяц после процедуры, солнцезащитные крема регулярно)
6. Мягкий и адекватный уход с использованием деликатных очищающих средств и эмолиентов

2.6 Лазерные технологии коррекция рубцов

Любые нарушения целостности кожного покрова запускают механизмы репарации, направленные на закрытие раневого дефекта. Эти механизмы универсальны и состоят из нескольких стадий, тесно взаимосвязанных между собой, сразу же после травмы развиваются первые сосудистые реакции, форменные элементы выходят за пределы сосудистого русла, медиаторы воспаления привлекают в зону травмы нейтрофилы и моноциты, функция которых заключается в очищении раневой поверхности от бактерий и нежизнеспособных клеток. На поверхности раны появляются фибриновые нити, которые отграничивают рану от внешней среды. В этой стадии наблюдаются все признаки воспаления: гиперемия, отек, болезненность. Если эта фаза длительно не купируется, то возможно нарушение процессов репарации, инфицирование. Стадия пролиферации развивается в первые сутки практически через 6–8 часов после травмы, когда в зоне травмы появляются макрофаги и начинают

активно секретировать цитокины, определяющие процессы формирования новой ткани и модулирующих весь процесс заживления, который будет продолжаться от 36 часов до минимум 6-7 суток. В этой стадии начинается размножение фибробластов, синтез коллагена, неогенез. Фибробласты играют ключевую роль в образовании межклеточного матрикса, состоящего из коллагена 3 и 1 типов, эластина, фибронектина, протеогликанов. Кератиноциты начинают восстановление базальной мембраны. Если в стадию пролиферации идет избыточная или недостаточная продукция коллагена, то есть риск формирования гипертрофического или атрофического рубца. Образование рубцовой ткани — это физиологический процесс и в норме должно происходить образование плоского нормотрофического подвижного рубца. В ряде случаев происходит нарушение процессов репарации и реорганизации что ведет к развитию патологической рубцовой деформации (при фотоповрежденной коже, с выраженными инволюционными изменениями, заживление всегда может пойти не по плану, так как общий адаптационный и регенераторный потенциал снижен, увеличивается риск осложнений. Нарушение баланса между процессами репарации и разрушения с преобладанием процессов фибриллогенеза ведет к образованию гипертрофических рубцов.

В стадию реорганизации (ремоделирования) примерно с 3 недели – происходит усадка грануляционной ткани, частичная деградация коллагена, восстановление цитоархитектоники кожи. Процесс преобразования тканей может длиться до 4–5 лет по данным некоторых авторов, в это время рубец клинически изменяется от гипертрофического к нормотрофическому, число тканевых компонентов, присутствующих в рубце, в это время уменьшается.

Как правило на 10–30 сутки образуется непрочный рубец, в нем еще происходит активный синтез коллагеновых и эластических волокон, такой рубец еще остается растяжимым. В данный этап нежелательны вмешательства.

Прочный рубец формируется с 30–90 сутки (коллагеновые волокна стабилизированы, количество клеточных элементов и сосудов уменьшается и рубец становится менее яркий и заметный. Чаще всего именно в этот период при неблагоприятных исходных условиях начинается формирование гипертрофического рубца, значительное влияние здесь оказывают силы натяжения, растяжения. С 4–12 месяцев происходит окончательная трансформация рубца. В этот период происходит дальнейшее упорядочивание волокнистых структур, медленное созревание рубцовой ткани, исчезновение мелких сосудов, именно в этой стадии можно окончательно оценить качество рубца и определить возможность его коррекции.

Что влияет на процессы заживления: адекватно сведенные края раны, отсутствие натяжения, правильный уход со своевременной эвакуацией экссудата и нежизнеспособных клеток, использование качественного шовного материала,

Точные причины появления келоидов неизвестны, наиболее часто они локализуются в зоне мочки уха, шеи, грудной клетки и верхнего плечевого пояса.



Рисунок 28 – Направления коррекции рубцов

В случае свежих рубцов с выраженным сосудистым компонентом начинать терапию нужно с воздействия на сосудистый компонент рубца, 1–3 раза с интервалом в 1,5–2 месяца (Рисунок 28). В дальнейшем показана лазерная шлифовка. В ряде случаев после обработки сосудистым лазером используется внутриочаговое введение глюкокортикостероидных препаратов. Аблятивная обработка рубца производится через 8–10 недель после курса терапии импульсными лазерами.

Плоскостная шлифовка проводится до уровня кожи, чтобы снять объем, фракционные аблятивные методики – параметры зависят от толщины рубца, чем тоньше рубец, тем более легкие параметры используем, чем толще – тем глубже.

При келоидах – лечение у хирурга, консервативно с последующим применением иссечения или лазерного удаления и наблюдением в течение 2 лет.

Постпроцедурный период после коррекции рубцов:

- Сразу после абляции гипертрофических рубцов возможно внутриочаговое введение глюкокортикостероидов
- Антисептическая повязка или открытый метод

- Регенерирующие крема с 1 суток 2–3 раза в день 7–10 дней
- Избегать солнечной инсоляции не менее 1 месяца
- Альтернативная терапия (ферменты, силиконовые повязки и др.)

Общий протокол процедуры при лазерной коррекции рубцов:

Первичная консультация пациента, выявление показаний/противопоказаний, составление комплексного плана лечения

Заполнение информированного согласия на процедуру, договора на предоставление медицинской услуги в 2 экземплярах

Ознакомление пациента с рекомендациями и ограничениями в постпроцедурный период

Очищение кожи и обработка антисептиком (в определенных случаях требуется аппликационная анестезия)

Проведение процедуры лазерного воздействия на требуемых параметрах и в требуемых зонах

Нанесение маски/специального крема/охлаждение после процедуры

Повтор рекомендаций

Ожидаемый клинический эффект – улучшение состояния кожи и сглаживание рельефа.

Технологии абляции эрбиевым лазером для коррекции атрофических рубцов поставке.

Процедура фракционного пилинга (абляции) заключается в обработка всей области с атрофическими рубцами в режиме фракционного фототермолиза с плотность энергии 48 Дж/см², длительность импульса 400 мкс, количество подимпульсов в одной вспышке – 4, размер пятна 13*13 мм с общим количеством микролучей - 169, диаметр каждого микролуча 250 мкм, расстояние между микрizonaми воздействия – 700 мкм, интервал между вспышками 0,75 с, перекрытие пятна 10% – 20%, положение луча перпендикулярное обрабатываемой поверхности, разворот насадки после прохода - под углом 30° – 45° в горизонтальной плоскости, общее количество проходов обрабатываемой зоны определялось появлением легкого желто-коричневого оттенка кожи с белым напылением на фоне равномерной эритемы и появления небольшого количества серозно-геморрагического экссудата, но не менее 3 проходов (Рисунок 29, 30).

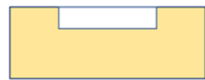


Рис. 1 Исходный рубец

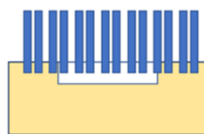


Рис. 2 Фракционная абляция, вид сбоку и вид сверху

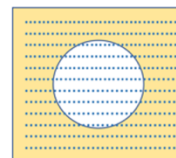


Рис. 3 Сглаживание рельефа рубца

Рисунок 29 – Схематическое представление фракционной абляции



Рис. 1А До процедуры



Рис. 1Б Сразу после процедуры



Рис. 2А До процедуры



Рис. 2Б Сразу после процедуры

Рисунок 30 – Клиническое представление фракционной абляции

Метод комбинированной лазерной терапии пациентов с атрофическими рубцами поставке с применением двух режимов абляционного эрбиевого лазера позволяет повысить эффективность коррекции атрофических рубцов у пациентов с преобладанием U-образных рубцов, по сравнению с фракционной абляцией.

Методика проведения процедуры с использованием двух режимов эрбиевого лазера:

Каждая процедура состояла из абляционной обработки краевой зоны рубцов сплошным пятном (диаметр пятна 2 мм, плотность энергии 6 Дж/см², длительность импульса 400 мкс, частота импульсов 4 – 8 Гц, в технике с перекрытием 10% – 20%, под углом 45° – 90° к поверхности, количество проходов – до появления «кровяной росы» и розового цвета эпидермиса (3 – 4 прохода), затем после однократной обработки кожи раствором 0,5% раствора хлоргексидина биглюконата либо изотоническим раствором хлористого натрия проводилась последующая обработка всей области с атрофическими рубцами в режиме фракционного фототермолиза с плотность энергии 48 Дж/см², длительность импульса 400 мкс, количество подимпульсов в одной вспышке – 4, размер пятна 13*13 мм с общим количеством микрочучей - 169, диаметр каждого микрочуча 250 мкм, расстояние между микрочучами воздействия – 700 мкм, интервал между вспышками 0,75 с, перекрытие пятна 10% – 20%, положение луча перпендикулярное обрабатываемой поверхности, разворот насадки после прохода - под углом 30° – 45° в горизонтальной плоскости, общее количество проходов обрабатываемой зоны определялось появлением легкого желто-коричневого оттенка кожи с белым напылением на фоне равномерной эритемы и появления небольшого количества серозно-геморрагического экссудата, но не менее 3 проходов (Рисунок 31).

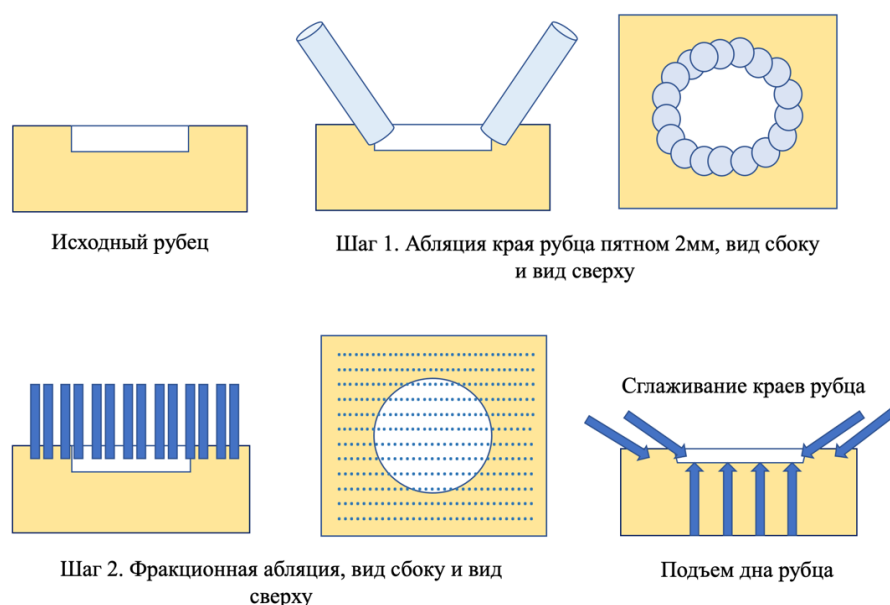


Рисунок 31 – Графическая схема представления исходного рубца, комбинированного метода его обработки и ожидаемых эффектов.

Схема комбинированной методики состояла из трех процедур, проводимых с интервалом в один месяц (Рисунок 33, 34, 35).

Перед проведением лечения пациентам с рецидивирующей герпетической инфекцией в анамнезе должны назначаться профилактическая противогерпетическая терапия по стандартным схемам за два дня до процедуры и три дня после процедуры общим курсом – пять дней. Для перорального приема рекомендуются: ацикловир по 200 мг 5 раз в сутки или валацикловир по 500 мг 2 раза в сутки.

Подготовительные манипуляции перед процедурой включают очищение кожи обрабатываемой области с применением косметического очищающего лосьона для кожи любого типа, нанесение аппликационного анестетика в виде крема, содержащего 0,025 г лидокаина и 0,025 г прилокаина в количестве 4–5 г (РУ № П N014033/01) под окклюзию пищевой полиэтиленовой пленкой с экспозицией 40 – 60 минут. Непосредственно перед выполнением процедуры топический анестетик удаляется с поверхности кожи косметическими ватными дисками смоченными 0,5 % водным раствором хлоргексидина биглюконата (РУ № ЛП-001347). Восстановительные мероприятия непосредственно после процедуры состоят в нанесении на обработанную поверхность 5,0 % мази декспантенола (РУ № ЛП-004555). В раннем восстановительном периоде (0 – 7 дней) пациентам рекомендуется в течение первых суток не смачивать обработанную зону, трижды в день наносить на зону воздействия лазером 5,0 % мазь декспантенола, со вторых суток в течение 2 дней обрабатывать зону водным раствором антисептика 0,5 % хлоргексидина биглюконата два раза в день, трижды в день наносить 5,0 % мазь декспантенола, начиная с четвертых суток использовать увлажняющий косметический крем в соответствии с типом кожи, наружные фотопротекторные средства с фактором защиты не менее SPF30.

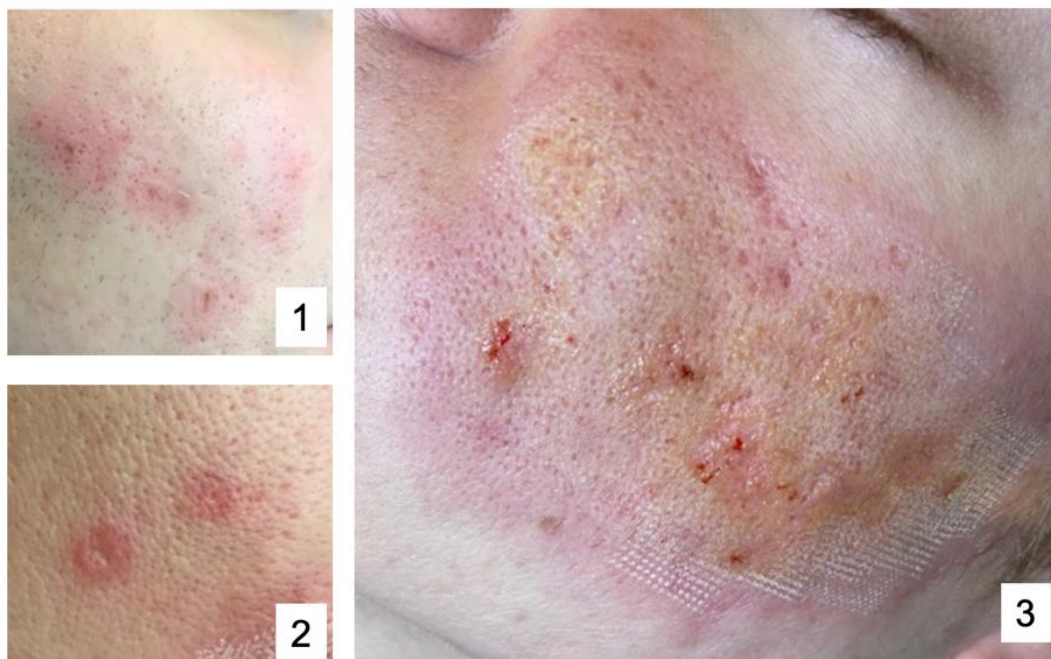


Рисунок 32 – Клиническое представление комбинированного метода

В позднем восстановительном периоде (с восьмых суток) пациентам рекомендуются косметические средства в соответствии с типом кожи с увлажняющим и питательным эффектом, солнцезащитные средства с фактором защиты не менее SPF30 на протяжении всего курса лечения.



Рисунок 33 – Состояние кожи до лечения и после лечения комбинированным методом



Рисунок 34 – Состояние кожи до лечения и после лечения комбинированным методом



Рисунок 34 – Состояние кожи до лечения и после лечения комбинированным методом

Лазерное удаление новообразований.

Преимущества лазерного удаления доброкачественных новообразований кожи представлены на рисунке 34.

Безболезненность	Минимальное травмирование окружающих тканей	Бескровность	Быстрая эпителизация места процедуры
Высокая эффективность	Возможность применения практически при всех случаях ДНО	Точность и ювелирность процедуры	Отличный эстетический эффект
Минимальное количество осложнений	Контроль глубины проникновения	Быстрота процедуры	Бесконтактный

Рисунок 34 – Преимущества лазерного удаления новообразований кожи

Лазерная деструкция особенно поверхностных образований имеет прекрасный косметический результат. Некоторые крупные, но поверхностные образования можно удалять бесследно. Особенно хороший эстетический результат удаления образований наблюдается при использовании эрбиевого лазера, из-за небольшой глубины проникновения единичной вспышки. Это особенно важно при работе в области лица шеи и декольте. Большинство лазеров работают бесконтактно, это их дополнительное преимущество.

Недостатки лазерного удаления представлены на рисунке 35.

Возможность образования рубца
Возможность нарушения пигментации в зоне удаления
Сложность контроля глубины (для CO ₂ -лазера)
Относительно высокая стоимость
Неэстетичный вид раны
Необходимость обезболивания в определенных случаях

Рисунок 35 – Недостатки лазерного удаления новообразований кожи

В случае достаточно глубоких повреждений, когда повреждается сетчатый слой кожи, например, при удалении невусов, то всегда на этом месте образуется рубец, внешний вид рубцов после лазерного удаления всегда лучше, чем после удаления электрохирургическим инструментом, хотя результат зависит от мануальных навыков и совершенства оборудования (Рисунок 36, 37).

Удаление лазером в случае небольшого поверхностного образования – малоболезненно, например, удаление множественных акрохордонов на коже шеи. Но если образование более крупное и глубоко расположенное (бородавки, невусы), то потребуется проведение инфильтрационной анестезии.

Недостатком удаления CO₂ лазером является образование коричневого струпа в процессе процедуры, который снижает визуализацию тканей.

Нежелательные реакции или осложнения:

- Воспалительная реакция (боль, отек, гиперемия)
- Инфицирование раны
- Кровотечение
- Гиперпигментация в зоне удаления
- Образование рубцов (атрофических, гипертрофических, келлоидных)
- Рецидив
- Повреждение здоровых тканей и структур
- Реактивация простого герпеса
- Аллергическая реакция на анестезию

Памятка пациенту после удаления:

- Не снимать повязку и не мочить в течение суток
- Избегать механического воздействия на область удаления
- Обработка спиртовыми растворами, либо спиртовыми салфетками, либо фукорцином или 5% раствором перманганата калия 2-3 раза в день для формирования корочки
- Корочку не снимать самостоятельно
- Заживление происходит в течение 7-10 дней
- Использование SPF 50 в течение не менее 6 недель после процедуры
- Исключить баню, солярий не менее чем на 2 недели
- Возможно применение гелей «Медерма», «Контратубекс», «Куриозин», пластыря «Мепиформ» для профилактики патологического рубцевания.



Рисунок 36 – Вид раны после удаления невуса эрбиевым лазером



Рисунок 37 – Вид раны после удаления себорейной кератомы эрбиевым лазером

Уход за раной состоит в обработке раневой поверхности спиртовыми салфетками или спиртом, 5% раствором перманганата калия или фукорцином. При большой площади раны (более 0,7- 1 см²) и/или при более глубоком удалении (глубже сосочкового слоя дермы) могут применяться повязки с мазями например «Левомеколь», порошок «Банеоцин», пластырь «Брималидин») в течение 10-14 дней до полной эпителизации. После завершения эпителизации ран требуется защита от инсоляции в течение 4-6 месяцев.

Раздел 3 Основы безопасности при работе с лазерным оборудованием

3.1 Классификация лазеров по классу опасности

Классификация лазеров по классам опасности приведена на рисунке 38.

Класс 1. Лазеры безопасные при эксплуатации

Класс 2. Лазеры, генерирующие излучение в видимом диапазоне 400-700 нм безопасные при эксплуатации

Класс 3А. Лазеры безопасные при наблюдении незащищенным глазом. Наблюдение через оптические приборы всегда опасно.

Класс 3В. Непосредственное наблюдение пучка излучения всегда опасно, при этом видимое рассеянное излучение безопасно.

Класс 4. Лазеры генерирующие опасное излучение, могут вызвать поражение кожи и глаз.

Рисунок 38 – Классы опасности медицинских лазеров

Лазерное излучение с длиной волны от 380–1400 представляет наибольшую опасность для глаз, возможны необратимые повреждения сетчатки. Лазерное излучение с длиной волны 180–380 нм и выше 1400 представляет опасность для передних сред глаза, возможно повреждение роговицы.

Лазерная терапевтическая аппаратура относится к медицинским электрическим изделиям, имеющим контакт с пациентом, поэтому к ней предъявляются требования безопасности по ГОСТ Р 50267.0-92. В зависимости от типа защиты от поражения электрическим током различают:

1) электрические изделия, питаемые от внешнего источника электрической энергии:

– изделия класса I (защита от поражения электрическим током обеспечивается не только основной изоляцией, но и дополнительными мерами безопасности,

предусматривающими средства для соединения изделия с защитным заземляющим проводом стационарной проводки таким образом, что доступные металлические части не могут оказаться под напряжением в случае нарушения основной изоляции);

- изделия класса II (защита от поражения электрическим током обеспечивается не только основной изоляцией, но и дополнительными мерами безопасности в виде двойной или усиленной изоляции и при этом отсутствует устройство для защитного заземления, или защита обеспечивается условиями установки);

2) изделия с внутренним источником питания.

В зависимости от степени защиты от поражения электрическим током различают:

- изделия типа B (обеспечивают определенную степень защиты от поражения электрическим током, в частности в отношении допустимого тока утечки);

- изделия типа BF (обеспечивают определенную степень защиты от поражения электрическим током, в частности в отношении допустимого тока утечки с рабочей частью типа F);

- изделия типа CF (обеспечивают наивысшую степень защиты от поражения электрическим током).

Изолированная рабочая часть типа F отделена от других частей изделия в такой степени, что допустимый ток утечки на пациента в условиях единичного нарушения не превышает, если напряжение, равное 1,1 наибольшего номинального сетевого напряжения, прикладывается между рабочей частью и землей.

Для потребителя важна степень неудобств, связанных с заземлением. Поэтому на практике предпочтительны изделия класса II (не требующие дополнительного заземления и позволяющие работать с обычными сетевыми розетками). С точки зрения безопасности удобны изделия типа BF, которые обеспечивают, по существу, тройную защиту от поражения электрическим током.

Независимо от выбора той или иной лазерной медицинской установки все вышеизложенное поможет в правильной эксплуатации оборудования.

Применение лазерного оборудования в косметологии производится на основании санитарных правил СП 2.1.3678-20 "Санитарно-эпидемиологические требования к эксплуатации помещений, зданий, сооружений, оборудования и транспорта, а также условиям деятельности хозяйствующих субъектов, осуществляющих продажу товаров, выполнение работ или оказание услуг" и разрешительных документов для эксплуатации (регистрационное удостоверение).

К кабинету врача-косметолога предъявляются следующие санитарно-эпидемиологические требования:

1. Оказание медицинской услуги по косметологии без нарушения целостности кожных покровов, а также с применением физиотерапевтических методов лечения, проводится в кабинете врача-косметолога (Рисунок 39, 40).

2. Предельно допустимые уровни лазерного излучения при их эксплуатации в медицинских организациях не должны превышать уровни, регламентируемые гигиеническими нормативами факторов среды обитания.

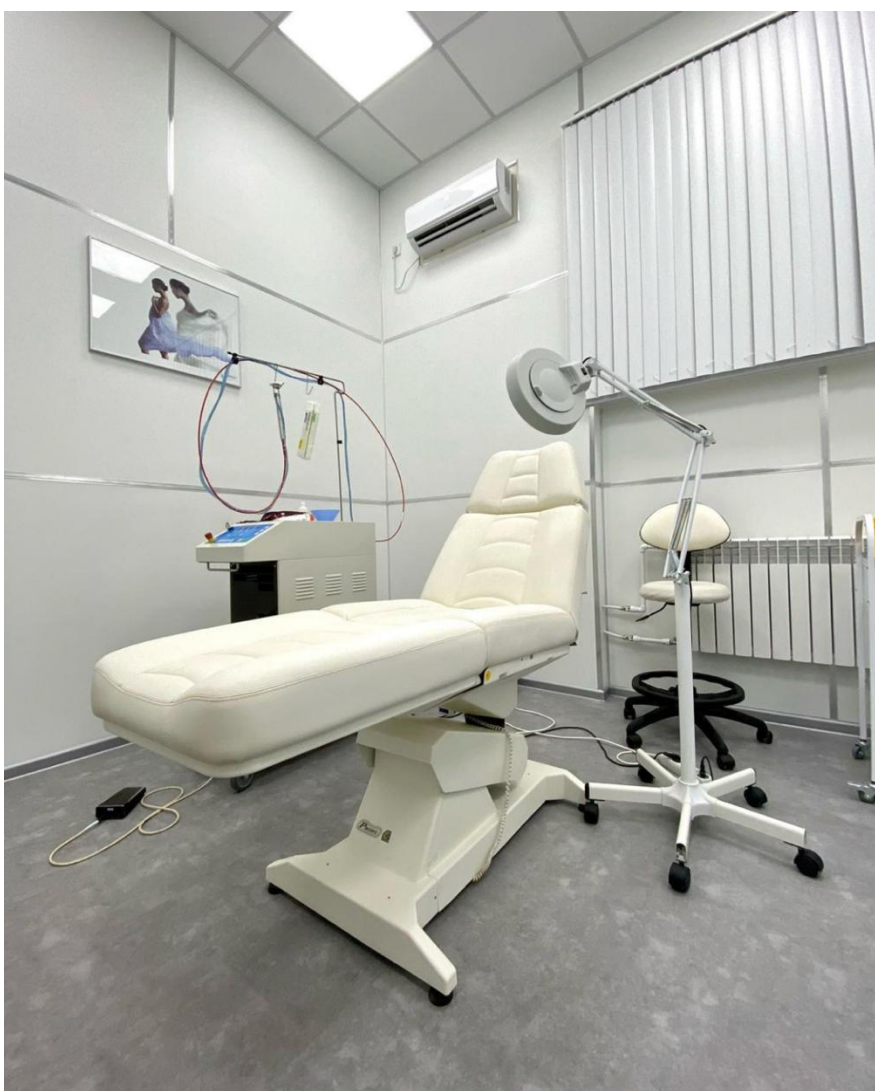


Рисунок 39 – Оснащение кабинета лазерной косметологии

3. Нагревательные приборы должны иметь поверхность, исключаящую абсорбирование пыли и устойчивую к воздействию моющих и дезинфицирующих растворов.

При устройстве ограждений отопительных приборов должен быть обеспечен свободный доступ для текущей эксплуатации и уборки.

4. Один раз в год должна проводиться проверка эффективности работы, а также очистка и дезинфекция систем механической приточно-вытяжной вентиляции и кондиционирования.

5. В асептических помещениях приток воздуха должен преобладать над вытяжкой. В помещениях инфекционного профиля вытяжка должна преобладать над притоком воздуха.

6. В рамках проведения производственного контроля организуется контроль за параметрами микроклимата и показателями микробной обсемененности воздушной среды с периодичностью не реже 1 раза в 6 месяцев и загрязненностью химическими веществами воздушной среды не реже 1 раза в год.

7. Манипуляционная, смотровая с аппаратными методами диагностики и лечения при кабинете врача-специалиста 16 м².



Рисунок 40 – Оснащение кабинета лазерной косметологии

3.2 Вредные и опасные факторы лазерного излучения и оборудования

В кабинете лазерной косметологии имеются вредные и опасные факторы производственной среды.

Физические:

Переменное напряжение 220В

Лазерное излучение. Существует возможность возгорания!

Повышенная температура среды

Шум

Вибрация

Электромагнитное поле

Биологические:

Дым с содержанием частиц биоткани

Химические:

Различные химические вещества в воздухе, летучие органические вещества

Знак лазерной опасности представлен на рисунке 41.

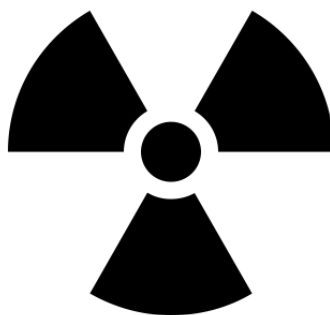


Рисунок 41 – Знак лазерной опасности

3.3 Меры для защиты пациента и врача

Знак лазерной опасности на двери кабинета со включенным табло при работе «Осторожно, работает лазер!».

Защита глаз. Очки для врача и пациента с защитой от определенного спектра длин волн, склеральные защитные линзы для пациента при работе на веке (Рисунок 32).

Отсутствие зеркал и других отражающих предметов.

Защита органов дыхания. Вентиляция, дымоотвод, СИЗ (маска, респиратор, защитный экран).

Защита кожи. Форменная одежда, одноразовые халаты, перчатки, шапочка, экран.



Рисунок 32 – Защитные очки, блокирующие разные длины волн

Таким образом, лазерные технологии являются перспективным и быстро развивающимся направлением современной эстетической медицины. Благодаря своим уникальным свойствам лазерные методы лечения имеют неоспоримые преимущества перед традиционными методами терапии, что позволяет скорректировать практически любой косметический дефект быстро, безболезненно, с минимальным реабилитационным периодом. Это, безусловно, и определяет лидирующие позиции лазерной косметологии как среди врачей, так и пациентов.

Примеры тестовых заданий для контроля

	1	Эпиляция это -
*	А	Перманентное удаление волоса с повреждение волосяного фолликула
	Б	Временное удаление волоса с повреждение волосяного фолликула
	В	Перманентное удаление стержня волоса
	Г	Перманентное удаление стержня волоса, находящегося над поверхностью
	2	Для эпиляции применяют:
*	А	Лазеры, IPL-системы
	Б	Лазеры
	В	IPL-системы
	Г	Химические препараты
	3	Укажите факторы, влияющие на выбор лазера для эпиляции:
*	А	Цвет кожи и цвет волос
	Б	Расовые особенности
	В	Национальные особенности
	Г	Тип конституции
	4	Виды лазеров для эпиляции:
*	А	Александритовый, неодимовый, полупроводниковый
	Б	Рубиновый, александритовый
	В	Александритовый, диодный
	Г	Неодимовый, рубиновый
	5	Виды эпиляции все, кроме:
*	А	Выщипывание
	Б	Лазерная
	В	Фотоэпиляция
	Г	Термолиз
	6	Наиболее безопасной лазерной системой для эпиляции при темной коже и темном цвете волос является:
*	А	Неодимовый
	Б	Александритовый
	В	Рубиновый
	Г	Полупроводниковый
	7	Количество процедур лазерной эпиляции составляет в среднем:
*	А	10-12

	Б	2-3
	В	4-5
	Г	6-8
	8	Для коррекции возрастных изменений кожи показано все, кроме:
*	А	криодеструкция
	Б	лазерная дермабразия
	В	феноловый пилинг
	Г	биоревитализация
	9	Лекарственный фотофорез
*	А	метод физиотерапии, сочетающий физикохимическое локальное воздействие высокоинтенсивного видимого красного и инфракрасного света с лекарственными средствами
	Б	метод физиотерапии, основанный на сочетанном действии на организм ультразвуковых колебаний и лекарственных веществ, проникающих через неповрежденную кожу во время воздействия ультразвуком
	В	метод физиотерапии, который заключается в одновременном воздействии на организм постоянного электрического тока и вводимых им ионов лекарственных веществ
	Г	метод физиотерапии, который заключается в одновременном воздействии на организм непостоянного электрического тока
	10	Укажите тип кожи по шкале Фитцпатрика, при котором нежелательно проводить лазерную дермабразию:
*	А	IV-VI
	Б	I
	В	II
	Г	III
	11	Метод лазерофореза в программе косметического ухода
*	А	Этап питания кожи
	Б	Демакияж
	В	Этап тонизации
	Г	Завершающий этап
	12	Противопоказание для лазерофореза
*	А	Беременность, период лактации
	Б	Мелкие морщины
	В	Мелазма
	Г	Телеангиэктазии

	13	Укажите минимальный срок после дермабразии или лазерной шлифовки кожи на лице, в течение которого следует использовать фотозащитные средства:
*	А	3 мес
	Б	6 мес
	В	12 мес
	Г	1 нед
	14	Для коррекции телеангиэктазий применяют:
*	А	Сосудистый лазер
	Б	Фракционный термолиз
	В	RF-лифтинг
	Г	Химический пилинг
	15	Для лечения гемангиомы применяют:
*	А	Сосудистый лазер
	Б	Фракционный термолиз
	В	RF-лифтинг
	Г	Химический пилинг
	16	Для лечения капиллярной ангиодисплазии применяют:
*	А	Сосудистый лазер
	Б	Фракционный термолиз
	В	RF-лифтинг
	Г	Химический пилинг
	17	Для коррекции гемангиомы ягодичной области применяют:
*	А	Сосудистый лазер
	Б	Фракционный термолиз
	В	RF-лифтинг
	Г	Химический пилинг
	18	Для коррекции телеангиэктазий ягодичной области применяют:
*	А	Сосудистый лазер
	Б	Фракционный термолиз
	В	RF-лифтинг
	Г	Химический пилинг
	19	Для коррекции «гусиных лапок» применяется все, кроме:
*	А	Лазер для эпиляции
	Б	Фракционный фототермолиз

	В	RF-лифтинг
	Г	Химический пилинг
	20	Для удаления татуировок применяют:
*	А	Комбинированные и сочетанные лазеры
	Б	Микронидлинг
	В	RF-лифтинг
	Г	Химический пилинг
	21	Противопоказание для фотодинамической терапии:
*	А	Острые воспалительные заболевания
	Б	Мелазмы
	В	Акне
	Г	Базалиома
	22	Из перечисленных наружных средств для профилактики гиперпигментаций после лазерной дермабразии используют все, кроме:
*	А	Антимикотики
	Б	Койевую кислоту
	В	Фотозащитные средства
	Г	Азелаиновую кислоту
	23	Для коррекции избыточного роста волос верхних и нижних конечностей показаны:
*	А	Депиляции, эпиляции
	Б	Эпиляция, криодеструкция
	В	Химическая эксфолиация
	Г	Мезотерапия
	24	Для коррекции стрий наиболее эффективен:
*	А	Фракционный фототермолиз
	Б	Гликолевый пилинг
	В	«Желтый» пилинг
	Г	Пилинг Джесснера
	25	Лазерная дермабразия вызывает:
	А	Фибринолиз
*	Б	Улучшение микроциркуляции
	В	Гемостаз
	Г	Ангиоспазм

	26	При фракционном фототермолизе происходит:
	А	Гемостаз
	Б	Ангиоспазм
	В	Липолиз
*	Г	Улучшение трофических процессов в тканях
	27	Противопоказание для дермабразии:
*	А	Беременность, период лактации
	Б	Мелкие морщины
	В	Мелазма
	Г	Телеангиэктазии
	28	Аппаратные методы, применяемые для волосистой части головы:
*	А	Лазеротерапия
	Б	Микротоковая терапия
	В	Термотерапия
	Г	Фракционная фототермолиз
		RF-термолифтинг

Список литературы

1. Дерматология Фицпатрика в клинической практике. В 3 томах. Т. 1 / Л. А. Голдсмит [и др.] ; под общ. ред. Н. Н. Потекаева, А. Н. Львова ; науч. ред. пер. В. П. Адаскевич, Д. В. Романов ; пер. с англ. А. В. Миченко [и др.]. – изд. 2-е, исп., перер., доп. – Москва : Издательство Панфилова, 2015. – 1143 с. – ISBN 978-5-91839-060-3.2.
2. Дерматология Фицпатрика в клинической практике. В 3 томах. Т. 2 / Л. А. Голдсмит [и др.] ; под общ. ред. Н. Н. Потекаева, А. Н. Львова ; науч. ред. пер. В. П. Адаскевич, Д. В. Романов ; пер. с англ. А. В. Миченко [и др.]. – изд. 2-е, исп., перер., доп. – Москва : Издательство Панфилова, 2016. – 1216 с. – ISBN 978-5-91839-061-0.
3. Дерматология Фицпатрика в клинической практике. В 3 томах. Т. 3 / Л. А. Голдсмит [и др.] ; под общ. ред. Н. Н. Потекаева, А. Н. Львова ; науч. ред. пер. В. П. Адаскевич, Д. В. Романов ; пер. с англ. А. В. Миченко [и др.]. – изд. 2-е, исп., перер., доп. – Москва : Издательство Панфилова, 2018. – 1072 с. – ISBN 978-5-91839-062-7.
4. Игошина, А. В. Лазерные технологии в коррекции рубцов постакне / А. В. Игошина, В. В. Бондаренко, Н. В. Грязева // Фарматека. – 2019. – Т. 26. – № 8. – С. 53–58. – DOI: 10.18565/pharmateca.2019.8.53-58.
5. Карабут, М. М. Фракционный лазерный фототермолиз в лечении кожных дефектов: возможности и эффективность (обзор) / М. М. Карабут, Н. Д. Гладкова, Ф. И. Фельдштейн // Современные технологии в медицине. – 2016. – Т. 8. – № 2. – С. 98–108. – DOI: 10.17691/stm2016.8.2.14.
6. Конькова, М. А. Комплексная восстановительная терапия признаков фотостарения / М. А. Конькова, А. Г. Стенько // Физиотерапевт. – 2019. – № 6. – С. 30–36.
7. Королькова, Т. Н. Сравнительный анализ эффективности средств для регенерации лазерной раны / Е.Н. Королькова, М.А. Игнатюк, И. А. Шепилова [и др.] // Клиническая дерматология и венерология. – 2020. – Т. 19. – № 1. – С. 105–112.
8. Коррекция атрофических рубцов кожи лица методом фракционной абляции = Correction of atrophic skin scars using fractional ablation / Н. Б. Корчажкина, О. Б. Шептий, Л. С. Круглова [и др.] // Экспериментальная и клиническая дерматокосметология. – 2011. – № 3. – С. 15–20.
9. Круглова, Л. С. Акне и симптомокомплекс постакне: клиническая картина и методы терапии / Л. С. Круглова, А. М. Талыбова, М. М. Глузмина // Кремлевская медицина. Клинический вестник. – 2018. – № 1. – С. 21–26.

10. Круглова, Л. С. Влияние постпроцедурного ухода на эффективность восстановления кожи и коррекцию побочных эффектов после косметологических процедур / Л. С. Круглова, Е. В. Иконникова, М. А. Авагумян // Медицинский совет. – 2021. – № 12. – С. 340–346.
11. Курганская, И. Г. Современные комбинированные технологии высокоинтенсивной лазеротерапии патологических рубцов кожи / И. Г. Курганская // Известия Российской военно-медицинской академии. – 2020. – Т. 39. – № S3-5. – С. 66–70.
12. Лечение осложнений косметических процедур: решение типичных и редких проблем / под ред. А. Тости, К. Беера, М. П. де Падовы ; пер. с англ. [В. П. Адаскевич] ; под общ. ред. Я. А. Юцковской. – Москва : МЕДпресс-информ, 2014. – 142 с. – ISBN 78-5-00030-140-1.
13. Симонова, Н.В. Современные лазерные технологии в коррекции атрофических рубцов постакне / Н. В. Симонова и др. // Вестник Уральского государственного медицинского университета. – 2021. – Т.55. – №4. – С. 20–21.
14. Управление постпроцедурным периодом в косметологии - профилактика осложнений и сокращение сроков реабилитации / М. Н. Острцова, А. Корневская, Е. И. Касихина [и др.] // Медицинский совет. – 2022. – Т. 16., № 3. – С. 80–87.
15. Юсова, Ж. Э. Клиническая эффективность селективных аблятивных лазерных методов в коррекции эстетических недостатков кожи / Ж. Э. Юсова, Е. Л. Баранова, Л. С. Круглова // Физиотерапевт. – 2019. – № 5. – С. 10–14.
16. Ansari F. The clinical effectiveness and cost-effectiveness of fractional CO2 laser in acne scars and skin rejuvenation: a meta-analysis and economic evaluation / F. Ansari, F. Sadeghi-Ghyassi, B. Yaaghoobian // J Cosmet Laser Ther. – 2018. – Vol. 20, № 4. – P. 248–251. – DOI: 10.1080/14764172.2017.1400173.
17. Efficacy and safety of a single treatment using a 10,600 nm carbon dioxide fractional laser for mild-to-moderate atrophic acne scars in Asian skin / P. F. Hsiao, Y. C. Lin, C. C. Huang, Y. H. Wu // Dermatologi Sinica. – 2013. – Vol. 31, № 2. – P. 59–63. – DOI: 10.1016/j.dsi.2012.09.009.
18. Energy-based devices for the treatment of acne scars: 2021 international consensus / F. Salameh, P. R. Shumaker, G. J. Goodman [et al.] // Lasers Surg Med. – 2021. – Vol. 54, № 1. – P. 10–26. – DOI: 10.1002/lsm.23484.
19. Fractional lasers in dermatology – current status and recommendations / A. Goel1, D. S. Krupashanka, S. Aurangabadkar [et al.] // Indian J Dermatol Venereol Leprol. – 2011. – Vol. 77, № 3. – P. 369–379. – DOI: 10.4103/0378-6323.79732.

20. Fractional photothermolysis: a new concept for cutaneous remodeling using microscopic patterns of thermal injury / D. Manstein, G. S. Herron, R. K. Sink [et al.] // *Lasers Surg Med.* – 2004. – Vol. 34, № 5. – P. 426–438. – DOI: 10.1002/lsm.20048.

21. Pozner. J. N. Laser Resurfacing: Full Field and Fractional / J. N. Pozner, B. E. DiBernardo // *Clin Plast Surg.* – 2016. – Vol. 43, № 3. – P. 515–525. – DOI: 0.1016/j.cps.2016.03.010.

22. Verma, N. Ablative Laser Resurfacing / N. Verma, S. Yumeen, B.S. Raggio. – StatPearls [Internet]. – 2021. – URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK557474/?report=printable> (дата обращения 12.04.2022).

23. Which type of atrophic acne scar (ice-pick, boxcar, or rolling) responds to nonablative fractional laser therapy? / K. Sardana, M. Manjhi, V. K. Garg, V. Sagar // *Dermatol Surg.* – 2014. – Vol. 40, № 3. – P. 288–300. – DOI: 10.1111/dsu.12428.

Список сокращений

<i>АРП</i>	атрофические рубцы постакне
<i>ВИЛИ</i>	высокоинтенсивное лазерное излучение
<i>ВТР</i>	время термической релаксации
<i>ЛИ</i>	лазерное излучение
<i>ЛШ</i>	лазерная шлифовка
<i>НИЛИ</i>	низкоинтенсивное лазерное излучение
<i>НЛФ</i>	неабляционный лазерный фототермолиз
<i>РУ</i>	регистрационное удостоверение
<i>ФЛП</i>	фракционный лазерный пилинг
<i>CO₂</i>	диоксид углерода, газ оптической среды лазера
<i>Er:YAG</i>	erbium-doped yttrium aluminium garnet, алюмо-иттриевый гранат, легированный эрбием, кристалл оптической среды лазера
<i>SPF</i>	sun protection factor, фактор солнечной защиты

Учебное издание

Уфимцева Марина Анатольевна,
Бочкарев Юрий Михайлович,
Вишневская Ирина Федоровна
и др.

**Лазерные технологии в коррекции
эстетических недостатков кожи**

Публикуется в авторской редакции

*Электронное сетевое издание размещено
в научном архиве УГМУ <http://elib.usma.ru/>*

Уральский государственный медицинский университет
Редакционно-издательский отдел УГМУ
620028, Екатеринбург, Репина, 3
Тел.: +7 (343) 214-85-65
E-mail: rio@usma.ru