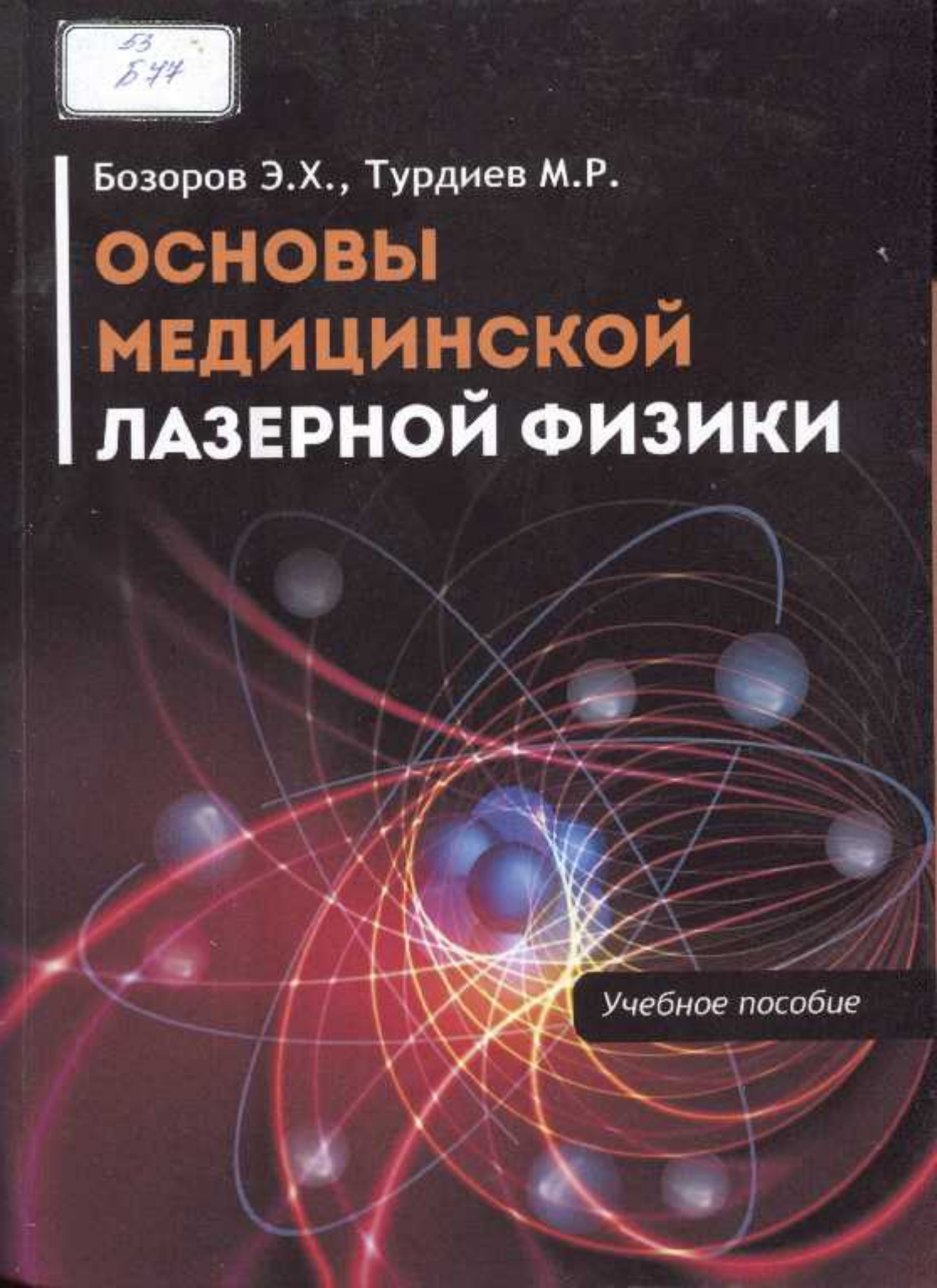


53
Б44

Бозоров Э.Х., Турдиев М.Р.

ОСНОВЫ МЕДИЦИНСКОЙ ЛАЗЕРНОЙ ФИЗИКИ

Учебное пособие

The background of the cover features a complex, abstract graphic. It consists of numerous overlapping elliptical orbits in shades of red, blue, and yellow. Scattered throughout these orbits are several semi-transparent spheres, some in blue and others in a lighter, greyish-blue. The overall effect is reminiscent of a stylized atomic model or a celestial system, with a bright yellow and orange light source or intersection point near the center.

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
УЗБЕКИСТАН

БУХАРСКИЙ ИНЖЕНЕРНО – ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ

Бозоров Э.Х., Турдиев М.Р.

**ОСНОВЫ
МЕДИЦИНСКОЙ
ЛАЗЕРНОЙ ФИЗИКИ**
(учебное пособие)

БУХАРА-2022
ИЗДАТЕЛЬСТВО «ДУРДОНА»

54.54я73

616:544.538(075.8)

Б 77

Бозоров Э.Х.

Основы медицинской лазерной физики. [Текст] : Учебное пособие / Бозоров Э.Х. Турдиев М.Р. – Бухара «Дурдона» Издательство, 2022.

ББК 54.54я73

УДК 616:544.538(075.8)

Данное учебное пособие служит программным руководством при формировании представлений о применении лазерных лучей во всех областях медицины, о сущности содержания, теоретических знаний на пути построения их физической модели для решения задач, возникающих по специальности, которую студенты будут осваивать в дальнейшем.

Учебное пособие состоит из 10 глав и предназначено для студентов физических факультетов и направления медицинских вузов.

При написании учебного пособия также использованы материалы из классических изданий – книг по лазерной физике, лазерной технологиям, некоторых оригинальных публикаций. Также использованы современные интернет-материалы по тематике данного учебного пособия – электронные книги, тематические курсы лекций ведущих университетов, что по мнению авторов облегчает доступ и восприятие его содержания. Список вышеперечисленных использованных, а также некоторых других материалов, которые могут быть полезными читателю, приведены в конце книги.

Учебное пособие дает базовые знания для бакалавров, магистрантов и докторантов физических, медицинских и технических высших учебных заведений, специализирующихся в области лазерных технологий. Он может быть также полезен и для подготовки специалистов, работающих в смежных областях науки и производства.

Учебное пособие написано в рамках инновационного проекта № АМ-ПЗ-2019062031 «Создание мультимедийных учебников для бакалавров и магистров по дисциплинам “Ядерная энергетика”, “Ядерная медицина и технология”, “Радиационная медицина и технология”».

Данное учебное пособие разрешено к изданию приказом Министерства высшего и среднего специального образования от 18 августа 2021 года № 356. Регистрационный номер 356/7-509

Рецензенты

О.Р.Тешаев – д.м.н., проф., Кафедра госпитальной хирургии
Ташкентской медицинской академии

М.З.Шаринов – д.ф.м.н., Проректор по научной работе и
инновации БИТИ

84006

ISBN 978-9943-7699-1-5

© Бозоров Э.Х., Турдиев М.Р.

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ 6

ВВЕДЕНИЕ 8

ГЛАВА 1. ЛАЗЕР. ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ

1.1. История создания лазера 11

§ 1.2. История лазерной медицины 21

ГЛАВА 2. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ ЛАЗЕРОВ

§2.1. Устройство лазера 26

§ 2.2. Принцип действия лазеров 31

§ 2.3. Классификация лазеров 36

§ 2.4. Особенности лазерного излучения 39

§ 2.5. Физические свойства лазерного излучения 40

§ 2.6. Биологическое действие лазерного излучения 46

§ 2.7. Пути реализации фотобиологических процессов в биотканях 49

ГЛАВА 3. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРАКТИКЕ ДЕРМАТОЛОГА И КОСМЕТОЛОГА

§ 3.1. Эффекты воздействия лазерного излучения на кожу 56

§ 3.3. Лечение воспалительных заболеваний лица лазером 74

ГЛАВА 4. ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРОВ В ФЛЕБОЛОГИИ

§ 4.1. Типы лазеров, используемые для лечения ВРВ 80

§ 4.2. Лазеры применяемые в флебологии 90

§ 4.3. Эпидовазальная лазерная облитерация 97

§ 4.4. Трансдермальное использование лазеров для лечения варикозной болезни 101

ГЛАВА 5. ЛАЗЕРНАЯ ОСТЕОПЕРФОРАЦИЯ

5.1. § Общее понятие о лазерной остеоперфорации 107

§ 5.2. Фармакодинамика. Фармакокинетика 127

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

§ 5.3 Понятия о режимах, дозах, времени воздействия.....	136
--	-----

ГЛАВА 6. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ЛАЗЕРНОЙ ТЕРАПИИ

§ 6.1. Наружные методы лазерной терапии.....	146
§ 6.2. Местное воздействие.....	147
§ 6.3. Лазерная акупунктура.....	153
§ 6.4. Воздействие на зоны захарьина гела (дерматомы).....	162
§ 6.5. Воздействие на паравертебральные зоны.....	163
§ 6.6. Воздействие на проекции внутренних органов.....	164
§ 6.7. Транскраниальная методика лазерной терапии.....	165
§ 6.8. Воздействие на проекции иммунокомпетентных органов.....	174
§ 6.9. Внутриполостные методы лазерной терапии.....	176
§ 6.10. Надвешное (надсосудистое, неинвазивное, чрескожное, транскутанное) лазерное освечение крови.....	177
§ 6.11. Внутривенное лазерное освечение крови (ВЛОК).....	185
§ 6.12. Методика комбинированная, ВЛОК-523 + ЛУФОК (базовая).....	186
§ 6.13. Показания и противопоказания для назначения лазерной терапии.....	187
§ 6.14. Диагностические возможности голографии.....	192

ГЛАВА 7. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ФОТОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕРАПИИ В ОНКОЛОГИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ

§ 7.1. Понятие фотохимической реакции.....	194
§ 7.2. Виды фотосенсибилизаторов.....	198
§ 7.3. Виды низкоэнергетических лазеров.....	202
§ 7.4. ФДТ и ФД в онкологии.....	206

ГЛАВА 8. ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРОВ В ПРОКТОЛОГИИ

§ 8.1. Геморрой.....	212
----------------------	-----

§ 8.2. Лазерная геморройдектомия.....	221
---------------------------------------	-----

ГЛАВА 9. ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЛАЗЕРОВ В РАЗЛИЧНЫХ ОБЛАСТЯХ МЕДИЦИНЫ

§ 9.1. Лазерные технологии в стоматологии.....	225
§ 9.2. Лазерные технологии в офтальмологии.....	241
§ 9.3. Лазерная сварка тканей.....	249

ГЛАВА 10. ОБЗОР ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ПРИМЕНЕНИЯ ЛАЗЕРОВ В МЕДИЦИНЕ УЗБЕКИСТАНА

§ 10.1. Лазерная диагностика.....	255
§ 10.2. Лазерная терапия.....	265
§ 10.3. Фотодинамическая терапия.....	270
§ 10.4. Основные типы лазеров, применяющихся в медицине.....	277
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.....	280
ТЕСТОВЫЕ ВОПРОСЫ.....	284
ГЛОССАРИЙ.....	291
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	301

ПРЕДИСЛОВИЕ

Слово «лазер» теперь хорошо известно и неспециалисту, который буквально окружен применениями лазерного света, в области медицины (хирургия и диагностические процедуры), телекоммуникации (волоконно-оптические линии связи, запись и воспроизведение информации на компакт-дисках, голограммы), а также в технологии (сверление, резка и сварка материалов лазерным излучением, геодезические измерения, печатание газет).

Лазеры имеют разную конфигурацию, размеры и стоимости, а также названия, такие как рубиновый (созданный первым), гелий-неоновый, аргоновый, полупроводниковый и др. Несмотря на их популярность, мало кто из людей по-настоящему знает, что собой представляет лазер и как он действует. Как создать лазеры, принципы их действия (вместе с мазерами, работающими в радиодиапазоне. Можно узнать в этом разделе.

Лазер является источником света с особыми свойствами, радикально отличающимися от обычных источников, таких как свеча или лампочка. Свет лазера одного цвета и испускается в одном направлении. Это позволяет нам собирать его линзой и фокусировать в область очень малых размеров. Спектральная чистота и направленность лазерного света сильно улучшают эффективность этой процедуры, позволяя концентрировать значительную мощность в малой области, что важно для различных операций, таких как плавление или резка металла.

Лазер в основном используется как очень мощная лампа. Наиболее важными характеристиками лазера являются спектральная ширина полосы и угловая апертура испускаемого пучка. Мы обсудим различные механизмы излучения, а

именно, спонтанное излучение — доминирующий процесс для всех естественных источников, и стимулированное излучение — процесс, порождающий свет лазера и ответственный за его особые характеристики.

Для того, чтобы объяснить различные явления согласно исторической последовательности, проследим историю света и первые шаги квантовой механики.

ВВЕДЕНИЕ

Применение лазеров в медицине принципиально отличается от других многочисленных областей технологических применения лазеров. Лазерные медицинские технологии отличаются гуманистической направленностью. Если проблема здоровья стоит достаточно остро для самого человека или его близкого, то проблемы медицины становятся неизмеримо важнее любых других проблем.

Лазерные медицинские технологии отличаются многоплановостью, комплексностью, разнообразием. Лазерная медицина включает воздействие лазерного излучения на различные части тела: кожа, кости, мышцы, жировые ткани, сухожилия, внутренние органы, глаза, зубные ткани и т. п. В зубной полости можно отдельно рассматривать эмаль, дентин, пульпу. В коже – роговой слой, эпидермис, дерму. Эти ткани имеют свои свойства, как оптические (спектральные характеристики, коэффициент отражения, глубина проникновения излучения), так и теплофизические (теплопроводность, теплоемкость), отличные от свойств других биотканей. Поэтому различается и характер воздействия на них лазерного излучения. В каждом случае необходимо выбирать индивидуальные параметры режима облучения: длину волны, длительность воздействия, мощность, частоту следования импульсов и т.п. Сильное различие свойств биотканей делает возможным специфические воздействия, например, чрескожное воздействие на патологические ткани (облучение подкожных тканей без существенного повреждения кожи).

Каждая ткань в силу своей биологической природы неоднородна, имеет сложную микроструктуру. В состав мягких

тканей входит значительное количество воды. В состав костей входят различные минералы. Следствием этого является тот факт, что воздействие излучения на ткани, в особенности разрушающее, хирургическое, для разных тканей и длин волн излучения различается не только количественно, но и качественно. Это означает, что существует несколько совершенно различных механизмов удаления биологических тканей: тепловой и низкоэнергетический коагуляционный с последующей резорбцией, взрывные механизмы, «холодная» абляция.

Для осуществления терапевтического воздействия на определенную часть тела лазерное воздействие может быть направлено совсем на другой объект. Здесь показательным является лазерная терапия, когда облучение крови, особых точек или проекций органов на коже человека (зоны Захарьина – Геда), стопе или ладони, области позвоночника оказывает воздействие на внутренние органы, весьма удаленные от области воздействия, и на весь организм в целом.

Поскольку организм представляет собой единое целое, результат воздействия продолжается очень долго после его окончания. После лазерной операции реакция организма продолжается в течение дней, недель и даже месяцев.

Такая сложность и комплексность лазерной медицины делает ее очень интересной для исследования и разработки новых технологий. Основными особенностями лазерного излучения в применении к лазерной медицине являются:

- направленность, монохроматичность, когерентность, определяющие возможность локализации энергии,
- широкий спектральный диапазон существующих лазеров (это особенно важно в том случае, когда поглощение носит резонансный характер),
- возможность в широких пределах управлять длительностью воздействия (существующие лазеры обеспечивают

длительность воздействия от фемтосекундного диапазона до непрерывного воздействия),

- возможность плавного изменения в широких пределах интенсивности воздействия, – возможность изменения частотных характеристик воздействия,

- широкие возможности оптического управления процессами, в том числе, возможность организации обратной связи,

- широкий спектр механизмов воздействия: тепловой, фотохимический, сугубо биофизический, химический,

- простота доставки излучения,

- возможность бесконтактного воздействия, что обеспечивает стерильность,

- возможность проведения бескровных операций, связанная с тепловым и, следовательно, коагуляционным действием излучения.

Лазер представляется исключительно точным, универсальным и удобным в использовании инструментом и имеет большой потенциал для медицинских применений в будущем.

ГЛАВА 1. ЛАЗЕР. ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ

§ 1.1. История создания лазера

§ 1.2. История лазерной медицины

1.1. История создания лазера

В 1900 году немецкий ученый Макс Планк открывает элементарную порцию энергии – квант и теоретически описывает связь энергии кванта с частотой электромагнитного излучения, вызвавшей его появление. Спустя 8 лет в 1908 г за свое открытие он получает Нобелевскую премию. Альберт Эйнштейн доказывает теорию дискретности света.

В 1917 году Эйнштейн формулирует теорию «Вынужденного излучения», которая описывает возможность создания условий, при которых электроны одновременно излучают свет одной длины волны: описал теоретическую возможность создания некоего управляемого электромагнитного излучателя, названного впоследствии лазером.



Рис.1.1. Эйнштейн (1917 год). Теорию «Вынужденного излучения»

Только через 34 года идея Эйнштейна из теории начала превращаться в реальность. В 1951 году профессор Колумбийского университета Чарльз Таунс решает использовать теорию «вынужденного излучения» для создания реального

действующего прибора. В 1954 году он со своими единомышленниками Гербертом Цайгером и Джеймсом Гордоном на практике реализует свой замысел, представив на суд обществу – первый в мире реально работающий лазер.

Прибор генерировал очень тонкий луч света на частоте 100 Тц мощностью 10 нВт. По сегодняшним меркам это немного, но тогда это был настоящий прорыв в оптоэлектронике.

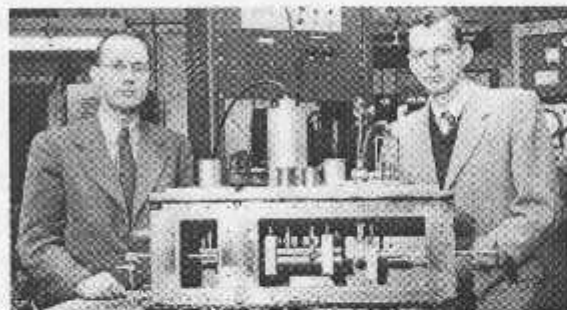


Рис.1.2. Чарльз Таунс (слева) — изобретатель лазера, получивший Нобелевскую премию вместе советскими учеными А. Прохоровым и Н. Басовым

Спустя год в 1955 году советские ученые Александр Прохоров и Николай Басов из Института физики Академии наук СССР совершенствуют конструкцию мазера, изменяя метод накачки электронов. В 1964 году они вместе с Таунсом получают за свои открытия Нобелевскую премию. В 1956 году американский ученый Николас Блумберген из Гарвардского университета разрабатывает твердотельный мазер. До этого существовали только газовые.



Рис.1.3. Профессор Ч. Таунс в гостях у академика Н. Г. Басова

Что касается самого названия, то впервые термин «лазер» упоминает в своих научных работах выпускник Колумбийского университета и коллега по научным изысканиям Чарльза Таунса – Гордон Гуд. Это произошло в 1957 году. Почему такое изменение? Дело в том, что первые мазеры работали не в оптическом диапазоне и были невидимы для человеческого глаза. Таунс же разработал конструкцию оптического светогенерирующего прибора, а Гуд ввел понятие «лазер» и нотариально заверил право первого, кто описал принцип работы этого прибора.



Рис.1.4. Первый советский рубиновый лазер, созданный в ФИАНе

В 1960 году американский физик Теодор Мейнман создает первый в мире лазер, который работает на кристалле драгоценного камня – рубине. Позже этот тип лазеров стали называть «рубиновыми», и они достаточно долгое время были самыми широко распространенными. Чуть позже в этом же году в ноябре месяце компания IBM представила свой

твердотельный лазер, использующий технологию 4-уровневой накачки.



Рис.1.5. Создатель лазера академик Александр Михайлович Прохоров

Первое коммерческое использование лазера произошло в 1961 году. Тогда на рынке работало уже несколько компаний, разрабатывающих и производящих подобные оптические приборы. В 1962 году был впервые использован рубиновый лазер. С его помощью сваривались швы на корпусе наручных часов.



Рис.1.6. Американский физик, обосновавший возможность создания лазера, Нобелевский лауреат Артиур Леонард Шавлов

Первый полупроводниковый лазер был создан в 1962 году в компании General Electric. Его разработчиком стал инженер Ник Холоньяк.



Рис.1.7. Отцом светодиодной технологии в нынешнем ее понимании стал Ник Холоньяк

Лазерная техника получила бурное развитие. Появились: газовые, газодинамические, химические лазеры, лазеры на свободных электронах, волоконные и другие.

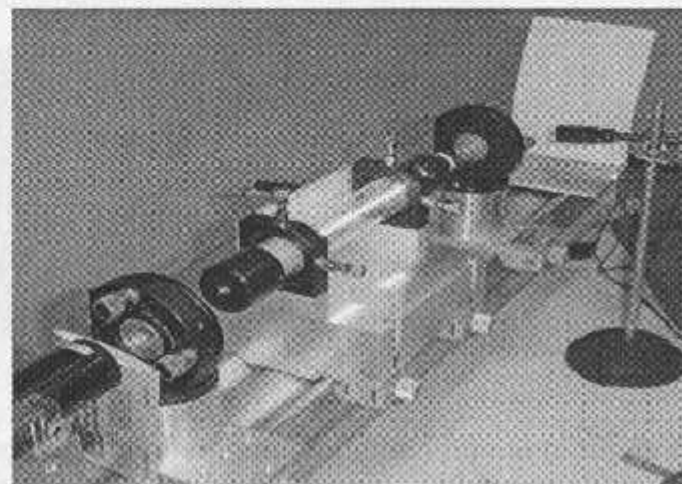


Рис.1.8. Гелий-неоновый лазер

С момента своего изобретения лазеры зарекомендовали себя как «готовые решения ещё неизвестных проблем». В силу уникальных свойств излучения лазеров, они широко применяются во многих отраслях науки и техники, а также в быту.

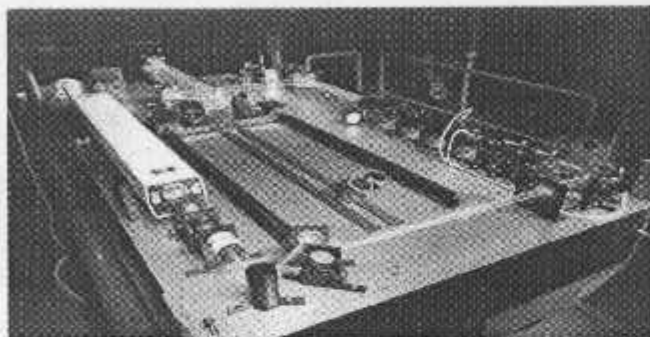


Рис.1.9. Лазеры широко применяются во многих отраслях науки и техники

Лазеры широко применяются в научных измерениях и экспериментах. Они позволяют создать высокую точность там, где это требуется.

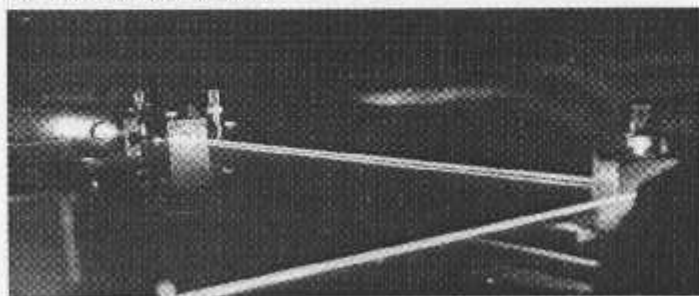


Рис.1.10. Лазеры широко применяются в научных измерениях и экспериментах

Современные источники лазерного излучения дают в руки экспериментаторов монохроматический свет с практически любой желаемой длиной волны. В зависимости от по-

ставленной задачи это может быть, как непрерывное излучение с чрезвычайно узким спектром, так и ультракороткие импульсы длительностью вплоть до сотен аттосекунд ($1 \text{ ас} = 10^{-18}$ секунды).

Высокая энергия, запасенная в этих импульсах, может быть сфокусирована на исследуемый образец в пятно, сравнимое по размерам с длиной волны, что дает возможность исследовать различные нелинейные оптические эффекты. С помощью перестройки по частоте осуществляются спектроскопические исследования этих эффектов, а управление поляризацией лазерного излучения позволяет проводить когерентный контроль исследуемых процессов.

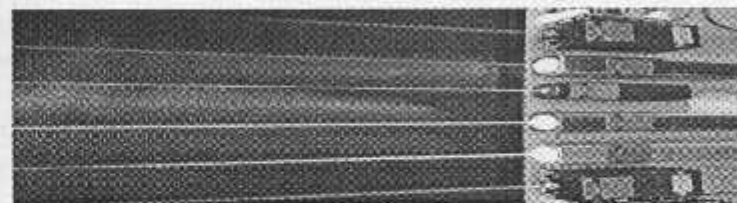


Рис.1.11. Лазерные принтеры и лазерные проигрыватели компакт дисков

Лазеры применяются в информационной сфере. Лазерные принтеры и лазерные проигрыватели компакт дисков прочно вошли в наш обиход.

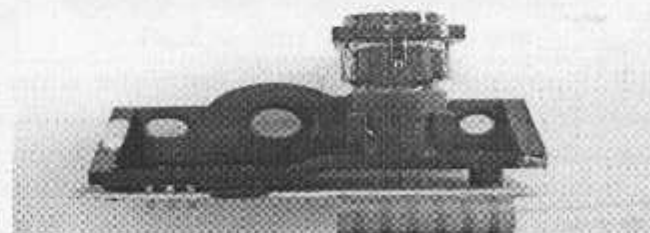
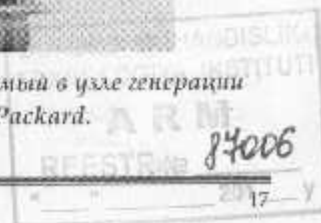


Рис.1.12. Полупроводниковый лазер, применяемый в узле генерации изображения принтера Hewlett-Packard.



Лазеры используются в связи, в том числе и космической.



Рис.1.13. Использование лазеров в космосе

Большой размах получило лазерное сопровождение музыкальных представлений (так называемое «лазерное шоу»).



Рис.1.14. Использование лазеров в музыке и выступлениях

Лазер используется в строительстве. Лазерные уровни, угломеры и линейки позволяют делать замеры с большой точностью.



Рис.1.15. Лазеры используются в строительстве

Лазерная резка металла — технология резки и раскрой материалов, использующая лазер высокой мощности и обычно применяемая на промышленных производственных линиях. Сфокусированный лазерный луч, обычно управляемый компьютером, обеспечивает высокую концентрацию энергии и позволяет разрезать практически любые материалы независимо от их теплофизических свойств. В процессе резки, под воздействием лазерного луча материал разрезаемого участка плавится, возгорается, испаряется или выдувается струей газа.

При этом можно получить узкие резы с минимальной зоной термического влияния. Лазерная резка отличается отсутствием механического воздействия на обрабатываемый материал, возникают минимальные деформации, как временные в процессе резки, так и остаточные после полного остывания. Вследствие этого лазерную резку, даже легкодеформируемых и нежестких заготовок и деталей, можно осуществлять с высокой степенью точности.



Рис.1.16. Лазерная резка металла

Лазеры широко применяются в медицине. С появлением промышленных лазеров наступила новая эра в хирургии. При этом пригодился опыт специалистов по лазерной обработке металла. Приваривание лазером отслоившейся сетчатки глаза — это точечная контактная сварка; лазерный скальпель — автогенная резка; сваривание костей — стыковая сварка плавлением; соединение мышечной ткани — тоже контактная сварка.



Рис.1.17. Применение лазеров в области глаз

С середины 50-х годов XX века в СССР осуществлялись широкомасштабные работы по разработке и испытанию лазерного оружия высокой

мощности, как средства непосредственного поражения целей в интересах стратегической противокосмической и противоракетной обороны. Среди прочих были реализованы программы «Терра» и «Омега». Испытания лазеров осуществлялись на полигоне Сары-Шаган (ПВО, ПРО, ПКО, СККП, СПРН) в Казахстане.

В середине марта 2009 года американская корпорация Northrop Grumman объявила о создании твердотельного электрического лазера мощностью около 100 кВт. Разработка данного устройства была произведена в рамках программы по созданию эффективного мобильного лазерного комплекса, предназначенного для борьбы с наземными и воздушными целями.



Рис.1.18. Также используются лазерные дальномеры и целеуказатели

Также лазеры применяются в быту. Лазерные указки, считыватели штрих кодов и тому подобная техника успела завоевать популярность.

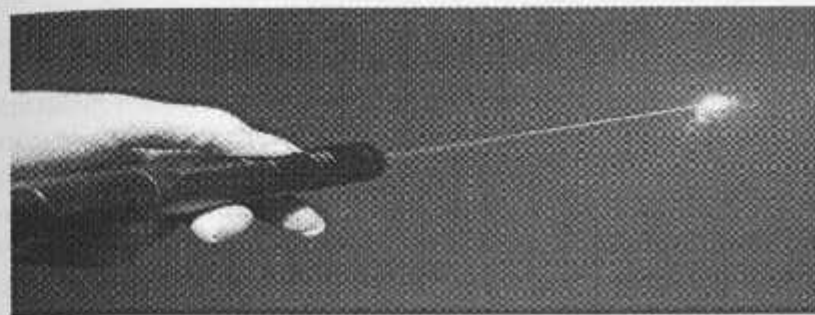


Рис.1.19. Лазерные указки

§ 1.2. История лазерной медицины

Развитию лазерной медицины предшествовали длительные исследования по разработке лазерных медицинских аппаратов и изучению механизмов взаимодействия лазерного излучения с биологическими тканями. В 1962-64 гг. началось интенсивное использование указанной лазерной техники в медицине, в основном, в онкологии, офтальмологии и некоторых областях хирургии.

Заметный прогресс лазерной хирургии встал возможным благодаря созданию в 1964 году углекислотного лазера — Скальпель-1.

В 1978 году была создана первая в стране лазерная группа, основной задачей которой являлась проведение экспериментальных исследований для выяснения возможности применения высокоэнергетического лазерного излучения в медицине и, в частности, в хирургии. Проведенные исследования показали, что при лазерном воздействии заживление ран имеет характерные особенности, заключающиеся в сокращении экссудативной фазы воспаления, раннем формировании грануляционной ткани и отсутствии грубой рубцовой деформации просвета полых органов желудочно-кишечного тракта. Эти положения явились морфологическим обоснова-

нием широкого применения лазерного излучения в различных областях хирургии.

С целью более широкого внедрения лазерных медицинских технологий в практику лечебно-профилактических учреждений в 1987 году была поставлена задача организации лазерных центров в различных регионах страны. Были открыты лазерные хирургические и терапевтические отделения на базе НИИ и крупных многопрофильных городских больниц. Наиболее массовой формой организации лазерной службы явилось создание специализированных лазерных кабинетов на базе городских и районных больниц и поликлиник, а также диспансеров и медсанчастей.

В начале 90-х годов, были разработаны новые уникальные лазерные технологии в хирургии пищевода и желудка, в хирургии ободочной кишки, внепеченочных желчных путей и абдоминальных паренхиматозных органов, при острых желудочно-кишечных кровотечениях и в эндоскопической хирургии, в кожно-пластической хирургии, в экстренной и неотложной хирургии органов желудочно-кишечного тракта. Были выполнены исследования по разработке и апробации новых медицинских высокоэнергетических лазеров, лазерного инструментария и сшивающих аппаратов. Разработаны новые способы оперативных вмешательств с созданием лазерного механического шва с регулируемым сроком компрессии тканей, а также апробированы методики лазерных «сварных» анастомозов полых органов желудочно-кишечного тракта.

В эндоскопической хирургии были разработаны методы остановки острых желудочно-кишечных кровотечений с помощью CO_2 , АИГ-неодимового и аргонного лазеров, лазерные методы удаления полипов, ворсинчатых опухолей желудка, реканализации пищевода и толстой кишки при стенозирующих опухолях этих органов. В кожно-пластической хирургии разработаны и внедрены в клиническую практику хи-

рургические методы лечения с применением различных типов лазеров у больных с доброкачественными и злокачественными опухолями кожи и ее придатков, гипертрофическими и келоидными рубцами, сосудистыми и пигментными поражениями и косметическими дефектами кожи.

Были выполнены фундаментальные исследования по изучению механизмов взаимодействия различных видов лазерного излучения с биологическими тканями. Изучены оптимальные параметры биостимулирующего влияния на систему микроциркуляции в различных органах и тканях с помощью лазерной доплерографии. Проведены исследования по изучению механизма заживления ран при воздействии различных типов лазеров. Были проведены экспериментальные исследования по разработке методологии и технологии лазерной трансмиокардиальной реваскуляризации миокарда, которые впоследствии позволили внедрить эту технологию в клиническую кардиохирургию.

Была начата разработка объективных критериев лечебной эффективности и токсичности существующих и новых отечественных фотосенсибилизаторов при фотодинамической терапии злокачественных новообразований. Проведены скрипшговые исследования фотосенсибилизаторов по избирательности накопления в опухолях, их токсичности, фармакодинамики в зависимости от исходного состояния организма, лекарственной формы и путей введения препаратов. Изучены морфологические особенности фотодеструкции различных опухолей, проведены экспериментальные исследования по разработке оптимальных параметров фотодинамической деструкции опухолевой ткани.

Внедрен в клиническую практику метод фотодинамической терапии. Были разработаны оригинальные методы лечения злокачественных новообразований наружной локализации: кожи, ранних стадий рака молочной железы, рака орофарингеальной области, в том числе опухолей неудобных

локализаций — крыльев носа, ушных раковин, корня языка и ряда неопухолевых заболеваний. Проводятся исследования по разработке, клиническому испытанию и внедрению в практику новых фотосенсибилизаторов второго поколения, фотоактивных лекарственных веществ и соединений металлов для фотодинамической терапии. Разрабатываются способы доставки фотосенсибилизаторов к тканям — мишеням с целью селективности накопления.

1962 г. принято считать началом практического применения лазеров в медицине. Для удаления татуировок и исправления дефектов кожи применил рубиновый лазер с длиной волны в 690 нм, созданный 1960 году Т. Мейманом (США).

В 1963 г. был использован рубиновый лазер для удаления атеросклеротических бляшек. В 1967–1970 гг. успешно применён Nd: YAG и CO₂ лазеры в хирургии и гинекологии.

В 1964 г. разработан аргоновый лазер непрерывного излучения с максимумами поглощения в видимой области 488 нм и 515 нм, УФ диапазоне 351 нм и 364 нм с мощностью до 150 Вт, что обусловило широкий спектр его применения в медицине.

В 1964 г. были разработаны неодимовый (Nd: YAG) и углекислотный (CO₂) лазеры. Наиболее удачным оказался CO₂ лазер (на смеси углекислого газа, азота и гелия, где CO₂ обеспечивает излучение, N₂ — накачку верхнего уровня, а He — опустошение нижнего уровня), у которого излучение имеет непрерывный характер, с длиной волны 1060 нм. Клеточная вода хорошо поглощает его излучение. А так как мягкие ткани у человека в основном состоят из воды, то CO₂ лазер стали использовать как скальпель. При этом кровопотери биоткани минимальны за счет быстрой коагуляции крови в мелких кровеносных сосудах и раны быстро заживляются без осложнений.

Разработка импульсного лазера на красителях, позволило создать в 1980 годах ряд импульсных лазеров на красителях: родамин — 6Ж, родамин — С, оксазин-17, оксазин-1 в полиметилметакрилате, которые могли удалять капиллярные гемангиомы, родимые пятна, татуировки и исправить дефекты кожи.

Отметим, что лазеры на красителях работают в непрерывном, импульсном и импульсно-периодическом режимах в широком диапазоне спектра от ближнего УФ до ближнего ИК — спектров. Это позволило развивать лазерную косметологию и дерматологию, расширить перечень и повысить качества медицинских косметических услуг.

1975 год — разработка первого эксимерного лазера. Эксимерные лазеры охватывают весь УФ диапазон: Ar₂ (126,5 нм), Kr₂ (145,4 нм), Xe₂ (172,5 нм), ArF (192 нм), KrCl (222,0 нм), KrF (249,0 нм), XeCl (308,0 нм), XeF (352,0 нм) и нашли широкое применение в медицине.

1980 гг. — появились первые импульсные лазеры на красителях. Эти лазеры могли удалять капиллярные гемангиомы, родимые пятна и татуировки без повреждения тканей, что обеспечили становление и бурное развитие эстетической медицины.

1990 гг. — начало разработки и применения полупроводниковых лазеров, которые работают в УФ-, видимом или ИК-диапазонах (от 320 нм до 3200 нм), в качестве активной среды применяются полупроводниковые кристаллы. Сегодня известно более 40 полупроводниковых материалов и диодов, на основе которых созданы различные лазеры. Отметим, творческий вклад Нобелевских лауреатов по физике за 2000 год академика Ж. И. Алферова (РФ) и Г. Кремера (ФРГ) в развитии данного направления.

2000 гг. стали периодом широкого распространения лазерных методов лечения, как одного из самых перспективных направлений современной медицины в Европе, США, Азии и странах СНГ.

ГЛАВА 2. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ ЛАЗЕРОВ

§ 2.1. Устройство лазера

§ 2.2. Принцип действия лазеров

§ 2.3. Классификация лазеров

§ 2.4. Особенности лазерного излучения

§ 2.5. Физические свойства лазерного излучения

§ 2.6. Биологическое действие лазерного излучения

§ 2.7. Пути реализации фотобиологических процессов в биоткани

§2.1. Устройство лазера



Рис. 2.1. Обобщенный лазер состоит из лазерной активной среды, системы «накачки» - источника напряжения и оптического резонатора.

Система накачки передает энергию атомам или молекулам лазерной среды, давая им возможность перейти в возбужденное «метастабильное состояние» создавая инверсию населенности.

При оптической накачке используются фотоны, обеспечиваемые источником, таким как ксеноновая газонаполненная импульсная лампа или другой лазер, для передачи энергии лазерному веществу. Оптический источник должен обес-

печивать фотоны, которые соответствуют допустимым уровням перехода в лазерном веществе.

-Накачка при помощи столкновений основана на передаче энергии лазерному веществу в результате столкновения с атомами (или молекулами) лазерного вещества. При этом также должна быть обеспечена энергия, соответствующая допустимым переходам.

-Химические системы накачки используют энергию связи, высвобождаемую в результате химических реакций для перехода лазерного вещества в метастабильное состояние.

Оптический резонатор требуется для обеспечения нужного усилия в лазере и для отбора фотонов, которые перемещаются в нужном направлении. Когда первый атом или молекула в метастабильном состоянии инверсной населенности разряжается, за счет вынужденного излучения, он инициирует разряд других атомов или молекул, находящихся в метастабильном состоянии. Если фотоны перемещаются в направлении стенок лазерного вещества, они теряются, а процесс усиления прерывается.

Если один из разрушенных атомов или молекул высвободит фотон, параллельный оси лазерного вещества, он может инициировать выделение другого фотона, и они оба отразятся зеркалом на конце генерирующего стержня или трубы. Затем, отраженные фотоны проходят обратно через вещество, инициируя дальнейшее излучение в точности по тому же пути, которое снова отразится зеркалами на концах лазерного вещества. По мере того, как коэффициент усиления или прирост этого процесса превысит потери из резонатора, начинается лазерная генерация. Формируется узкий концентрированный луч когерентного света. Зеркала в лазерном оптическом резонаторе должны быть точно настроены для того, чтобы световые лучи были параллельны оси. Сам оптический

резонатор, т.е. вещество среды, не должен сильно поглощать световую энергию.

- твердое вещество,
- газ,
- краситель,
- полупроводник.



Рис.2.1.2 Твердотельные лазеры

Твердотельные лазеры используют лазерное вещество, распределенное в твердой матрице. Твердотельные лазеры занимают уникальное место в развитии лазеров. Первой рабочей лазерной средой был кристалл розового рубина; с тех пор термин «твердотельный лазер» обычно используется для описания лазера, у которого активной средой является кристалл, легированный примесями ионов. Твердотельные лазеры – это большие, простые в обслуживании устройства, способные генерировать энергию высокой мощности. Выходная мощность твердотельных лазеров обычно не постоянна, а состоит из большого числа отдельных пиков мощности.

Одним из примеров является Неодим – YAG лазер. Термин YAG является сокращением для кристалла: алюмоиттриевый гранат, который служит как носитель для ионов неодима. Он излучает инфракрасный луч с длиной волны 1 064 микронметра. Могут использоваться и другие элементы для легирования, например, эрбий (лазеры Er: YAG).

В **газовых лазерах** используется газ или смесь газов в трубе. В большинстве газовых лазеров используется смесь гелия и неона (HeNe), с первичным выходным сигналом в 6 328 нм ($1\text{ нм} = 10^{-9}$ метра) видимого красного цвета. Такой лазер стал предвестником целого семейства газовых лазеров.

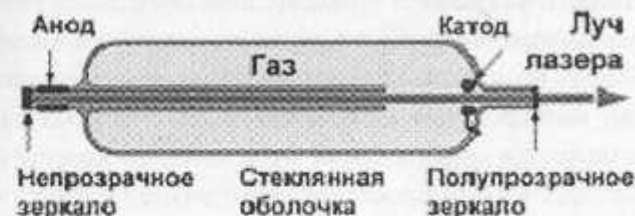


Рис.2.1.3 Газовых лазерах

Все газовые лазеры довольно схожи по конструкции и свойствам. Например, CO_2 газовый лазер излучает длину волны 10,6 микронметров в дальней инфракрасной области спектра. Аргоновый и криптоновый газовые лазеры работают с кратной частотой, излучая преимущественно в видимой части спектра. Основные длины волн излучения аргонного лазера – это 488 и 514 нм.



Рис.2.1.4. Лазерах на красителе

В лазерах на красителе используется лазерная среда, являющаяся сложным органическим красителем в жидком растворе или суспензии.

Наиболее значительная особенность этих лазеров – их «приспособляемость». Правильный выбор красителя и его концентрации позволяет генерировать лазерный свет в широком диапазоне длин волн в видимом спектре или около него. В лазерах на красителе обычно применяется система оптического возбуждения, хотя в некоторых типах таких лазеров используется возбуждение при помощи химических реакций.

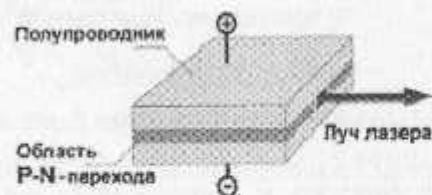


Рис. 2.15. Полупроводниковые (диодные) лазеры

Полупроводниковые (диодные) лазеры – состоят из двух слоев полупроводникового материала, сложенных вместе. Лазерный диод является диодом, излучающим свет, с оптической емкостью для усиления излучаемого света от люфта в стержне полупроводника, как показано на рисунке 2.15. Их можно настроить, меняя прикладываемый ток, температуру или магнитное поле.

Различные временные режимы работы лазера определяются частотой, с которой поступает энергия.

Лазеры с непрерывным излучением работают с постоянной средней мощностью луча.

У однопulseных лазеров длительность импульса обычно составляет от нескольких сотен микросекунд до нескольких

миллисекунд. Этот режим работы обычно называется длинноимпульсным или нормальным режимом.

Однопulseные лазеры с модуляцией добротности являются результатом внутрирезонаторного запаздывания, которое позволяет лазерной среде сохранять максимум потенциальной энергии. При максимально благоприятных условиях, происходит излучение одиночных импульсов, обычно с промежутком времени в 10^{-8} секунд. Эти импульсы обладают высокой пиковой мощностью, часто в диапазоне от 10^6 до 10^9 Вт/г.

Импульсные лазеры периодического действия или сканирующие лазеры работают в принципе также, как и импульсные лазеры, но с фиксированной (или переменной) частотой импульсов, которая может изменяться от нескольких импульсов в секунду до такого большого значения как 20 000 импульсов в секунду.

§ 2.2. Принцип действия лазеров

Чтобы понять принцип работы лазера, нужно более внимательно изучить процессы поглощения и излучения атомами квантов света. Атом может находиться в различных энергетических состояниях с энергиями E_1 , E_2 и т. д. В теории Бора эти состояния называются стабильными. На самом деле стабильным состоянием, в котором атом может находиться бесконечно долго в отсутствие внешних возмущений, является только состояние с наименьшей энергией. Это состояние называют основным. Все другие состояния нестабильны. Возбужденный атом может пребывать в этих состояниях лишь очень короткое время, порядка 10^{-8} с, после этого он самопроизвольно переходит в одно из низших состояний, испуская квант света, частоту которого можно определить из второго постулата Бора. Излучение, испускаемое при самопро-

извольном переходе атома из одного состояния в другое, называют спонтанным. На некоторых энергетических уровнях атом может пребывать значительно большее время, порядка 10^{-3} с. Такие уровни называются метастабильными. Переход атома в более высокое энергетическое состояние может происходить при резонансном поглощении фотона, энергия которого равна разности энергий атома в конечном и начальном состояниях. Переходы между энергетическими уровнями атома не обязательно связаны с поглощением или испусканием фотонов. Атом может приобрести или отдать часть своей энергии и перейти в другое квантовое состояние в результате взаимодействия с другими атомами или столкновений с электронами. Такие переходы называются безизлучательными. А. Эйнштейн предсказал, что переход электрона в атоме с верхнего энергетического уровня на нижний может происходить под влиянием внешнего электромагнитного поля, частота которого равна собственной частоте перехода. Возникающее при этом излучение называют вынужденным или индуцированным. Вынужденное излучение обладает удивительным свойством. Оно резко отличается от спонтанного излучения. В результате взаимодействия возбуждённого атома с фотоном атом испускает ещё один фотон той же самой частоты, распространяющийся в том же направлении. На языке волновой теории это означает, что атом излучает электромагнитную волну, у которой частота, фаза, поляризация и направление распространения точно такие же, как и у первоначальной волны. В результате вынужденного испускания фотонов амплитуда волны, распространяющейся в среде, возрастает. С точки зрения квантовой теории, в результате взаимодействия возбуждённого атома с фотоном, частота которого равна частоте перехода, появляются два совершенно

одинаковых фотона-близнеца. Именно индуцированное излучение является физической основой работы лазеров.

На рис. 2.2 схематически представлены возможные механизмы переходов между двумя энергетическими состояниями атома с поглощением или испусканием кванта.

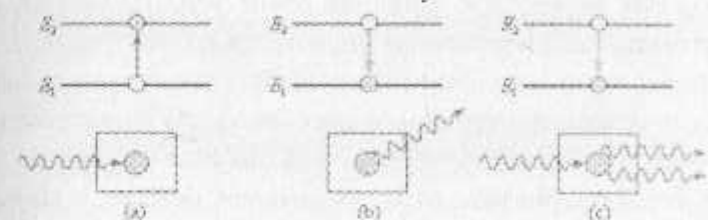


Рис 2.2 – Условное изображение процессов: а – поглощения, б – спонтанного испускания в – индуцированного испускания кванта

Рассмотрим слой прозрачного вещества, атомы которого могут находиться в состояниях с энергиями E_1 и $E_2 > E_1$. Пусть в этом слое распространяется излучение резонансной частоты перехода $\nu = \Delta E / h$. Согласно распределению Больцмана, при термодинамическом равновесии большее количество атомов вещества будет находиться в нижнем энергетическом состоянии. Некоторая часть атомов будет находиться и в верхнем энергетическом состоянии, получая необходимую энергию при столкновениях с другими атомами. Обозначим населённости нижнего и верхнего уровней соответственно через n_1 и $n_2 < n_1$. При распространении резонансного излучения в такой среде будут происходить все три процесса, изображённые на рис. 1. Эйнштейн показал, что процесс (а) поглощения фотона невозбуждённым атомом и процесс (с) индуцированного испускания кванта возбуждённым атомом имеют одинаковые вероятности. Так как $n_2 < n_1$ поглощение фотонов будет происходить чаще, чем индуцированное испускание. В результате прошедшее через слой вещества излучение будет ослабляться. Это явление напоминает появление

темных фраунгоферовских линий в спектре солнечного излучения. Излучение, возникающее в результате спонтанных переходов, некогерентно и распространяется во всевозможных направлениях и не дает вклада в проходящую волну. Чтобы проходящая через слой вещества волна усиливалась, нужно искусственно создать условия, при которых $n_2 > n_1$, т. е. создать инверсную населенность уровней. Такая среда является термодинамически неравновесной. Среда, в которой создана инверсная населенность уровней, называется активной. Она может служить резонансным усилителем светового сигнала. Для того, чтобы возникала генерация света, необходимо использовать обратную связь. Для этого активную среду нужно расположить между двумя высококачественными зеркалами, отражающими свет строго назад, чтобы он многократно прошёл через активную среду, вызывая лавинообразный процесс индуцированной эмиссии когерентных фотонов. При этом в среде должна поддерживаться инверсная населенность уровней. Этот процесс в лазерной физике принято называть накачкой. Начало лавинообразному процессу в такой системе при определённых условиях может положить случайный спонтанный акт, при котором возникает излучение, направленное вдоль оси системы. Через некоторое время в такой системе возникает стационарный режим генерации. Это и есть лазер. Лазерное излучение выводится наружу через одно (или оба) из зеркал, обладающее частичной прозрачностью.

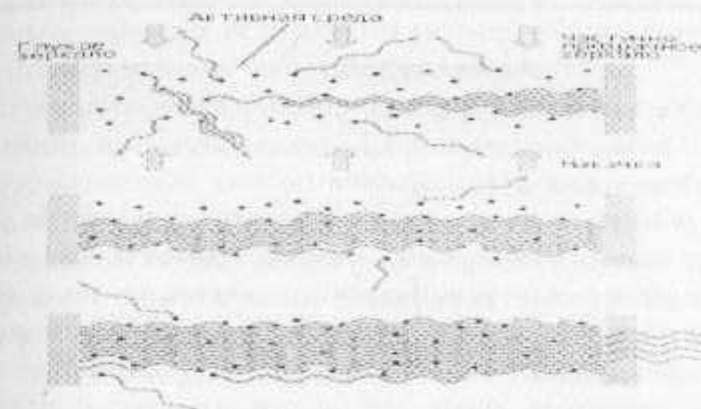


Рис.2.2.1. Схематически представлено развитие лавинообразного процесса в лазере

Лазерное излучение - есть свечение объектов при нормальных температурах. Но обычных условиях большинство атомов находятся в нижнем энергетическом состоянии. Поэтому при низких температурах вещества не светятся.

При прохождении электромагнитной волны сквозь вещество её энергия поглощается. За счёт поглощенной энергии волны часть атомов возбуждается, то есть переходит в высшее энергетическое состояние. При этом от светового пучка отнимается некоторая энергия:

$$h\nu = E_2 - E_1 \quad 2.2$$

где $h\nu$ - величина, соответствующая количеству потраченной энергии,

E_2 - энергия высшего энергетического уровня,

E_1 - энергия низшего энергетического уровня.

Возбужденный атом может отдать свою энергию соседним атомам при столкновении или испустить фотон в любом направлении.

Теперь представим, что каким-либо способом мы возбудили большую часть атомов среды. Тогда при прохождении через вещество электромагнитной волны с частотой,

$$v = \frac{E_2 - E_1}{h}$$

2.2.1

где v – частота волны,

$E_2 - E_1$ – разность энергий высшего и низшего уровней,

h – постоянная Планка.

эта волна будет не ослабляться, а напротив, усиливаться за счёт индуцированного излучения. Под её воздействием атомы согласованно переходят в низшие энергетические состояния, излучая волны, совпадающие по частоте и фазе с падающей волной.

§ 2.3. Классификация лазеров

Принято различать два типа лазеров: усилители и генераторы. На выходе усилителя появляется лазерное излучение, когда на его вход (а сам он уже находится в возбужденном состоянии) поступает незначительный сигнал на частоте перехода. Именно этот сигнал стимулирует возбужденные частицы к отдаче энергии. Происходит лавинообразное усиление: на входе слабое излучение, на выходе – усиленное.

С генератором дело обстоит иначе. На его вход излучение на частоте перехода уже не подают, а возбуждают и, более того, перевозбуждают активное вещество. Причем если активное вещество находится в перевозбужденном состоянии, то существенно растет вероятность самопроизвольного перехода одной или нескольких частиц с верхнего уровня на нижний. Это приводит к возникновению стимулированного излучения.

Второй подход к классификации лазеров связан с физическим состоянием активного вещества. С этой точки зрения лазеры бывают твердотельными (например, рубиновый, стеклянный или сапфировый), газовыми (например, гелий-неоновый, аргоновый и т.п.), жидкостными, если в качестве

активного вещества используется полупроводниковый переход, то лазер называют полупроводниковым.

Третий подход к классификации связан со способом возбуждения активного вещества. Различают следующие лазеры: с возбуждением за счёт оптического излучения, с возбуждением потоком электронов, с возбуждением солнечной энергией, с возбуждением за счёт энергий взрывающихся проволок, с возбуждением химической энергией, с возбуждением с помощью ядерного излучения. Различают также лазеры по характеру излучаемой энергии и её спектральному составу. Если энергия излучается импульсно, то говорят об импульсных лазерах, если непрерывно, то лазер называют лазером с непрерывным излучением. Есть лазеры и со смешанным режимом работы, например, полупроводниковые. Если излучение лазера сосредоточено в узком интервале длин волн, то лазер называют монохроматичным, если в широком интервале, то говорят о широкополосном лазере.

Еще один вид классификации основан на использовании понятия выходной мощности. Лазеры, у которых непрерывная выходная мощность более 10^6 Вт, называют высокомошными. При выходной мощности в диапазоне $10^5 \dots 10^6$ Вт имеют лазеры средней мощности. Если же выходная мощность менее 10^3 Вт, то говорят о малоомощных лазерах.

В зависимости от конструкции открытого зеркального резонатора различают лазеры с постоянной добротностью и лазеры с модулированной добротностью – у такого лазера одно из зеркал может быть размещено на оси электродвигателя, который вращает это зеркало. В данном случае добротность резонатора периодически меняется от нулевого до максимального значения. Такой лазер называют лазером с Q-модуляцией.

Одной из характеристик лазеров является длина волны излучаемой энергии. Диапазон волн лазерного излучения

простирается от рентгеновского участка до дальнего инфракрасного, т.е. от 10^{-1} до 10^2 мкм. За областью 100 мкм простирается до миллиметрового участка, который осваивается радистами. Доля, приходящаяся на различные типы генераторов, неодинакова. Наиболее широкий диапазон у газовых квантовых генераторов.

Другой важной характеристикой лазеров является энергия импульса. Она измеряется в джоулях и наибольшей величины достигает у твердотельных генераторов – порядка 10^3 Дж. Третьей характеристикой является мощность. Газовые генераторы, которые излучают непрерывно, имеют мощность от 10^{-2} до 10^2 Вт. Милливаттную мощность имеют генераторы, использующие в качестве активной среды гелий-неоновую смесь. Мощность порядка 100 Вт имеют генераторы на CO_2 . Если взять излучаемую энергию в 1 Дж, сосредоточенную в интервале в одну секунду, то мощность составит 1 Вт. Но оптической накачкой длительность излучения генератора можно изменять. Например, на рубине длительность составляет 10^{-4} с, следовательно, мощность составляет 10 кВт. Если же длительность импульса уменьшена с помощью оптического затвора до 10^{-6} с, мощность составляет мегаватт. Это не предел! Можно увеличить энергию в импульсе до 10^3 Дж и сократить ее длительность до 10^{-9} с и тогда мощность достигнет 10^{12} Вт. А это очень большая мощность: при интенсивности луча, достигающая 10^5 Вт/см², то металл начинается плавиться, при интенсивности 10^7 Вт/см² – кипение металла, а при 10^9 Вт/см² лазерное излучение начинает сильно ионизировать пары вещества, превращая их в плазму.

Еще одной важной характеристикой лазера является расходимость лазерного луча. Наиболее узкий луч имеют газовые лазеры. Он составляет величину в несколько угловых минут. Расходимость луча твердотельных лазеров около 1–3 угловых градусов. Полупроводниковые лазеры имеют лепест-

ковый раскрыв излучения: в одной плоскости около одного градуса, в другой – около 10–15 угловых градусов.

Характеристикой лазера является также диапазон длин волн, в котором сосредоточено излучение, т.е. монохроматичность. У газовых лазеров монохроматичность очень высокая, она составляет 10^{-10} , т.е. значительно выше, чем у газоразрядных ламп, которые раньше использовались как стандарты частоты. Твердотельные лазеры и особенно полупроводниковые имеют в своем излучении значительный диапазон частот, т.е. не отличаются высокой монохроматичностью.

Очень важной характеристикой лазеров является коэффициент полезного действия. У твердотельных он составляет от 1 до 3,5%, у газовых 1–15%, у полупроводниковых 40–60%. Вместе с тем принимаются всяческие меры для повышения кпд лазеров, ибо низкий кпд приводит к необходимости охлаждения лазеров до температуры 4–77 К, а это сразу усложняет конструкцию аппаратуры.

Оптические методы измерения расстояний и углов хорошо известны в промышленной метрологии и геодезической службе, однако их применение было ограничено источниками света. Измерения на открытом воздухе с использованием модулированного света были возможны лишь при небольших расстояниях в несколько километров. С помощью лазеров удалось значительно расширить область применения оптических методов, а в ряде случаев и упростить их.

§ 2.4. Особенности лазерного излучения

Устройство лазера и свойства вынужденного излучения обуславливают отличие лазерного излучения от излучения обычных источников света. Лазерное излучение (ЛИ) характеризуется следующими важнейшими свойствами.

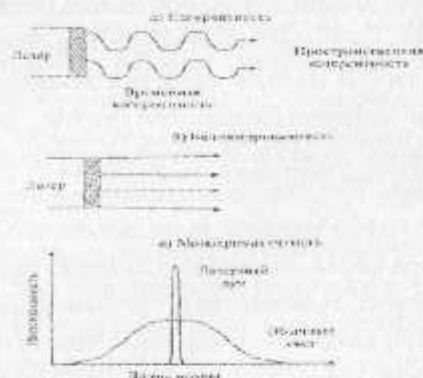


Рис. 2.4. в приведено схематическое сравнение ширины линии лазерного луча и луча обычного света

1. *Высококогерентность.* Излучение является *высококогерентным*, что обусловлено свойствами вынужденного индуцированного излучения. При этом имеет место не только временная, но и пространственная когерентность: разность фаз в двух точках плоскости, перпендикулярной направлению распространения, сохраняется постоянной (рис. а) (вследствии пространственной когерентности излучение может быть сфокусировано в очень малом объеме).

2. *Монохроматичность.* Лазерное излучение является в *высокой степени монохроматическим*, то есть содержит волны практически одинаковой частоты. Это обусловлено тем, что вынужденное излучение связано с дублированием фотонов. При этом формируется электромагнитная волна постоянной частоты. Ширина спектральной линии составляет 0,01 нм. На рис. 2.4 в приведено схематическое сравнение ширины линии лазерного луча и луча обычного света.

До появления лазеров монохроматическое излучение удавалось получить с помощью монохроматора, однако мощность света в таких полосах мала.

3. *Высокая мощность.* С помощью лазера получают очень высокую мощность монохроматического излучения - (до 10^5 Вт в непрерывном режиме). Мощность импульсных лазеров на несколько порядков выше. Так неодимовый лазер генерирует импульс с энергией $E = 75$ Дж, длительность которого $t = 3 \cdot 10^{-12}$ с. Мощность в импульсе равна $P = E/t = 2,5 \cdot 10^{13}$ Вт (для сравнения: мощность ГЭС $P \sim 10^6$ Вт).

4. *Высокая интенсивность.* В импульсных лазерах интенсивность лазерного излучения очень высока и может достигать $I = 10^{14} - 10^{16}$ Вт/см² (ср. интенсивность солнечного света вблизи земной поверхности $I = 0,1$ Вт/см²).

5. *Высокая яркость.* У лазеров, работающих в видимом диапазоне, яркость лазерного излучения (сила света с единицы поверхности) очень велика. Даже самые слабые лазеры имеют яркость 10^{15} кд/м² (для сравнения: яркость Солнца $L \sim 10^9$ кд/м²).

6. *Давление.* Лазерный луч при падении на поверхность оказывает *давление* (p). При полном поглощении лазерного излучения, падающего перпендикулярно поверхности, создается давление $p = I/c$, где I — интенсивность излучения, c — скорость света в вакууме. При полном отражении величина давления в два раза больше. При интенсивности $I = 10^{14}$ Вт/см² = 10^{18} Вт/м², $p = 3,3 \cdot 10^9$ Па = 33000 атм.

7. *Малый угол расходимости в пучке. Коллимированность.* Излучение является *коллимированным*, то есть все лучи в пучке почти параллельны друг другу. На большом расстоянии лазерный пучок лишь незначительно увеличивается в диаметре (для большинства лазеров угол расходимости составляет 1 угловую минуту или меньше). Так как угол расходимости мал, то интенсивность лазерного пучка слабо убывает с расстоянием. Остронаправленность позволяет передавать сигнала

ды на огромные расстояния при малом ослаблении их интенсивности.

8. *Поляризованность.* Лазерное излучение полностью *поляризовано*.

§ 2.5. Физические свойства лазерного излучения

Мощность. В первых лазерах с активным веществом из рубина энергия светового импульса была примерно 0,1 Дж. В настоящее время энергия излучения некоторых твердотельных лазеров достигает тысяч джоулей. При малом времени действия светового импульса можно получать огромные мощности. Мощность газовых лазеров значительно ниже (до 50 кВт), однако их преимущество в том, что их излучение происходит непрерывно, хотя среди газовых имеются и импульсные лазеры.

Угол расходимости лазерного пучка очень мал, и поэтому интенсивность светового потока почти не убывает с расстоянием. Импульсные лазеры могут создавать интенсивности света до 10^{14} Вт/м². Мощные лазерные системы могут давать интенсивности до 10^{20} Вт/м². Для сравнения заметим, что среднее значение интенсивности солнечного света вблизи земной поверхности всего лишь 10^3 Вт/м². Следовательно, яркость даже относительно слабых лазеров в миллионы раз превышает яркость Солнца.

Когерентность. Согласованное протекание во времени и в пространстве нескольких волновых процессов, проявляющееся при их сложении. Колебания называют когерентными, если разность фаз между ними остается постоянной во времени. При сложении двух гармонических колебаний с одинаковой частотой, но с разными амплитудами A_1 и A_2 и разными фазами образуется гармоническое колебание той же частоты, амплитуда которого в зависимости от разности

фаз может меняться в пределах от $A_1 - A_2$ до $A_1 + A_2$, причем эта амплитуда в данной точке пространства остается постоянной. Световые волны, испускаемые нагретыми телами или при люминесценции, создаются при спонтанных переходах электронов между различными энергетическими уровнями в независимых друг от друга атомах. Каждый атом испускает электромагнитную волну в течение времени 10^{-8} с, которое называется временем когерентности. За это время свет распространяется на расстояние 3 м. Это расстояние называют длиной когерентности, или длиной цуга. Волны, находящиеся за пределами длины цуга, будут уже некогерентными. Излучение, создаваемое множеством независимых друг от друга атомов, состоит из множества цугов, фазы которых хаотически изменяются в пределах от 0 до 2π . Для выделения когерентной части из общего некогерентного светового потока естественного света применяют специальные устройства (зеркала Френеля, бипризмы Френеля и др.), которые создают световые пучки очень малой интенсивности, тогда как лазерное излучение при всей его огромной интенсивности целиком когерентно.

Некогерентный световой пучок в принципе нельзя сфокусировать в пятно очень малых размеров, поскольку этому препятствует различие в фазах составляющих его цугов. Когерентное лазерное излучение можно сфокусировать в пятно диаметром, равным длине волны, этого излучения, что позволяет увеличивать и без того большую интенсивность лазерного пучка света.

Монохроматичность. Монохроматическим называют излучение со строго одинаковой длиной волны, однако его может создать только гармоническое колебание, происходящее с неизменной частотой и амплитудой в течение бесконечно долгого времени. Реальное излучение не может быть

монохроматическим уже потому, что оно состоит из множества лучей, и практически монохроматическим считают излучение с узким спектральным интервалом, который можно приближенно характеризовать средней длиной волны. До появления лазеров излучение с определенной степенью монохроматичности удавалось получать с помощью призматических монохроматоров, выделяющих из сплошного спектра узкую полосу длин волн, однако мощность света в такой полосе очень мала. Лазерное излучение обладает высокой степенью монохроматичности. Ширина спектральных линий, создаваемых некоторыми лазерами, достигает 10^{-7} нм.

Поляризация. Электромагнитное излучение в пределах одного луча поляризовано, но поскольку световые пучки состоят из множества лучей, независимых друг от друга, то естественный свет неполяризован и для получения поляризованного света применяют специальные устройства – призмы Николя, поляроиды и т. п. В отличие от естественного света лазерное излучение полностью поляризовано.

Направленность излучения. Важным свойством лазерного излучения является его строгая направленность, характеризующаяся очень малой расходимостью светового луча, что является следствием высокой степени когерентности. Угол расходимости у многих лазеров доведен примерно до 10^{-3} рад, что соответствует одной угловой минуте. Такая направленность, совершенно недостижимая в обычных источниках света, позволяет передавать световые сигналы на огромные расстояния при очень малом ослаблении их интенсивности, что крайне важно при использовании лазеров в системах передачи информации или в космосе.

Напряженность электрического поля. Свойство, отличающее лазерное излучение от обычного света, – высокая напряженность электрического поля в нем. Интенсивность

потока электромагнитной энергии $I = EH$ (формула Умова – Пойнтинга), где E и H – соответственно напряженности электрического и магнитного полей в электромагнитной волне. Отсюда можно подсчитать, что напряженность электрического поля в световой волне с интенсивностью 10^{18} Вт/м² равна $3 \cdot 10^{10}$ В/м, что превышает напряженность поля внутри атома. Напряженность поля в световых волнах, создаваемых обычными источниками света, не превышает 10^4 В/м.

При падении на тело электромагнитная волна оказывает механическое давление на это тело, пропорциональное интенсивности потока энергии волны. Световое давление, создаваемое в летний день ярким солнечным светом, равно примерно $4 \cdot 10^{-6}$ Па (напомним, что атмосферное давление 10^5 Па). Для лазерного излучения величина светового давления достигает 10^{12} Па. Такое давление позволяет обрабатывать (пробивать, резать отверстия и пр.) самые твердые материалы – алмаз и сверхтвердые сплавы.

Взаимодействие света с веществом (отражение, поглощение, дисперсия) обусловлено взаимодействием электрического поля световой волны с оптическими электронами вещества. Атомы диэлектриков в электрическом поле поляризуются. При небольшой напряженности дипольный момент единицы объема вещества (или вектор поляризации) пропорционален напряженности поля. Все оптические характеристики вещества, такие, как показатель преломления, показатель поглощения и другие, так или иначе, связаны со степенью поляризации, которая определяется напряженностью электрического поля световой волны. Поскольку эта связь линейная, т.е. величина P пропорциональна E , что дает основание называть оптику, имеющую дело с излучением сравнительно небольших интенсивностей, линейной оптикой.

В лазерном излучении напряженность электрического поля волны сравнима с напряженностью поля в атомах и молекулах и может изменять их в ощутимых пределах. Это приводит к тому, что диэлектрическая восприимчивость перестает быть постоянной величиной и становится некоторой функцией напряженности поля: зависимость вектора поляризации от напряженности поля будет на линейной функции, и соответственно, это нелинейная оптика (диэлектрическая проницаемость вещества, показатель преломления, показатель поглощения и другие оптические величины будут уже не постоянными, а зависящими от интенсивности падающего света).

§ 2.6. Биологическое действие лазерного излучения

При взаимодействии лазерного излучения с веществом и с биологическими объектами возникают эффекты, обусловленные характерными свойствами этого излучения. Рассмотрим каждый из них в отдельности.

Термический эффект. При поглощении лазерного излучения веществом значительная часть энергии электромагнитного поля переходит в теплоту. В биологической ткани поглощение происходит избирательно, так как входящие в состав тканей клетки, ферменты, гормоны и пигменты имеют различные показатели поглощения и отражения света. Так, хрусталик почти совсем не поглощает свет в видимой области, а максимум поглощения света меланином в пигменте кожи приходится на красный диапазон спектра (0,65–0,75 мкм), т. е. на диапазон излучения наиболее распространенных лазеров. Коэффициент отражения светлой кожи человека – примерно 35–40%, а у темной кожи африканцев значительно меньше. Термический эффект лазерного излучения

зависит как от интенсивности светового потока, так и от степени его поглощения тканью.

Поражение ткани при мощном лазерном облучении сходно с ожогом, возникающим под действием токов высокой частоты, но только с более резкой границей пораженного участка. Это объясняется направленностью светового пучка и кратковременностью лазерного импульса, под действием которого тепло не успевает распространиться за пределы пораженного участка. Наиболее чувствительны к повышению температуры ферменты, которые при термическом ударе разрушаются первыми. Поскольку они служат ускорителями биохимических реакций, то при разрушении ферментов эти реакции затормаживаются, а это может приводить к гибели клеток. Вследствие термического эффекта происходит коагуляция белков, образование тромбов в венах, а при достаточной интенсивности облучения ткани разрушаются что используют в лазерной хирургии.

Ударный эффект. В месте падения лазерного луча в ткани возникает тепловое объемное расширение, вследствие чего появляются механические напряжения. Кроме того, испарение частиц ткани в облучаемой области по закону сохранения импульса приводит к появлению импульса, направленного противоположно скорости испаряемых частиц, т. е. по ходу лазерного луча, а следовательно, к возникновению давления. В жидких компонентах клеток и тканей под действием резко возрастающего давления образуется ударная волна, распространяющаяся со сверхзвуковой скоростью. При попадании лазерного луча на кожный покров ткани оно не обязательно вызывает повреждение кожи, если мощность излучения и его термический эффект не слишком велики, но ударная волна, распространяясь во внутренних тканях, может повреждать их без каких-либо внешних проявлений. Так,

наблюдалась гибель морских свинок при облучении головы излучением с энергией 100 Дж. Было обнаружено, что внутри черепа в объеме примерно 1 мм³ вещество мозга нагревалось примерно до 500°C, ткань переходила в газообразное состояние, и внутри черепа развивалось давление до 20 атм, что и приводило к гибели животного.

Электрические явления. При попадании атомов и молекул в электромагнитное поле под действием электрической составляющей волны образуются электрические диполи, это приводит к изменению электрических параметров вещества, а также к деформации тел пропорционально квадрату напряженности поля E^2 . Это явление называют электрострикцией. Например, при облучении печени хомяков и морских свинок лазерным излучением с энергией 250 Дж удельное сопротивление печени вблизи от места облучения снижалось в 4 раза, а диэлектрическая проницаемость увеличивалась в 8 раз. Уменьшение электросопротивления можно объяснить тем, что при достаточно больших напряженностях электрического поля происходит ионизация атомов и валентные электроны переходят в свободное состояние. Ионизация нарушает также химические связи в молекулах, что приводит к изменению хода биологических процессов в связи с образованием свободных радикалов. Так, под действием лазерного излучения в водных растворах, всегда имеющих в биологических тканях, образуются радикалы $\text{OH}\cdot$ и $\text{HO}_2\cdot$, обладающие высокой реакционной способностью. Свободные радикалы образуются не только при лазерном облучении, но и при естественном обмене веществ, и, по представлениям ряда ученых, с ним связаны различные патологические процессы в организме животных. Предполагается, что они обуславливают химические мутации, возникновение некоторых форм рака, биологическое старение. Поэтому появление до-

полнительных свободных радикалов при лазерном облучении считается нежелательным эффектом.

§ 2.7. Пути реализации фотобиологических процессов в биоткани

Фотобиологическими называют процессы, начинающиеся с поглощения свега биологическим соединением и заканчивающиеся определенной физиологической реакцией организма. Фотохимические и фотофизические процессы являются ключевыми в жизнедеятельности биосистем. Подавляющее большинство фотобиологических реакций относятся к эндогеническим, то есть фотопродукты обладают большим запасом внутренней энергии, чем исходные вещества. По биологическому аспекту эти процессы могут быть разделены на две группы.

1. Физиологические – образующиеся фотопродукты необходимы для нормального функционирования биосистем, являются одним из звеньев обмена веществ и энергии. Различают:

- энергетические (фотосинтез) – обеспечивают аккумуляцию солнечной энергии;
- информационные (зрение, фототаксисы) – фотопродукты инициируют специализированные механизмы и организм получает информацию о состоянии внешней среды;
- фотобиосинтетические – фотохимические стадии синтеза некоторых органических соединений (витамин D).

2. Деструктивно-модифицирующие – под действием свега происходит повреждение биомолекул и поражение клеток или организма (эритема, помутнение хрусталика и т.д.).

Стадии фотобиологических процессов:

1. Поглощение кванта света.

2. Внутримолекулярные процессы превращения энергии.

3. Межмолекулярный перенос энергии возбужденного состояния.

4. Первичный фотохимический процесс.

5. Темновые превращения первичных фотохимических продуктов и образование стабильных соединений.

6. Биохимические реакции с участием фотопродуктов.

7. Общефизиологический ответ на действие света.

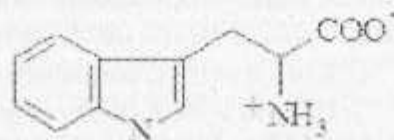
Первичные фотохимические продукты (молекулы в электронно-возбужденном состоянии, свободные радикалы) крайне неустойчивы и быстро переходят либо в исходные вещества, либо в устойчивые фотопродукты:



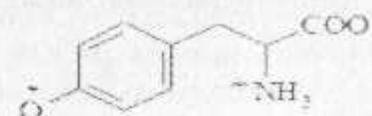
где A – молекула-акцептор, A^* – первичный фотопродукт, B – устойчивый фотопродукт, k_1 , k_2 , k_3 – константы скоростей реакций.

Очевидно, что относительную концентрацию первичного фотопродукта (A^*) можно увеличить двумя способами: повысить интенсивность действующего света (метод импульсного фотолиза) или замедлить скорости темновых процессов – k_2 и k_3 (глубокое замораживание образцов жидким азотом). Так было установлено, что при УФ-облучении растворов ароматических аминокислот происходит их фотоионизация, выбитый электрон захватывается растворителем (сальватируется), а аминокислоты переходят в радикальные формы:

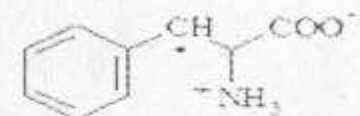
Радикал триптофана



Радикал тирозина



Радикал фенилаланина



Основной биологический эффект действия излучения на белки сводится к фотон активации данных молекул (рис. 2.7).

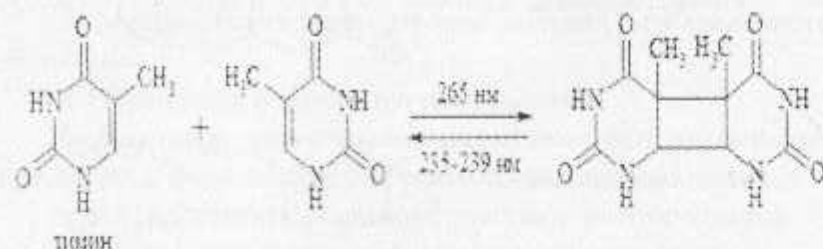


Рис.2.7. Общая схема процессов фотонаивитации белковых молекул:

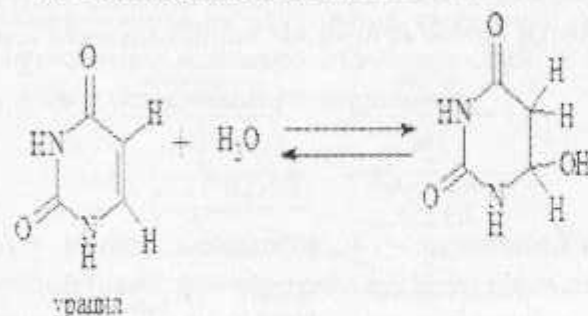
В то же время, для ряда белков (супероксиддисмутаза, карбоксипептидаза и др.) наблюдается усиление каталитической функции при облучении УФ-светом. Это позволяет рассматривать указанный фактор как один из способов регуляции функциональной активности макромолекул.

При действии УФ-света происходит несколько фотохимических реакций повреждения нуклеиновых кислот:

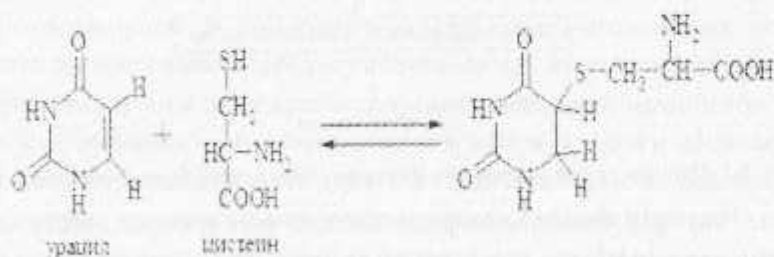
Фотодимеризация тиминовых оснований (урацил, цитозин, тимин):



2. Фотогидратация азотистых оснований:



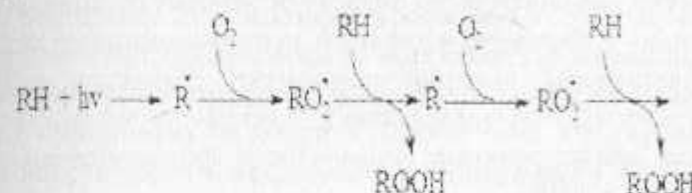
3. Сшивки с белками:



Эти повреждения являются причиной детальных и мутагенных эффектов УФ-излучения в клетках кожи, у микроорганизмов и растений.

Основная реакция превращений липидов под влиянием УФ-излучения – процессы пероксидного фотоокисления. В

результате УФ-облучения молекул липидов образуются гидропероксиды жирных кислот (ROOH), которые относятся к первичным, относительно стабильным продуктам. Эта реакция происходит по цепному, свободнорадикальному механизму:



Гидропероксиды претерпевают дальнейшие превращения с образованием более стабильных токсичных продуктов (альдегиды, кетоны).

Фотолиз фосфолипидов может приводить к серьезным нарушениям структуры биомембран. Наблюдается повышение проницаемости мембраны для ряда веществ, в том числе для ионов H^+ , K^+ , Na^+ . Это нарушает осмотический баланс, приводит к лизису клеток. В нормальной (интактной) мембране процессы пероксидного окисления липидов, по-видимому, заторможены за счет наличия антиоксидантов (α-токоферол или витамин E).

Первичными продуктами фотобиологических процессов являются свободные радикалы – молекулы, имеющие во внешней оболочке неспаренный электрон, что придает молекуле высокую химическую активность. Их взаимодействие с молекулярным кислородом может привести к образованию, так называемых, активных форм кислорода:

В медицине большое значение имеют фотобиологические процессы, возникающие в результате поглощения света экзогенными веществами или эндогенными соединениями, концентрация которых резко возрастает при некоторых па-

тологиях (протопорфирии, билирубинемии и др.). Вещества, повышающие чувствительность организма к ультрафиолетовому или видимому свету, в фотобиологии называются фотосенсибилизаторами.

Фотосенсибилизаторы I типа под действием света сами химически изменяются, их эффект не зависит от присутствия кислорода. Например, в терапии псориаза широко используют псоралены, которые применяют совместно с УФА-облучением (ПУФА-воздействие). В основе терапевтического эффекта лежит реакция ковалентного фотоприсоединения псораленов к ДНК.

Фотосенсибилизаторы II типа называются также *фотодинамическими соединениями*. Поглотив квант света, эти соединения переходят в триплетное возбужденное состояние, а затем взаимодействуют с молекулярным кислородом, и переводят его в супероксидный анион-радикал или в возбужденное синглетное состояние. Эти активные формы кислорода обладают большим окислительным потенциалом. Характерной особенностью реакции II типа является их зависимость от присутствия кислорода. Целый ряд терапевтических методов основан на использовании антиоксидантов (например, β -каротин), которые инактивируют активные кислородные метаболиты и предотвращают их патологическое действие.

Широко распространенным методом лечения является фототерапия – дозированное облучение крови квантами света длиной волны от 280 до 680 нм (верхняя часть ультрафиолетового спектра и видимый свет). Вызываемое фотонами возбуждение биомолекул и структурно-функциональные изменения форменных элементов крови приводят к существенной активации лейкоцитов, факторов неспецифической резистентности организма, изменению проницаемости мембран и запуску опосредованных каскадных фотохимических

реакций. Считается, что коротковолновое облучение крови (до 400 нм) обуславливает в основном иммунокоррирующий эффект, а длинноволновое облучение оптического диапазона существенно улучшает реологические свойства крови и микроциркуляцию.

Трансфузии фотомодифицированной аутокрови с успехом применяют практически во всех областях медицины, так как возникающие при этом эффекты оказываются благоприятным при многих патологиях. Кроме того, УФО-кровь способна корригировать предпатологические сдвиги у практически здоровых людей, повышая тем самым работоспособность и выносливость, что значительно расширяет сферу применения метода.

ГЛАВА.3. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ЛАЗЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРАКТИКЕ ДЕРМАТОЛОГА И КОСМЕТОЛОГА

§ 3.1. Эффекты воздействия лазерного излучения на кожу

§ 3.2. Применение лазеров в дерматологии, косметологии

§ 3.3. Лечение воспалительных заболеваний лица лазером

§ 3.1. Эффекты воздействия лазерного излучения на кожу

Изобретение первых лазеров положило начало анализа влияния фотонов на организм человека. Установлено, что лазер можно использовать в медицине в качестве высокоточного скальпеля.

Это свойство лазерного луча актуально в эстетической медицине, т.е. в лазерной косметологии. Селективного фототермолиза метод заключается в том, что лучом с пятном широкого диаметра можно избирательно воздействовать на микроскопические ферменты, расположенные в коже.

Часть фотонов при попадании на кожу проникает в дерму. Оптическая энергия преобразуется в тепловую, т.е. можно нагревать конкретные ткани-мишени (хромофоры), расположенные в коже. Для этого необходимо учитывать спектр поглощения (абсорбции) различных веществ. Если длина волны лазерного луча соответствует пику абсорбции хромофора, большая часть световой энергии будет поглощена этим хромофором. Данное явление получило название селективного фототермолиза.

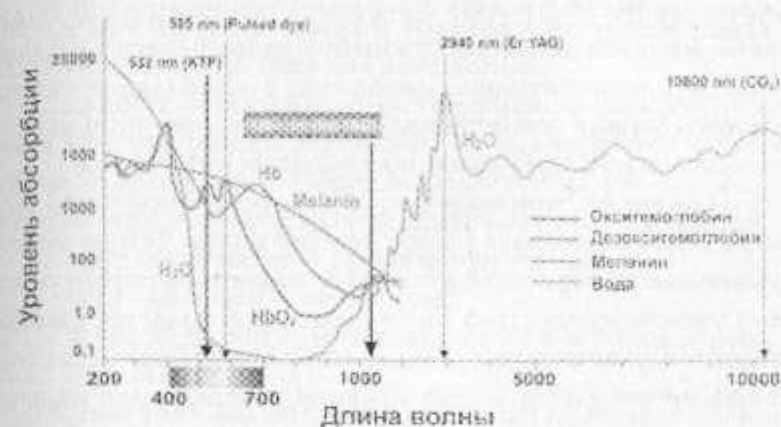


Рис.3.1. спектры поглощения различных хромофоров

Врачи-косметологи используют лазерные аппараты с различными длинами волн, чтобы обеспечить избирательное или широкое воздействие на хромофоры.

На рис. 3.1 представлены спектры поглощения двух хромофоров — оксигемоглобина и меланина. У меланина спектр поглощения широкий. Пик находится в ультрафиолетовом диапазоне, абсорбция снижается с увеличением длины волны. У оксигемоглобина существуют выраженные пики абсорбции: 418, 542 и 577 нм. При длине волны более 2000 нм основная часть энергии поглощается водой. Установлено, что хромофором может выступать метгемоглобин, дезоксигемоглобин, порфирины, искусственные хромофоры (татуировки).

Вторым фактором, определяющим успешность лазерного воздействия на кожу. Является время температурной релаксации (ВТР) хромофора — период, за который облученное вещество передает 50% тепловой энергии в окружающие ткани. Если длительность лазерного импульса меньше ВТР, про-

грев кожи будет незаметным. Современные косметологические устройства построены с учетом этого фактора. В большинстве моделей длительность импульса находится в миллисекундном и наносекундном диапазоне, а несколько лет назад появились первые коммерческие устройства, которые испускают импульсы на протяжении нескольких пикосекунд.

Коллаген не принадлежит к числу хромофоров, поскольку белок рассеивает все оптические волны. Тем не менее, современные аппараты эстетической медицины спроектированы с учетом воздействия на коллаген. Соблюдается закономерность: с увеличением длины волны возрастает глубина проникновения фотонов. Это правило действует для излучения в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне. Глубина проникновения эрбиевого (2940 нм) и углекислотного (10 600 нм) лазеров минимальна, потому что в обоих случаях световую энергию поглощает вода, расположенная в верхних слоях дермы.

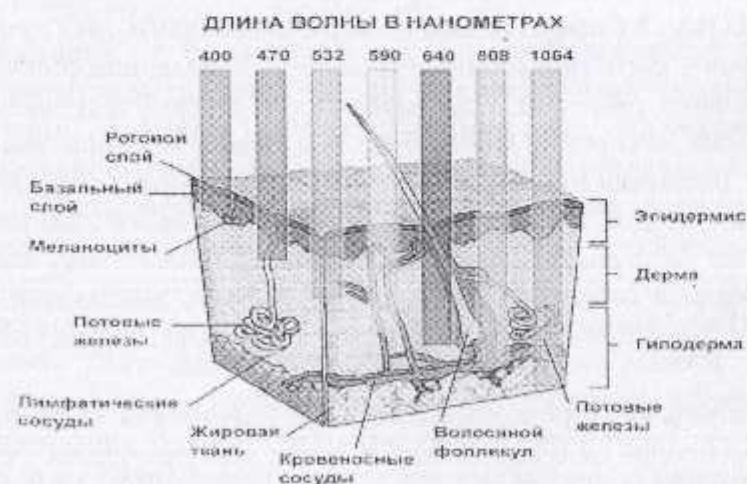


Рис.3.1.1. Глубина проникновения лазерных лучей

Ближнее инфракрасное излучение обладает максимальной глубиной проникновения, что позволяет использовать лазерные аппараты даже для липоксации.

Ценность селективного фототермолиза для косметологии в том, что теория определяет методику разностороннего восстановления кожи. Через воздействие на различные хромофоры осуществляется коррекция различных элементов:

- через гемоглобин — кровеносных сосудов;
- через меланин — меланосом;
- через воду, которая составляет 70% в массе дермы, — кожи в целом.

Кроме того, воздействие на коллаген позволяет повысить упругость кожи.

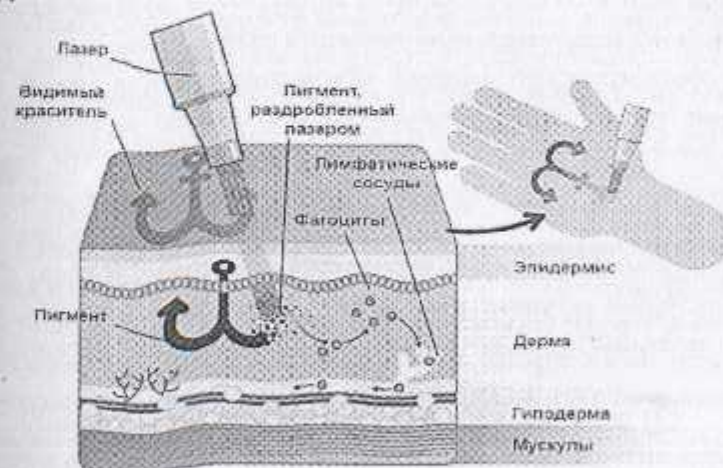


Рис.3.1.2. Эффективность лазерной терапии на примере удаления татуировок

Под воздействием оптической энергии пигменты красителя дробятся. Клетки иммунной системы, фагоциты, поглощают мелкие частицы и выводят их из организма.

Как протекают процессы в хромофорах при селективном фототермоллизе?

В зависимости от установленных параметров, фотоны оказывают определенный эффект на ткани: фототермический, фотомеханический или фотохимический. При фототермическом эффекте с повышением температуры хромофор разрушается или денатурирует.

Фотомеханический эффект наблюдается при использовании наносекундных или пикосекундных лазеров, когда высокая плотность оптической энергии попадает в ткани за сверхкороткий промежуток времени. При этом хромофоры не только нагреваются, но и подвергаются механическому повреждению в результате фотоакустического эффекта. То есть световой поток создает ударную волну. Это явление критически важно, например, при удалении татуировок.

Фотохимический эффект происходит, когда после абсорбции света меняется скорость клеточного метаболизма или запускается ценная реакция в тканях. Примером такой реакции является фотодинамическая терапия при лечении акне. Световая энергия воздействует на порфирины, в результате чего вырабатывается синглетный кислород. В свою очередь кислород вступает в реакцию с бактериями *P. acnes*, которые и являются источником воспалительного процесса в коже.

От чего зависит реакция организма на лазер?

При выполнении лазерной терапии необходимо учитывать персональные особенности пациента. Организм людей по-разному воспринимает воздействие оптической энергии.

В первую очередь, имеет значение цвет кожи пациента, ведь цвет зависит от количества меланина. Чтобы перед процедурой правильно настроить аппарат, врач-косметолог оценивает фототип кожи. Общепринятой является шкала Фитц-

патрика, которую используют все производители косметологических приборов.

Современная лазерная терапия — это эффективная и сравнительно безопасная методика восстановления здоровья и молодого внешнего вида кожи. Важнейшим достоинством аппаратной косметологии является точное стимулирование элементов кожного покрова. После проведенных процедур организм самостоятельно осуществляет регенерацию веществ, что обеспечивает длительный положительный эффект.

§ 3.2. Применение лазеров в дерматологии, косметологии

Поиск новых средств и методов лечения дерматозов обусловлен непереносимостью многих лекарственных препаратов, развитием аллергических реакций различной степени тяжести, побочным действием препаратов, низкой терапевтической эффективностью общепринятых способов лечения, необходимостью совершенствовать и оптимизировать существующие методики. Изучение возможностей различных физических факторов — ультразвука, криотерапии, фототерапии, магнитного и лазерного излучения — является важной практической задачей дерматологии. Рассмотрим основные физические и терапевтические свойства лазерного излучения, а также спектр его применения в дерматологии и косметологии.

В дерматологии используется лазерное излучение двух типов: низкоинтенсивное — в качестве лазерной терапии и высокоинтенсивное — в лазерной хирургии.

Низкоинтенсивное лазерное излучение (НИЛИ) используется для лазерной терапии кожных заболеваний. Действие НИЛИ заключается в активации ферментов мембран клеток,

увеличении электрического заряда белков и фосфолипидов, стабилизации мембранных и свободных липидов, увеличении оксигемоглобина в организме, активации процессов тканевого дыхания, повышении синтеза ЦАМФ, стабилизации окислительного фосфорилирования липидов (снижении свободно-радикальных комплексов).

При воздействии НИЛИ на биоткань наблюдаются следующие основные эффекты:

- противовоспалительный,
- антиоксидантный,
- обезболивающий,
- иммуномодулирующий.

Выраженный терапевтический эффект при лечении различных по этиологии и патогенезу заболеваний человека предполагает существование биостимулирующего механизма действия лазерного излучения небольшой мощности. Исследователи считают реакцию иммунной системы на лазерное излучение одним из важнейших факторов в механизме лазерной терапии, что, по их мнению, является пусковым моментом в реакции всего организма.

Противовоспалительный эффект

При воздействии НИЛИ на кожу наблюдается противовоспалительный эффект: активизируется микроциркуляция в тканях, расширяются сосуды, увеличивается число функционирующих капилляров и формируются коллатерали, повышается кровоток в тканях, нормализуется проницаемость клеточных мембран и осмотическое давление в клетках, повышается синтез ЦАМФ. Все эти процессы приводят к уменьшению интерстициального отека, гиперемии, шелушения, зуда, наблюдается отграниченность патологического процесса (очага), стихание острых воспалительных проявлений в течение 2–3 дней. Воздействие НИЛИ на область воспаления в коже, помимо противовоспалительного эффекта,

обеспечивает антибактериальное и фунгицидное действие. Количество бактерий и грибковой флоры снижается на 50% в течение 3–5 мин лазерного облучения патологической зоны.

С учетом противовоспалительного и антибактериального эффекта НИЛИ при местном воздействии на кожу лазеры применяются в лечении таких заболеваний, как пиодермии (фолликулиты, фурункулы, импетиго, угревая болезнь, стрептостафилодермии, шанкриформная пиодермия), трофические язвы, аллергодерматозы (истинная экзема, микробная экзема, атопический дерматит, крапивница). Также НИЛИ используется при дерматитах, ожогах, псориазе, красном плоском лишае, склеродермии, витилиго, заболеваниях слизистой оболочки полости рта и красной каймы губ (буллезный пемфигоид, многоформная экссудативная эритема, хейлиты, стоматиты и т. д.).

Антиоксидантный эффект

При воздействии НИЛИ наблюдается антиоксидантный эффект, который обеспечивается за счет снижения выработки свободнорадикальных комплексов, когда происходит предохранение клеточных и субклеточных компонентов от повреждения, а также обеспечение целостности органелл. Данный эффект связан с патогенезом значительного количества кожных болезней и механизмом старения кожи. НИЛИ активизирует ферментативное звено антиоксидантной защиты в эритроцитах и несколько ослабляет стимулирующее влияние стресса на перекисное окисление липидов в эритроцитах.

Антиоксидантный эффект НИЛИ используется при лечении аллергодерматозов, хронических заболеваний кожи и при проведении омолаживающих процедур.

Обезболивающий эффект

Обезболивающий эффект при воздействии НИЛИ осуществляется за счет блокады болевой чувствительности по

нервным волокнам. Одновременно наблюдается легкий седативный эффект. Также обезболивающий эффект обеспечивается за счет снижения чувствительности рецепторного аппарата кожи, повышения порога болевой чувствительности, стимуляции деятельности опиатных рецепторов.

Совокупность обезболивающего и легкого седативного эффектов играет важную роль, так как при различных кожных заболеваниях зуд (как извращенное проявление боли) является основным симптомом, нарушающим качество жизни больного. Эти эффекты позволяют применять НИЛИ при аллергодерматозах, зудящих дерматозах, красном плоском лишае.

Иммуномодулирующий эффект

При различных кожных заболеваниях наблюдается дисбаланс иммунной системы. Как при местном облучении кожи, так и при внутривенном облучении крови НИЛИ оказывает иммуномодулирующий эффект — устраняется дисглобулинемия, повышается активность фагоцитоза, происходит нормализация апоптоза и активация нейроэндокринной системы.

Некоторые методики с использованием НИЛИ

Аллергодерматозы (атопический дерматит, хроническая экзема, рецидивирующая крапивница). Проводят облучение НИЛИ венозной крови инвазивным или неинвазивным методом, а также локальную лазеротерапию.

Инвазивный метод заключается в венопункции (венесекции) в области лучевой вены, заборе крови в количестве 500–750 мл, которая пропускается через лазерный луч, после чего следует реинфузия облученной крови. Процедура проводится однократно, 1 раз в полгода с экспозицией 30 мин.

Неинвазивный метод заключается в подведении лазерного луча в проекцию лучевой вены. В это время больной сжимает и разжимает кулак. В результате в течение 30 мин облучается 70% крови. Метод безболезненный, не требует специальных условий, предполагает использование как непрерывного, так и импульсного лазерного излучения — от 5 до 10 кГц. Установлено, что колебания в 10 кГц соотносятся с колебаниями на поверхности мембран клеток.

Облучение крови производится только гелий-неоновым лазером, длиной волны 633 нм, мощностью 60,0 мВт и полупроводниковыми лазерами с длиной волны 0,63 мкм.

Для лечения тяжелых форм атопического дерматита у детей, применение неинвазивного метода, используются лазерные головки с отражающей поверхностью; на кожу в месте облучения наносятся иммерсионное масло, а головкой создаётся компрессия. Зоной облучения служит большая подкожная вена на уровне медиальной лодыжки.

Перечисленные методы дополняют локальной лазеротерапией. Рекомендуемые максимальные размеры площадей для проведения лазерной терапии в течение одного сеанса: для кожи лица и слизистых оболочек полости носа, рта и губ — 10 см², для остальных участков кожи — 20 см². При симметричных поражениях целесообразно в течение одного сеанса последовательно работать на двух контралатеральных зонах с равным разделением рекомендуемой площади.

При работе на коже лица категорически запрещается направлять луч на глаза и веки. Отсюда следует, что излучение гелий-неонового лазера не следует применять для лечения заболеваний кожи век.

Излучение гелий-неонового лазера применяют преимущественно в дистанционном режиме. Для лечения заболеваний кожи с площадью поражения свыше 1–2 см² пятно ла-

зерного луча перемещают со скоростью 1 см/с по всей выбранной для сеанса площади так, чтобы она вся была равномерно подвергнута облучению. Целесообразен спиральный вектор сканирования — от центра к периферии.

При atopическом дерматите облучение проводят по полям с захватом всей пораженной поверхности кожи по конфигурации патологического участка от периферии к центру, с облучением здоровых тканей в пределах 1–1,5 см или сканированием лазерным лучом со скоростью 1 см/с. Доза облучения на сеанс составляет 1–30 Дж/см², длительность сеанса — до 25 мин, курс из 5–15 сеансов. Лечение можно проводить на фоне антиоксидантной терапии и витаминотерапии.

При облучении венозной крови с помощью НИЛИ у больных с аллергодерматозами добиваются все вышеупомянутые эффекты лазерного излучения, что способствует быстрейшему выздоровлению и снижению случаев рецидивов.

Псориаз. При псориазе используется облучение крови, применяется лазерная индуктотермия надпочечников, а также локальное воздействие на бляшки. Проводится это обычно инфракрасным (0,89 мкм, 3–5 Вт) или гелий-неоновым лазерами (633 нм, 60 мВт).

Лазерная индуктотермия надпочечников проводится контактно на кожу в проекции надпочечников, от 2 до 5 мин, в зависимости от веса больного, курс — 15–25 сеансов. Лазерное облучение проводят в стационарной и регрессирующей стадиях псориаза, обеспечивая выработку эндогенного кортизола организмом больного, что приводит к разрешению псориазических элементов и позволяет добиться выраженного противовоспалительного эффекта.

Показана эффективность лазерной терапии при псориазическом артрите. В ходе лечения облучают пораженные суставы, иногда местную терапию сочетают с облучением

надпочечников. После двух сеансов отмечается обострение, которое становится менее интенсивным к 5-му сеансу, к 7–10-му сеансам состояние стабилизируется. Курс лазеротерапии состоит из 14–15 сеансов.

Принципиально новым направлением в терапии псориаза и витилиго является разработка и клиническое применение эксимерного лазера на основе хлорида ксенона, который представляет собой источник узкополосного ультрафиолетового (УФ) излучения длиной 308 нм. Поскольку энергия направляется только на область бляшки и здоровая кожа не подвергается воздействию, очаги поражения можно облучать с помощью излучения с высокой плотностью энергии (от 100 мДж/см² и выше), что усиливает антипсориазическое действие. Избежать вапоризации и термических поражений позволяют короткие импульсы до 30 нс. Узкий монохроматический спектр излучения с длиной 308 нм действует только на один хромофор, вызывая гибель мутагенных ядер кератиноцитов и активируя Т-клеточный апоптоз. Ограничивают внедрение в широкую клиническую практику эксимерных лазерных систем их высокая стоимость, отсутствие методического обеспечения, недостаточная изученность отдаленных результатов, сложности, связанные с расчетом глубины воздействия по мере истончения бляшек в ходе терапии.

Красный плоский лишай (КПЛ). При КПЛ обычно используется методика местного облучения высываний контактным способом, скользящими движениями от периферии к центру. Экспозиция — от 2 до 5 мин, в зависимости от площади поражения. Суммарная доза не должна превышать 60 Дж/см². Такие процедуры обеспечивают противовоспалительный и противозудный эффект. Для рассасывания бляшек экспозицию увеличивают до 15 мин.

При локализации КПЛ на волосистой части головы лазерное облучение проводится с экспозицией до 5 мин. Кроме вышеупомянутых эффектов, достигается стимуляция роста волос в зоне облучения.

При применении данных методов используется инфракрасное, гелий-неоновое и на парах меди лазерное излучение. При КПЛ также может проводиться облучение венозной крови.

Пиодермии. При гнойничковых заболеваниях кожи также применяется методика облучения НИЛИ венозной крови и методика местного облучения контактным способом, скользящими движениями с экспозицией до 5 мин.

Данные методики позволяют достичь противовоспалительного, антибактериального (бактериостатического и бактериоцидного) эффектов, а также стимуляции репаративных процессов.

При рожистом воспалении применяют НИЛИ контактно, дистанционно и внутривенно. При использовании лазерной терапии на 2–4 дня раньше нормализуется температура тела, на 4–7 сут быстрее наступает регрессия локальных проявлений, на 2–5 сут быстрее происходят очищение и все процессы репарации. Выявлено повышение фибринолитической активности, содержащая Т- и В-лимфоцитов и их функциональной активности, улучшение микроциркуляции. Рецидивы при традиционном лечении составляют 43%, при применении НИЛИ — 2,7%.

Васкулиты. Для лечения васкулитов кожи и предлагается инвазивный метод НИЛИ. Из вены больного берут 3–5 мл крови, помещают ее в кювету и подвергают облучению гелий-неоновым лазером, мощностью 25 мВт, в течение 2–3 мин, после чего 1–2 мл облученной крови вводят в очаги поражения. За один сеанс делают 2–4 инъекции, в течение неде-

ли — 2–3 сеанса, курс лечения состоит из 10–12 сеансов. Возможном внутрисосудистое облучение крови энергией гелий-неонового лазера мощностью 1–2 мВт длительностью 10–30 мин, сеансы проводят ежедневно или через день, курс состоит из 10–30 сеансов.

Склеродермия. Нужно проводить сеансы лазерной терапии с помощью гелий-неонового лазера через световод, введенный по игле на границе здоровой и пораженной кожи. Сеанс длится 10 мин, доза — 4 Дж/см². Другая методика заключается в наружном облучении очагов поражения излучением мощностью 3–4 мВт/см² с экспозицией 5–10 мин, курс — 30 сеансов.

Вирусные дерматозы. Достаточно успешно лазерная терапия применяется при опоясывающем лишае. Используется дистанционное посегментарное облучение очагов гелий-неоновым лазером мощностью 20–25 мВт, при котором луч лазера перемещается по ходу нервных стволов и на места высыпаний. Сеансы проводятся ежедневно, длятся от 3 до 20 дней.

Витилиго. Для лечения витилиго применяют излучение гелий-неонового лазера и наружные фотосенсибилизаторы, например, анилиновые красители. Непосредственно перед процедурой на очаги наносят раствор красителя (бриллиантовый зеленый, метиленовый синий, фукорцин), после чего проводят локальное облучение расфокусированным лазерным лучом мощностью 1–1,5 мВт/см². Продолжительность сеанса оставляет 3–5 мин, ежедневно, курс 15–20 сеансов, повторные курсы возможны через 3–4 нед.

Облысение. Применение лазера на парах меди в эксперименте, проводившемся на коже, по данным электронной микроскопии, выявило выраженное усиление пролиферативной и метаболической активности в эпидермоцитах, в том

числе в волосяных фолликулах. Отмечено расширение микрососудов сосочкового слоя дермы. В соединительной ткани, в частности в фибробластах, обнаружено относительное нарастание объема внутриклеточных структур, связанных с синтезом коллагена. Зарегистрировано возрастание активности в нейтрофилах, эозинофилах, макрофагах и тучных клетках. Перечисленные изменения лежат в основе лечения облысения. Уже после 4–5-го сеанса лазерной терапии отмечается рост пушковых волос на голове.

Рубцы. С помощью световой и электронной микроскопии изучались изменения, которые происходят в кожных рубцах в результате применения лазерного излучения у человека. Так, применение ультрафиолетового и гелий-неонового НИЛИ не вызывало существенных изменений вследствие неглубокого проникновения лазерной энергии. После использования излучения инфракрасного лазера растет число резорбирующих коллаген фибробластов, при этом коллагеновые волокна истончаются, несколько снижается число тучных клеток и выделение секреторных гранул. В некоторой степени увеличивается относительная объемная доля микрососудов.

При использовании НИЛИ для профилактики грубого рубцевания кожных хирургических ран выявлено снижение содержания активных фибробластов и, следовательно, коллагена. Использование высокоинтенсивного лазерного излучения (ВИЛИ) ВИЛИ получают с помощью CO_2 , Er: YAG-лазера и аргонового лазера. CO_2 -лазер в основном используется для лазерного удаления (деструкции) папиллом, бородавок, кондилом, рубцов и дерматитов; Er: YAG-лазер — для лазерного омолаживания кожи. Существуют также комбинированные CO_2 -, Er: YAG-лазерные системы.

Лазерная деструкция. ВИЛИ применяется в дерматологии и косметологии для деструкции новообразований, удаления ногтевых пластинок, а также для лазерной вапоризации папиллом, кондилом, невусов и бородавок. При этом мощность излучения может составлять от 1,0 до 10,0 Вт.

В клинической практике применяют неодимовый и CO_2 -лазеры. При применении CO_2 -лазера меньше повреждаются окружающие ткани, а неодимовый лазер обладает лучшим гемостатическим эффектом. Помимо того, что лазер физически удаляет поражения, исследования показали токсическое действие лазерного излучения на вирус папилломы человека (ВПЧ). Путем изменения мощности лазера, размера пятна и времени экспозиции можно контролировать глубину коагуляции. Для выполнения процедур необходим хорошо обученный персонал. При использовании лазеров требуется обезболивание, однако местной или локальной анестезии оказывается достаточно, что позволяет проводить процедуры в амбулаторных условиях. Однако 85% больных все равно отмечают легкую болезненность. Метод имеет примерно такую же эффективность, как электрокоагуляция, но менее болезнен, вызывает меньше послеоперационных побочных эффектов, включая менее выраженное рубцевание, дает хороший косметический эффект. Эффективность метода достигает 80–90% при терапии остроконечных кондилом.

Лазеротерапию можно успешно применять для лечения распространенных, устойчивых к другой терапии бородавок. При этом проводится несколько курсов лечения, что позволяет повысить процент излечения с 55 (после 1 курса) до 85%. Однако в особых случаях при многолетнем неэффективном лечении различными методами эффективность лазеротерапии оказывается не столь высока. Даже после многократных курсов лечения она позволяет прекратить рецидивирование

примерно лишь у 40% больных. Тщательные исследования показали, что столь невысокий показатель связан с тем, что СО₂-лазер неэффективен для устранения генома вируса из поражений, устойчивых к лечению (по данным ПЦР молекулярно-биологическое излечение наступает у 26% больных).

Лазерную терапию можно применять для лечения генитальных бородавок у подростков. Показана высокая эффективность и безопасность метода при лечении данного контингента пациентов, в большинстве случаев для излечения достаточно 1 процедуры.

Для уменьшения количества рецидивов остроконечных кондилом (частота рецидивов от 4 до 30%) рекомендуют применять после процедуры удаления лазерное «очищение» окружающей слизистой. При использовании методики «очищения» часто наблюдаются дискомфорт и болезненность. При наличии больших кондилом перед лазеротерапией рекомендуется их предварительное разрушение, в частности электрокаутером. Это, в свою очередь, позволяет избежать побочных эффектов, связанных с электрорезекцией. Возможной причиной рецидивов является сохранение генома ВПЧ в коже рядом с участками обработки, что было выявлено как после применения лазера, так и после электрохирургического иссечения.

Наиболее тяжелыми побочными эффектами лазерной деструкции являются: изъязвления, кровотечение, вторичное инфицирование раны. После лазерного иссечения бородавок осложнения развиваются у 12% больных.

Как и при использовании электрохирургических методов, происходит выделение ДНК ВПЧ с дымом, что требует соответствующих мер предосторожности во избежание заражения носоглотки врача. В то же время в некоторых исследованиях показано отсутствие различий в частоте выявления

бородавок у хирургов, занимающихся лазеротерапией, в сравнении с другими группами населения. Не обнаружено существенных различий в частоте появления бородавок и между группами врачей, применявших и не применявших защитные средства, и эвакуаторы дыма. Тем не менее, поскольку типы ВПЧ, вызывающие генитальные бородавки, способны инфицировать слизистую верхних дыхательных путей, лазерный дым, содержащий эти вирусы, опасен для хирургов, производящих вапоризацию.

Лазерная эпиляция. В основе лазерной эпиляции (термолазерной эпиляции) лежит принцип селективного фототермолиза. Световая волна со специально подобранными характеристиками проходит через кожу и, не повреждая ее, избирательно поглощается меланином, содержащимся в больших количествах в волосах луковицах. Это вызывает нагрев волоса луковицы (фолликулов) с последующей их коагуляцией и разрушением. Для разрушения фолликулов требуется, чтобы к корню волоса было подведено необходимое количество световой энергии. Для эпиляции используется излучение мощностью от 10,0 до 60,0 Вт. Так как волосы находятся в разных стадиях роста, то для полной эпиляции требуется несколько процедур. Они проводятся на любом участке тела, бесконтактно, не менее 3 раз с интервалом 1–3 мес.

Основными преимуществами лазерной эпиляции являются комфортность и безболезненность процедур, достижение стойкого и долговременного результата, безопасность, высокая скорость обработки (одним импульсом одновременно удаляются сотни фолликулов), неинвазивность, бесконтактность. Таким образом, этот метод на сегодня представляет собой самый эффективный и наиболее экономически выгодный способ эпиляции. Существенно снижает эффектив-

ность процедур длительное пребывание на солнце и загар (естественный или искусственный).

Лазерная дермабразия. Дермабразия — это снятие верхних слоев эпидермиса. После воздействия остается достаточно мягкий и безболезненный лазерный струп. В течение 1 месяца после процедуры под струпом формируется новая молодая кожа. Применяется лазерная дермабразия для омолаживания кожи лица и шеи, сведения татуировок, шлифовки рубцов, а также в качестве лечения постакне у больных тяжелыми формами угревой болезни.

Лазерное омоложение кожи. С помощью лазера проводится точная и поверхностная абляция с минимальным тепловым повреждением и без кровотечений, что приводит к быстрому заживлению и исчезновению эритемы. Для этого используют в основном Er: YAG-лазеры, которые хороши для поверхностного омоложения кожи. Аппараты позволяют проводить быстрое и равномерное сканирование кожи, а также выравнивать цветовые границы после обработки СО₂-лазером.

Лазерное излучение является мощным вспомогательным средством в лечении больных различными дерматологическими заболеваниями и методом выбора в хирургической дерматологии и косметологии.

§ 3.3 Лечение воспалительных заболеваний лица лазером

Прыщи, угри, черные точки — как только не называют акне, одно из самых распространенных заболеваний кожи. Оно оставляет после себя рубцы и шрамы, влияет на самооценку, срывает планы — в общем, может значительно снизить качество жизни. Раньше на его лечение уходили годы. Сегодня благодаря ап-

паратным технологиям можно буквально за несколько сеансов избавиться от акне навсегда.

Почему возникают прыщи?

Повышенный уровень мужских половых гормонов андрогенов приводит к активному выделению кожного сала, которое смешивается с ороговевшими частичками кожи. Этот “коктейль” закупоривает фолликулы и образует благоприятную среду для размножения пропионовых бактерий. Те, в свою очередь, вызывают воспалительные процессы.

Среди факторов, которые могут спровоцировать появление угревой сыпи: наследственность, снижение иммунитета, прием некоторых препаратов, неправильное питание, стресс, плохая экология, да и просто привычка часто трогать лицо руками.

Виды акне

Разберемся в терминологии. Акне — это название болезни, которая провоцирует различные высыпания на коже:

угри — белые бугорки или черные точки на коже;

пустулы — гнойные воспаления;

папулы — воспаления красного цвета, но без гноя;

узелки — подкожные плотные белые шарики;

кисты — масштабные гнойные воспаления, которые и оставляют после себя рубцы, шрамы, и пигментные пятна.

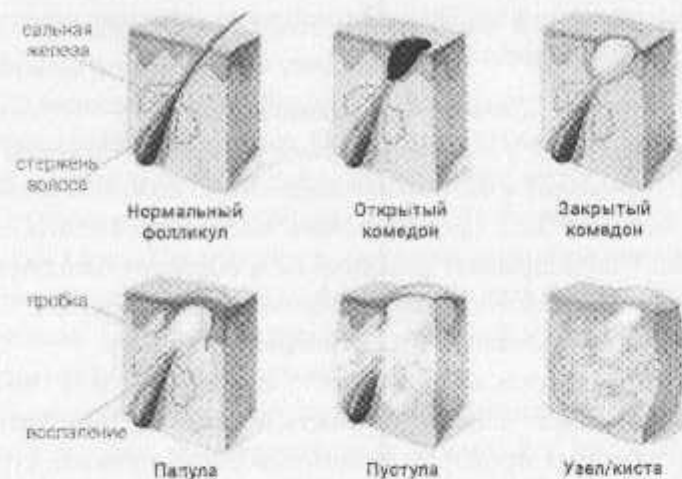


Рис.3.3. Виды акне

Способы лечения угревой сыпи

Прыщи — это признак изменения гормонального фона. Поэтому если пациент страдает средней или тяжелой формой акне (более 10 высыпаний) или угревая сыпь появилась в зрелом возрасте, обязательно пужию посетить гинеколога-эндокринолога (женщинам) или андролога (мужчинам). Врач выпишет направление на гормональное исследование, найдет причину сбоя и назначит нужные препараты.

Второй специалист, который проводит лечение акне — косметолог.

Клиника лазерной и инъекционной косметологии предлагает комплексные программы лечения угревой болезни. В ее арсенале несколько проверенных, эффективных методик: уходовые процедуры: деликатная чистка с применением гипоаллергенной косметики, криомассаж, пилинги; мезотерапия и плазмотерапия; лазерная терапия с АС-насадкой.

Аппарат позволяет сочетать в себе сразу две технологии, два вида энергии — световую и радиочастотную.

Свет синего спектра уничтожает пропионовые бактерии, которые провоцируют воспалительные процессы.

Красный и инфракрасный свет, а также радиочастотная энергия разрушают пробки из кожного сала и нормализуют работу сальных желез. Одновременно они улучшают внешний вид кожи — она выглядит ровной, гладкой, здоровой, вместо ненужного жирного блеска — сияние красоты.

Как проходит процедура лечения акне?

Пациент приходит к назначенному времени. Врач-косметолог проводит очищение кожи перед процедурой и наносит специальный гель-проводник. Затем на глаза для защиты зрения надевают особые непрозрачные очки.

Далее начинается сама процедура, которая в зависимости от зоны занимает от 20 минут и более.

Процедура лазерного лечения акне в нашей клинике абсолютно комфортная и не требует нанесения анестезии. В процессе пациент чувствует тепло и легкое покалывание.

После процедуры на коже присутствует незначительное покраснение, которое проходит в течение 30-40 минут.

Показания к лазерному лечению акне:

Показаниями к лазерному лечению акне являются: угревая сыпь; профилактика прыщей и других высыпаний на коже; расширенные поры.

Преимущества этого способа удаления акне:

процедура безопасна и комфортна, она практически не вызывает болезненных ощущений;

справляется с двумя ключевыми факторами, вызывающими угревую сыпь;

✖ не нарушает целостность кожного покрова, что исключает возможные осложнения, не требует реабилитации;

✖ значительно улучшает внешний вид кожи, убирает повышенную сальность и жирный блеск, предотвращает появление шрамов и рубцов;

✖ подходит для всех пациентов, начиная с 16 лет;

✖ не занимает много времени — пройти процедуру можно, например, в обеденный перерыв.

Курс терапии акне лазером обычно включает 8-10 процедур не чаще 2 раз в неделю. Состояние кожи заметно улучшится уже после 3-4 сеансов.

После прохождения курса процедур мы наблюдаем следующий результат (фото до и после лечения акне):



Рис.3.3.1. фото до и после лечения акне

Как справиться с рубцами и шрамами?

Лазерная терапия акне с АС-насадкой уничтожает причины угревой сыпи — бактерии и скопления кожного сала. Чтобы справиться с их последствиями рекомендуется дополнить ее другими процедурами:

1. методика SR-Plus избавит от пигментных пятен и расширенных сосудов;

2. фракционная шлифовка кожи Sublative запустит синтез коллагена и эластина, сократит глубину рубцов. Кожа будет выглядеть свежей, ровной, гладкой, словно и не было акне.

Возможные противопоказания:

- беременность и кормление грудью;
- острые формы хронических заболеваний;
- онкология;
- эндокринные заболевания;
- кожные заболевания в активной стадии;
- заболевания, которые провоцируются светом на длинных волнах спектра;
- прием препаратов, вызывающих светочувствительность;

лазерное омоложение и химический пилинг.

ГЛАВА 4. ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРОВ В ФЛЕБОЛОГИИ

§ 4.1. Типы лазеров, используемые для лечения ВРВ

§ 4.2. Лазеры применяемые в флебологии

§ 4.3. Эндовазальная лазерная облитерация

§ 4.4. Трансдермальное использование лазеров для лечения варикозной болезни

§ 4.1. Типы лазеров, используемые для лечения ВРВ

Варикозная болезнь, или варикозное расширение вен, в быту часто именуется «болезнью усталых ног». Но на самом деле факторы, ее вызывающие, куда сложнее. А само по себе заболевание — отнюдь не просто безобидный косметический недостаток. Варикозная болезнь нижних конечностей приводит к возникновению хронической венозной недостаточности — состоянию, конечным итогом которого может быть возникновение венозной трофической язвы

В подавляющем большинстве случаев имеем дело с варикозной болезнью средней тяжести, которая сегодня эффективно и практически без рецидивов лечится. Но обо всем по порядку.

Чем опасна варикозная болезнь

Варикозная болезнь нижних конечностей — заболевание, при котором изменяется строение стенки вены. Сосуды становятся более длинными, извитыми, в участках истончения стенок расширяется просвет, образуя узлы.

Статистика: Варикоз — болезнь с наследственной предрасположенностью. Вероятность ее появления у тех, в чьей семье никто не страдал от патологии вен, составляет не более 20%. При болезни одного из родителей риск возрастает: для

мужчин — до 25%, для женщин — до 62%. При наличии заболевания у обоих родителей, вероятность появления варикоза у потомков — 90%.

При варикозе нарушается соотношение двух главных структурных белков венозных стенок: коллагена и эластина. Если коллаген формирует жесткость, то эластин, как следует из его названия, отвечает за эластичность — способность стенки вены возвращаться к исходному состоянию. У больных варикозом количество этого белка в венозной стенке снижено. Изменяется и сам коллаген: вместо преобладающего в норме коллагена III типа, отвечающего за эластичность, повышается содержание коллагена I типа — ригидного, сохраняющего в себе остаточную деформацию. Изменяется и количество гладкомышечных клеток, которые регулируют просвет сосуда, нарушается способность к взаимодействию между ними. Данные патологические изменения имеют наследственную природу. Далее же в игру вступают внешние факторы:

- длительные статические нагрузки — необходимость неподвижного нахождения стоя или сидя;
- избыточный вес;
- беременность и роды.

Некоторые эксперты указывают в качестве предрасполагающих факторов хронические запоры, узкую одежду, повышающую внутрибрюшное давление, и высокие каблуки, нарушающие нормальную работу мышечной помпы голеней.

По отдельности или в сочетании эти факторы повышают давление внутри венозной системы нижних конечностей. Измененная венозная стенка перестает «удерживать» давление, просвет вены расширяется. В результате расширения просвета вены перестают работать клапаны, которые обеспечивают

ток крови только в одном направлении. Возникает рефлюкс — обратный отток. Давление внутри пораженной вены повышается еще сильнее, и порочный круг замыкается.

Повышенное венозное давление в сочетании с изменением структуры стенки со временем запускают воспалительную реакцию — поначалу только на поверхности клапанов и внутренней стенки сосудов. Постепенно воспалительные белки и клетки крови начинают «просачиваться» сквозь поврежденную венозную стенку в окружающие ткани. Там они разрушаются, выделяя активные вещества — медиаторы воспаления. Они повреждают окружающие клетки и привлекают лимфоциты, чья функция — удалить поврежденные ткани. В результате развиваются отек, индурация (уплотнение) кожи голени, гиперпигментация. Данные процессы могут стать причиной венозной трофической язвы. Длительное воспаление венозной стенки также способствует повышению свертываемости крови. В сочетании с венозным застоем это приводит к тому, что в варикозно расширенном участке вены начинают формироваться тромбы. Возникает тромбофлебит — еще одно опасное осложнение варикозной болезни.

Проявления варикозной болезни делят на объективные и субъективные. Субъективные симптомы — это жалобы пациента на:

- тяжесть в ногах;
- быструю утомляемость;
- парестезии — неприятные ощущения «мурашек», изменение чувствительности;
- жжение в мышцах;
- боли в ногах, характерная особенность которых — интенсивность уменьшается после прогулки;
- отеки по вечерам;

-синдром «беспокойных ног» — состояние, при котором дискомфорт в ногах не дает заснуть;

-ночные судороги в нижних конечностях.

Сочетание этих симптомов и их выраженность индивидуальны и не всегда коррелируют с изменениями венозной стенки и окружающих тканей.

Сочетание субъективных жалоб и объективных изменений тканей нижних конечностей лежит в основе современной классификации варикозной болезни и хронической венозной недостаточности:

C₀ — есть жалобы, но на вид никаких изменений нет, поражение вен можно обнаружить только при специальном обследовании и тестах;

C₁ — появляются «паучки» (научное название — телеангиоэктазии) или становится видна сеть внутрикожных расширенных вен (ретикулярный варикоз);

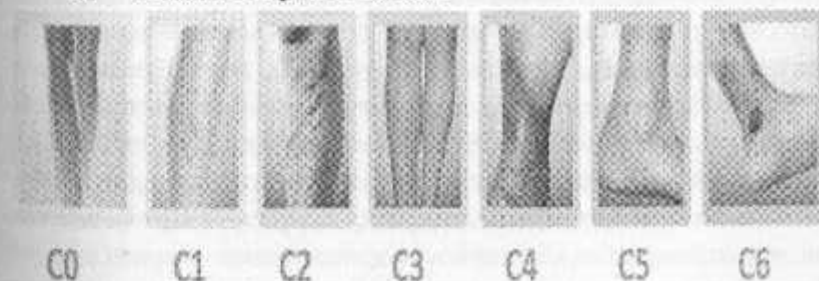
C₂ — диаметр расширенных подкожных вен превышает 3 мм, появляются варикозные узлы;

C₃ — пораженная нога становится постоянно отекающей;

C₄ — появляются изменения в окружающих тканях: кожа темнеет (гиперпигментация), развивается экзема, индурация подкожной клетчатки;

C₅ — стадия зажившей язвы;

C₆ — стадия открытой язвы.



Начиная с четвертой стадии описанные трофические изменения кожи уже невозможно полностью устранить. Даже вылеченная варикозная болезнь на этом этапе не приведет к полному рассасыванию гиперпигментации или индурации. Необходимо помнить о довольно опасном осложнении — тромбоэмболии.

На заметку: от 30 до 60% случаев гибели из-за внезапно возникшего тромбоза глубоких вен и дальнейшей тромбоэмболии случаются на фоне варикозной болезни в сочетании с вовремя не обнаруженным и не вылеченным тромбофлебитом.

Поэтому не следует откладывать лечение варикозной болезни на потом, особенно на фоне достижений современной флебологии.

Современные методы лечения варикозной болезни

Современными можно считать методы и методики, которые отвечают нескольким критериям: минимальная инвазивность (травматичность), высокая эффективность, низкая вероятность рецидивов и осложнений, короткий реабилитационный период.

Консервативная терапия. Включает использование компрессионного трикотажа, мазей и венотоников (лекарств для приема внутрь). Современные клинические рекомендации говорят о том, что венотоники могут уменьшать субъективные проявления (жалобы) на ранних стадиях болезни и снижать отеки, но никак не влияют на состояние самой венозной стенки. Различного рода мази имеют тот же эффект. Компрессионный трикотаж считается очень эффективным средством лечения варикозной болезни, поскольку уменьшает проявления венозной недостаточности, облегчает субъективные жалобы пациента, предотвращает прогрессирование варикозной болезни. Однако компрессионный трикотаж не

способен вылечить варикозную болезнь — расширенные вены не станут работать правильно.

Важно знать!

Единственный эффективный метод лечения варикозной болезни — удаление измененной вены, которая неспособна выполнять свои функции.

Традиционное хирургическое удаление. Пораженная большая или малая подкожная вена перевязывается в месте впадения в глубокую венозную систему, после чего она удаляется специальным металлическим зондом. Эта операция эффективна, однако достаточно травматична и требует долгого восстановления. Высока вероятность послеоперационных осложнений — гематом, послеоперационных парестезий и невралгии.

Склеротерапия. Внутрь варикозно расширенной вены вводится специальный препарат, который «склеивает» ее стенки. Процедура малотравматична и рекомендована для лечения вен небольшого диаметра. Однако для удаления неработающего ствола большой и малой подкожной вены используется редко, так как характеризуется более высокой частотой рецидивов. Кроме того, возможно такое неприятное осложнение, как гиперпигментация в рамках склерозирования.

Эндовенозная лазерная коагуляция (ЭВЛК) — малоинвазивный, безопасный, современный и эффективный вид лечения варикоза. Имеет названия-синонимы: эндовенозная лазерная абляция, эндовазальная коагуляция вен нижних конечностей, эндовенозная лазерная облитерация (ЭВЛО). Но каково бы ни было название, техника лазерной коагуляции остается одинаковой. Через прокол в вену вводят радиальный оптоволоконный световод. Затем с помощью специальной помпы вокруг вены накачивается раствор анестетика, который не только обезболивает процедуру, но и сдавливает вену,

уменьшая ее диаметр и защищая тем самым от перегрева окружающие ткани. Для процедуры используют современные сосудистые лазеры, которые генерируют две волны: одна из них поглощается гемоглобином крови, вторая — сосудистой стенкой. Вена «заваривается». Все этапы (положение световода, инфильтрация раствора вокруг вены, сам процесс «заваривания») в режиме реального времени контролируются УЗ-аппаратами. Длительность процедуры ЭВЛК на одной конечности — 30–60 минут.

Преимущества метода:

-Минимальная травматичность, что позволяет проводить процедуру в амбулаторных условиях и под местной анестезией;

-можно отправляться домой сразу после операции;

-быстрое восстановление;

-хороший косметический результат: не остается следов и шрамов;

-высокая эффективность, низкий процент рецидивов.

Поскольку эндовенозная лазерная коагуляция на данный момент считается одним из самых передовых, малотравматичных и малоинвазивных видов лечения варикоза, рассмотрим данную методику подробнее.

Показания к лазерной коагуляции

Основное показание — это варикозное расширение вен вне зависимости от диаметра венозного ствола и вариантов его анатомического строения. Расширить круг показаний ЭВЛК удалось благодаря совершенству современного оборудования — двухволновых лазеров, радиальных световодов.

Противопоказания к процедуре

В большинстве случаев они сводятся к тяжелым соматическим состояниям пациента:

-тромбоз (обструкция, окклюзия, закупорка) глубоких вен;

-декомпенсированный сахарный диабет 1-го типа;
-тяжелый атеросклероз артерий и ишемия нижних конечностей;

-тяжелые сердечно-сосудистые заболевания: ишемическая болезнь сердца, в особенности стенокардия покоя, обширный инфаркт миокарда со снижением сердечного выброса, тяжелые формы аритмии сердца, инсульты [8];

-тяжелые нарушения свертываемости крови как в сторону снижения, так и в сторону увеличения;

-беременность и кормление грудью;

-индивидуальная непереносимость используемого анестетика;

-невозможность физической активности сразу после процедуры;

-невозможность использования компрессионного трикотажа.

Характерно, что возраст пациента противопоказанием не является.

Как делают лазерную коагуляцию вен

Нездолго до манипуляции следует приобрести компрессионные чулки 2-й степени компрессии (25–32 мм.рт.ст.). Подробно о том, какой именно размер потребуется, расскажет врач. Сама эндовазальная лазерная коагуляция какой-либо специальной подготовки не требует.

Все этапы эндовенозной лазерной облитерации проходят под постоянным ультразвуковым контролем.

1. Перед началом процедуры «размечается» вена: врач ставит на коже метки, соответствующие местам обратного тока крови, впадения в вену притоков.

2. В начале манипуляции происходит местное обезболивание, пунктируется (прокалывается) вена. Ощущения при этом ничем не отличаются от обычного внутривенного

укола. С помощью специального катетера в вену водится радиальный световод.

3. Далее вокруг вены создается защитная «муфта» из обезболивающего препарата. Под контролем УЗИ, с помощью специального насоса врач вводит в пространство вокруг сосуда местный анестетик. Это позволяет не только обезболить, но и защитить окружающие ткани от избыточного тепла лазера.

4. Сама процедура ЭВЛО варикозных вен. В современных световодах лазерное излучение подается равномерно по всей окружности прибора, обеспечивая равномерный нагрев вены изнутри. После извлечения световода пациент проходит ультразвуковой контроль состояния обработанного сосуда, а также глубоких вен конечности.

5. На пациента надевается компрессионное белье.

Сразу же по окончании манипуляции пациент должен совершить прогулку, продолжительностью не менее 40 минут.

Возможные осложнения

Их немного, они временные, а вероятность осложнений связана преимущественно с применением устаревшего медицинского оборудования и с невысокой квалификацией врача.

-Тромбоз глубоких вен — может появиться у пациентов со склонностью к повышенному тромбообразованию. Поэтому для профилактики этого осложнения пациентам назначают препараты, снижающие свертываемость крови. Их применяют в течение 4–5 суток после вмешательства.

-Тромбофлебит — связан чаще всего с недостаточной интенсивностью лазерного воздействия.

-Пигментация по ходу обрабатываемой вены рассасывается в течение 1,5–2 месяцев.

-Ощущение «натянутой» вены — проходит в течение 1,5 месяцев.

Чтобы максимально предотвратить развитие каких-либо осложнений, следует придерживаться нескольких простых правил, соблюдение которых необходимо для успешной реабилитации.

Реабилитация

В первые сутки могут быть ноющие и тянущие боли по ходу вены. Для их устранения достаточно обычных обезболивающих средств. В первые несколько дней может подняться температура. Достаточно принять традиционные средства, ее снижающие.

В целом для успешной реабилитации нужно соблюдать 2 главных условия — носить компрессионное белье и поддерживать достаточную физическую активность.

-Компрессионное белье — в течение первых 5 суток его не снимают даже на время ночного сна. Это необходимо для того, чтобы вена полностью «склеилась» и зарубцевалась. Далее компрессионный трикотаж надевают только в дневное время. Достаточно носить компрессионное белье 2,5–3 месяца, но в случае наличия факторов риска (малоподвижная, стоячая работа, прием женских половых гормональных препаратов) желательно дальнейшее профилактическое ношение компрессионного трикотажа.

-Физическая активность — ежедневно рекомендуется ходить не менее часа. Но от занятий интенсивным спортом придется отказаться примерно на месяц.

В течение месяца нужно избегать горячих ванн, посещения бани и сауны.

Оценка эффективности метода

Анализ зарубежных и отечественных публикаций показывает, что эффективность лазерной коагуляции варикозных вен колеблется в пределах от 93 до 100%. Неудачи могут быть обусловлены несколькими группами факторов:

- анатомическими особенностями оперируемой вены;
- нарушениями технического исполнения ЭВЛК (недостаточная мощность лазера, недостаточное сдавление вены анестезирующим раствором);
- несоблюдением пациентом правил послеоперационного режима (обычно — отказ от компрессии).

Ближайшие и отдаленные результаты лазерной коагуляции вен нижних конечностей лучше, чем у радиочастотной абляции и склеротерапии, и сопоставимы с традиционными оперативными методиками. При этом лечение варикозной болезни лазером куда лучше переносится, время реабилитации короче, а количество осложнений меньше, чем при классических операциях.

§ 4.2. Лазеры применяемые в флебологии

Использование лазерных установок во флебологии многопланово. Лазерный луч можно доставлять к объекту приложения путем инвазивных и неинвазивных процедур. Первые подразумевает внедрение оптических световодов через кожные покровы внутрь организма. Сюда относят внутривенное лазерное облучение (далее ВЛОК) и эндовенозную лазерную коагуляцию (далее ЭВЛТ).

При ВЛОК происходит облучение венозной крови через установленный внутривенно световод низкоинтенсивными лазерными лучами длиной волны около 0.6 мкм. Используется гелий-неоновый лазер. Метод используется в основном как дополнение к комплексной терапии для лечения хронической патологии вен, трофических язв, посттромботической болезни вен с трофическими расстройствами. Есть мнение о воздействии на свертывающую систему крови.

Механизм действия также связан с анальгезирующим, антиоксидантным, сосудораспирающим, противоотечным,

биостимулирующим действием. Для венозных пациентов обычно снижается чувство тяжести, наблюдается положительная динамика раневого процесса. Противопоказаниями для ВЛОК являются онкологические болезни, лихорадка неясной этиологии, туберкулез, заболевания кроветворной системы. Производится процедура ВЛОК следующим образом: в положении лежа делается венепункция кубитальной вены. Через иглу вставляется световод или используют специальное устройство. Процедура ВЛОК длится 20-30 минут обычно ежедневно, на курс до 10 раз.



Рис.4.2. Аппарат для влок - МУЛАТ

Относительно новый метод лечения варикозных вен с помощью лазеров – ЭВЛТ. Действие основано на поглощении гемоглобином крови лазерных лучей с выделением тепла. При этом происходит вскипание плазмы и ожог эндотелия. В дальнейшем в просвете вены организуется плотный тромб. Диапазон длин волн лазерного излучения простирается от 800 до 2000 нм. Методом ЭВЛТ облитерируются как магистральные, так и перфорантные вены. В основных чертах происходит следующее: в дистальный (нижний) отдел магистральной вены вводится путем пункции световод и продвигается до соединения с глубокой веной. В случае большой подкожной вены (БПВ) до сафенофemorального соединения,

в случае с малой подкожной веной (МПВ) до сафенопоплитеального соустья. Контроль за продвижением может осуществляться при поддержке ультразвукового сканирования, либо визуально, следя за продвижением пилотного луча на конце световода, который просвечивает через кожу. При достижении соединения с глубокими венами начинается непосредственное лазерное воздействие на вену. При подтягивании световода подается импульсное излучение через определенные интервалы. После извлечения всего световода, в проекции облученной вены устанавливается валик, нога бинтуется эластичным бинтом. Методика не предусматривает оперативное разобщение поверхностных и глубоких вен, то есть разрез в области паха не делается. Варикозные притоки удаляют другими методами.

Лазерное склерозирование перфорантных вен - еще одна область применения лазеров. Делают ее, конечно строго под контролем УЗИ.

Используют следующие виды лазеров: диодный длиной волны 940 нм, диодный 1030 нм, лазер на алюмоиттриевом гранате 1064 нм, 810 нм и другие, придерживающиеся определенной длины волны, необходимой для лечебного воздействия.

После лазерной облитерации могут быть следующие осложнения: парестезии, ожог, болевой синдром, флебит, гиперпигментация. Выполнение операции возможно, как с местной анестезией, так и под наркозом. Отдаленные результаты этого нового метода лечения еще не получены, и сказать, что оно по всем статьям лучше нельзя. Одним из главных критериев для флеболога является подсчет отдаленных рецидивов после операции. Не факт, что он окажется меньше, чем при других методах лечения, как это уже было в слу-

чае с электрокоагуляцией и криодеструкцией варикозных вен.

Неинвазивная доставка лазерных лучей используется для лечения внутрикожных сосудов нижних конечностей, лица, плечевого пояса - так называемых телеангиэктазий (далее ТАЭ). Лучшие результаты получены на сосудах лица. Если необходимый лечебный эффект на лице достигается в 90-95% случаев, то для ног он обычно составляет до 50%. Телеангиэктазии - мелкие сосуды, диаметр их не более 1 мм, в просторечии это обычные сосудистые звездочки, или сосудистая сетка. Различают артериальные (ярко красные), капиллярные, и венозные (синеватые) ТАЭ. Первые обычно более тонкие. По форме они бывают линейные, древовидные, паукообразные, точечные. Чем тоньше ТАЭ, тем лучший эффект от лазера. Сосуды более 1 мм поддаются микросклеротерапии (один из вариантов компрессионной склеротерапии). Рационально сочетание этих двух методов, так как обычно сочетание ТАЭ разных типов и размеров у одного пациента. Основа действия лазера при лечении ТАЭ - возможность поглощения оксигемоглобином лазерной энергии с выделением тепла. Метод не подразумевает контакт световода с кожей.

Коагуляцию выполняют путем точечного воздействия на сосуды. Расстояние между точками приложения лазерного луча минимально, и составляет 0.5-1.0 мм. Процедура малоболезненная, пациент испытывает легкие колющие болевые ощущения. Предварительное охлаждение заинтересованной области уменьшает их.

Перед лазерной коагуляцией на 1-2 недели и после нее следует исключить инсоляцию кожных покровов. Если у пациента неподходящий тип кожи, то от лазерной коагуляции следует воздержаться, ибо это может привести к ожогам и длительной пигментации. Следует ориентироваться на классификацию типов кожи по Фитцпатрику.

Типы кожи по Фитцпатрику:

Тип 1 Никогда не загорают, всегда обгорают (обычно чрезмерно белая кожа, светлые волосы, голубые/зеленые глаза) Европейцы

Тип 2 Иногда могут загореть, но чаще обгорают (светлая кожа, русые или каштановые волосы, зеленые/карие глаза) Европейцы

Тип 3 Чаще загорают, но иногда обгорают (средняя кожа, каштановые волосы, карие глаза) Европейцы

Тип 4 Всегда загорают, никогда не обгорают (оливковая кожа, темные волосы, темные глаза) Азиаты, индейцы, кавказцы

Тип 5 Никогда не обгорают (темно-коричневая кожа, черные волосы, черные глаза) Креолы, мулаты, самбо.

Тип 6 Никогда не обгорают (темная кожа, черные волосы, черные глаза) Черноекожие.

Таким образом, типы 4-6 не подлежат лазерному лечению ТАЭ, что связано с большим количеством меланоцитов в эпидермисе. Образующий ими меланин задерживает лазерные и ультрафиолетовые лучи, что может привести к ожогу и отсутствию нужного эффекта для сосудов.

Возможные побочные эффекты лазерной терапии ТАЭ: гиперемия, локальный отек, образование нежного струпа (корочки), который спадает через 1 неделю, гиперпигментация. После процедуры кожу смазывают антибактериальной или гормональной мазью.

Бесконтактное низкоинтенсивное воздействие лазерного излучения относят к физиотерапевтическим процедурам и используют для воздействия на трофические язвы и на сосудистые образования, располагая луч лазера в проекции крупных сосудов. Лазерное облучение крови низкоинтенсивным лазером (ЛОК) увеличивает содержание гепарина,

уменьшает способность к тромбообразованию, увеличивает кислородную емкость крови.

Фотодинамическое лечение трофических язв проводят после нанесения фотосенсибилизатора, с последующим облучением длиной волны 600 нм. Сенсибилизатор, поглотив квант света, переходит в возбужденное состояние и вступает в фотохимические реакции. Происходит гибель бактерий, усиление активности лейкоцитов, улучшение микроциркуляции. Скорость заживления трофических язв увеличивается.

Лазерное лечение варикоза имеет неоспоримые преимущества перед другими методами по всем параметрам.

Самым эффективным лечением варикоза является технология с использованием высокочастотных лазеров — ЭВЛК (эндовазальная лазерная коагуляция).

Лазерная терапия варикоза может считаться прекрасной альтернативой традиционным методам хирургического лечения варикозного расширения вен.

Суть метода лазерной терапии варикозного расширения вен заключается в том, что лазер оказывает на стенку сосуда термическое воздействие. Происходит прижигание стенки вены, асептическое воспаление, в результате чего просвет вены легко зарастает. Использование радиального световода обеспечивает равномерное «запаивание» вены любого диаметра без каких-либо побочных эффектов.

На конце световода имеется рассеивающая лазерную энергию микролинза, укрытая колпачком. Лазерная энергия на выходе из световода рассеивается кольцом вокруг световода на 360 градусов. Это обеспечивает не точечное воздействие на вену, как при использовании обычного торцевого волокна, а равномерное распределение лазерной энергии по стенкам обрабатываемой вены.

Сам световод вводится в вену под контролем доплерографии. Поэтому световоду и подается лазерное излучение.

Лазерная коагуляция хорошо переносится и может выполняться на обеих ногах одновременно. Лазер позволяет устранять патологические венозные сбросы без операции. Он эффективней склеротерапии для лечения венозных трофических язв.

Послеоперационный период после ЭВЛК совершенно безболезненным, не нарушая обычного образа жизни. Сразу после процедуры пациент должен походить минут сорок-час. Прогуливаться желательно быстрым шагом. Первые дни после процедуры необходимо ходить не менее 1 часа в день.

Трудоспособность не нарушается, требуется лишь соблюдение предписанного врачом режима ношения компрессионных чулок (сроком до 10 дней). Применение трикотажа позволяет сжать вены, в результате чего ее стенки быстрее зарастают. Никаких пиявок при этом накладывать не требуется. После лазерного лечения следов на коже не остается, великолепный косметический результат. Очень редко бывает темная полоска кожи, которая исчезает через 2-3 месяца.

Преимущества лазерного метода лечения варикозной болезни (ЭВЛК) Без боли

Лазерное лечение варикоза современными аппаратами безболезненно во время и после операции и почти не нагревает окружающих тканей. Благодаря этому, уменьшается количество синяков после лазерной операции и значительно облегчается послеоперационный период. Современная местная тумесцентная анестезия с использованием буферных растворов не вызывает болевых ощущений во время самой процедуры. Пациент чувствует только уколы при анестезии, о которых его предупреждает доктор.

Без разрезов

Манипуляция малоинвазивная и проводится без разреза. Под местной анестезией анестетиком, проводится прокол

вены специальной иглой, через которую проводится световод в просвет варикозной вены. ЭВЛК не оставляет никаких рубцов и пигментации. Через 2-3 недели после процедуры нога принимает совершенно естественный вид. После лазерного лечения нет избыточной пигментации. Сочетание ЭВЛК с микрофлебэктомией позволяет добиться замечательных эстетических результатов даже при очень крупном варикозе.

Радикально

Методика, гарантируют избавление от варикозно расширенных вен с 98,3% эффективностью.

Безопасно

При применении ЭВЛК осложнения встречаются крайне редко. К ним можно отнести умеренную болезненность и синяки в области операции. Применение специального обезболивающего состава для местной анестезии значительно уменьшает болевой синдром и синяки.

Не нарушает образа жизни

Восстановительный период после лазерного лечения вен проходит очень легко. По окончании процедуры применяются компрессионные чулки, и пациент сразу может идти домой. Лазерное лечение при варикозной болезни позволяет сохранить трудоспособность, физическую активность и нормальный образ жизни пациента.

Эндовенозная лазерная коагуляция — самый современный, эффективный и безболезненный метод лечения варикоза.

§ 4.3. Эндовазальная лазерная облитерация

Если стволовой варикоз не лечить, он может привести к серьезным осложнениям. Самым грозным из них является

тромбофлебит, который может привести к тромбоэмболии легочной артерии и мгновенной смерти.

На протяжении многих лет методы борьбы с варикозным расширением вен улучшались и совершенствовались. Большие классические оперативные вмешательства сейчас практически не используются. У сосудистых хирургов и флебологов появились новые малоинвазивные методы лечения, чрезвычайно эффективные, которые не оказывают травматического воздействия на здоровые ткани.

Одним из таких инновационных методов лечения варикоза является эндовазальная лазерная облитерация (ЭВЛО), результаты лечения видно практически сразу. Эта методика позволила полностью избавиться от варикозного расширения вен многим пациентам нашего центра.

Эндовенозная лазерная облитерация (ЭВЛО) вен – это метод лечения варикозно расширенных магистральных вен нижних конечностей, при котором используется специальный световод, который действует лазерным излучением на варикозную стенку вены. Лазерный световод вводится внутрь вены и воздействует на ее внутреннюю оболочку. Получается своеобразный «ожог» стенки вены, из-за чего на пораженном лазером участке развивается склероз, просвет вены закрывается и в дальнейшем происходит ее полное рассасывание. После такой операции не стоит переживать, что крови не будет ходу в нижней конечности. Эндовазальная лазерная облитерация внешне ухудшает отток крови. Он будет проводиться по глубоким венам, благо, их достаточно для компенсации, при этом нога не страдает.

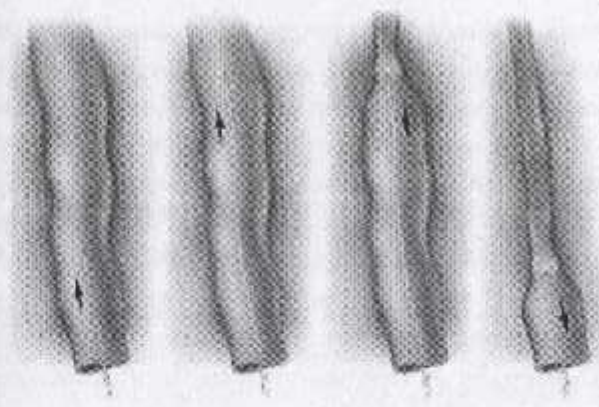


Рис.4.3. Как происходит запаивание вены при лазерной облитерации
Какое оборудование используется для проведения эндовенозной лазерной облитерации (ЭВЛО)?

Какое оборудование используется для проведения операций такого уровня, как эндовазальная лазерная облитерация? Появились новейшие лазерные установки немецкой компании Biolitec, что в значительной мере облегчают работу хирургов и улучшают качество самих процедур.



Рис.4.3.1. Лазерный генератор компании Biolitec, который мы используем для проведения ЭВЛО

Немецкая фирма Biolitec также разработала специальные радиальные световоды. Их сразу же взяли на вооружение ведущие центры флебологии. Эта разработка позволяет коагулировать вены абсолютно любого диаметра и, что чрезвы-

чайно важно для пациентов, сделать процедуру абсолютно безболезненной.

Применение нового радиального световода под названием Radial Fiber позволило существенно сократить время проведения операции. Эндовазальная лазерная облитерация (ЭВЛО), проводится сейчас значительно быстрее, потому что этот уникальный световод распространяет пучки света на все 360 градусов. При этом на стенку вены производится не точечное воздействие, как при работе старого торцевого световода, а равномерное на протяжении всего пораженного варикозом участка.

Эндовазальная лазерная облитерация вены

Эндовазальная лазерная облитерация вены по методике ELVeS Radial — это нежная и эффективная процедура, которая обеспечивает комфорт пациента во время и после лечения.

Эндовазальная лазерная облитерация вены по методике ELVeS Radial — это нежная и эффективная процедура, которая обеспечивает комфорт пациента во время и после лечения.

На основе непрерывных усовершенствований был разработан радиальный световод ELVeS Radial.

Равномерность радиального луча позволяет свести к минимуму риск перфорации стенки вены. Эффективность и безопасность применения лазерной энергии достигается чрезвычайно низким уровнем проникновения в стенку вены. Глубина проникновения волны излучения позволяет закрыть вену с использованием минимальной энергии. Применение тумесцентной анестезии сводит к минимуму риск развития нарушений чувствительности, ожога кожи, и болевых ощущений во время процедуры. Пациент может увидеть желаемый результат сразу после этой малоинвазивной процедуры.

Использование одноразового световода ELVeS Radial предотвращает износ волокна, неисправности и риск биологического заражения пациента, снижает риск для здоровья и жизни до минимума.

§ 4.4. Трансдермальное использование лазеров для лечения варикозной болезни

Склеротерапия продолжает оставаться «золотым стандартом» в лечении ретикулярных вен (РВ) и телеангиоэктазий (ТАЭ) и показывает высокую эффективность. Однако наравне со склеротерапией для лечения ретикулярного варикоза применяется длинноимпульсный неодимовый лазер с длиной волны 1064 нм, который способен эффективно коагулировать внутрикожные сосуды диаметром до 3 мм. Лазерное излучение с длиной волны 1064 нм глубоко проникает в дерму и достигает внутрикожных сосудов разного диаметра. Наиболее подходящими хромофорами являются фиолетовые и синие дезокситенированные ТАЭ и венулэктазы, что позволяет окклюзировать их с высокой эффективностью. Используемое контактное и/или воздушное охлаждение уменьшает болезненность процедуры и предупреждает термическое повреждение эпидермиса, что делает трансдермальный неодимовый лазер безопасным и фактически исключает возможность ожогов.

Сравнительный анализ применения склеротерапии и неодимового лазера в рамках лечения ТАЭ нижних конечностей показывает примерно одинаковую эффективность, однако каждый из методов однозначно имеет определенные преимущества на определенных сосудах. Лазерная обработка РВ, сопровождается выраженными болевыми ощущениями, а спазм вены после воздействия редко приводит к ее стойкой окклюзии, поэтому подвергать лазерной обработке РВ диа-

метром более 2–3 мм противоречиво с практической точки зрения. В то же время склерооблитерация РВ малоблезненна и не менее эффективна. РВ малого диаметра (1–2 мм) могут быть с успехом обработаны трансдермальным лазером, однако выраженная пигментация в зоне лечения делает эту позицию также противоречивой с точки зрения длительности существования побочных эффектов, в частности пигментации (рис. 1). Использование склерозантов детергентного типа (фибровейн, этокси-склерол) в больших объемах и концентрациях, несомненно, увеличивает вероятность таких трудноконтролируемых побочных эффектов, как телеангиоэктатический мэттинг. Использование трансдермального лазера позволяет уменьшать количество введенного склеропрепарата за сессию, а значит, и риск побочных эффектов.

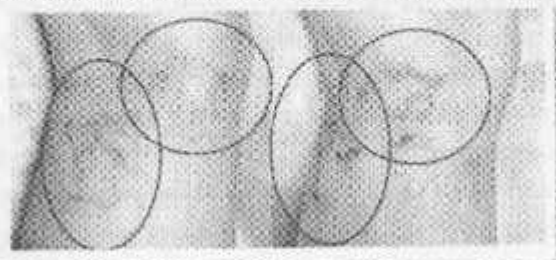


Рис.4.4. Ретикулярные вены до и через 2 нед. После обработки трансдермальным лазером. Видна выраженная пигментация по ходу окклюзированных сосудов.

Наиболее целесообразно использовать комбинированное лечение, включающее как склеротерапию, так и трансдермальный лазер. Сочетание повреждающих эндотелий факторов – склерозанта и лазерного фототермолиза улучшает результаты лечения.

Исходя из этих предпосылок, используется в клинической практике комбинированный подход, основанный на следующих принципах, применяемых последовательно:

1. Фотодокументация перед каждой лечебной сессией для наиболее правильной оценки результатов. В клиническом примере, продемонстрированном в этом материале, фотографии зон интереса выполнены до лечения и после первого сеанса (перед вторым). Правильная оценка результата перед следующей сессией является важной для понимания эффективности выбранной тактики. Это позволяет корректировать параметры лечения – концентрацию склерозанта, настройки трансдермального лазера.

2. Дополнительная визуализация РВ при помощи устройства по типу тепловизора, проецирующего изображение внутрикожных вен на кожу (веновизор). Веновизор может быть необходим для визуализации «питающих вен», покрытых сверху телеангиоэктазиями. С его помощью РВ прослеживаются на всем протяжении, что позволяет флебологу лучше представлять объем поражения. На фото наиболее значимые РВ отмечены синими стрелками.

3. Инъекционная склеротерапия РВ жидким 0,2–0,3 % фибровейном под контролем Veinviewer до достижения отчетливого спазма целевых вен.

4. Обработка трансдермальным лазером телеангиоэктазий с использованием длинноимпульсного неодимового лазера, размер рабочего пятна – 6 мм, длительность импульса – 12, 15, 45 мс, флюенс – 120–150 Дж/см².

5. Вовремя склеротерапии и обработки трансдермальным лазером для анестезии и охлаждения кожи используется кулер. Дополнительно для охлаждения кожи во время обработки трансдермальным лазером мы использовали холодные гелевые пакеты. Сочетание обоих способов охлаждения позволяет работать при температуре поверхности дермы 4–9 °С.

6. После обработки трансдермальным лазером недостаточно изменившиеся сосуды (спазм, изменение цвета – по-

темнение) инъецируются склеропрепаратом. В представленном клиническом примере продемонстрирована эффективность комбинированного подхода. Дан промежуточный 6-недельный результат, отражающий выраженность побочных эффектов и непосредственную эффективность сессии.

Пациентка Н., 32 года, без рефлюксов в системе подкожных вен, с признаками ретикулярного варикоза, ранее не лечилась, обратилась в клинику для устранения косметической проблемы – ретикулярного варикоза. На рисунках 4.4.1–4.4.2 отчетливо видно, что основная эстетическая проблема, как и в классическом варианте, – ТАЭ и РВ боковой поверхности бедра и подколенной области. Зона является единой и связана системой РВ – они отмечены синими стрелками. На рисунке 4.4.3. на передней поверхности бедра хорошо заметны ТАЭ, там есть и менее заметные РВ, коммуницирующие с системой РВ боковой поверхности бедра.

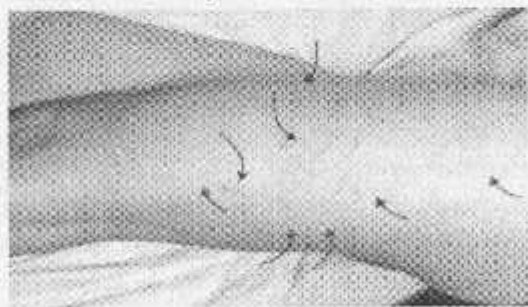


Рис. 4.4.1. Ретикулярные вены (отмечены синими стрелками) и телеангиоэктазы боковой поверхности бедра

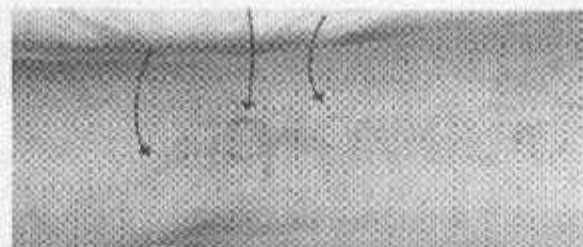


Рис. 4.4.2. Ретикулярные вены и телеангиоэктазы подколенной ямки и нижней трети бедра

Подобный случай классифицируется, по сути, как ретикулярный варикоз смешанного типа с РВ и ТАЭ. Это крайне важно понимать, потому что в этом случае изолированное лечение ТАЭ не будет эффективным.

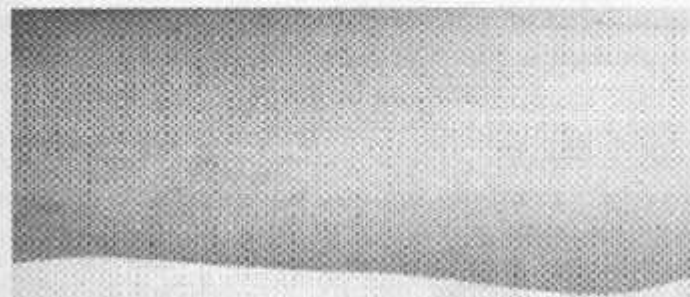


Рис. 4.4.3. Телеангиоэктазы передней поверхности бедра

Сеанс комбинированного лечения продолжался 30 мин. Вначале выполнялись инъекции 0,3 % раствора фибровейна в РВ. Для получения данной нестандартной концентрации склерозанта использовался 3 % фибровейн, разведенный 40 % глюкозой. Данный метод позволяет увеличить вязкость раствора. На рисунке 4.4.1 синими стрелками отмечены места инъекций в РВ. Как видно, при склеротерапии инъекции были частыми, с небольшим объемом вводимого препарата на инъекцию (0,2–0,3 мл). Всего введено 6,0 мл 0,3 % фибровейна.

Сразу после склеротерапии выполнена обработка ТАЭ трансдермальным неодимовым лазером. Использовались воздушный кулинг и контактное охлаждение гелевыми пакетами («криолазер»).

После сеанса пациентке рекомендован обычный образ жизни без ограничений. Явка на повторную процедуру – через 4–8 нед.

Спустя 6 нед. перед вторым сеансом оценен результат сессии. На рисунке 6 представлена боковая поверхность бедра.

Относительно короткая 30-минутная сессия комбинированного лечения в представленном случае имела высокую эффективность: процент очищения от нежелательных сосудов – более 75 %, слабовыраженные эстетически значимые побочные эффекты. Отмечались неинтенсивные следы склерозированных РВ, отсутствие необходимости пунктировать коагулы, полное отсутствие мэттинга. Представленная методика не является уникальной и представляет собой современный вариант лечения эстетических патологий в практике флеболога, позволяет индивидуально манипулировать двумя базовыми методами – лазером и склеротерапией, оценивать эффект от их применения и достигать наилучших результатов в кратчайшие сроки.

ГЛАВА 5. ЛАЗЕРНАЯ ОСТЕОПЕРФОРАЦИЯ

§ 5.1. Общее понятие о лазерной остеоперфорации

§ 5.2. Фармакодинамика. Фармакокинетика

§ 5.3. Понятия о режимах, дозах, времени воздействия

5.1. § Общее понятие о лазерной остеоперфорации

Лечение деструктивных процессов в кости, включая гнойный остеомиелит, представляет трудную задачу.

Метод лазерной остеоперфорации, впервые использован для лечения 36 пациентов с хроническим и 6 - с острым гематогенным остеомиелитом.

Непосредственные результаты лечения остеомиелита не только не уступают известным традиционным методам, но и превосходят их по целому ряду показателей. Метод отличается от известных на сегодняшний день малой травматичностью, хорошей переносимостью большими, способностью в короткие сроки купировать воспалительный процесс в тканях. Этот метод щадящий, не требующий серьезных хирургических вмешательств. С помощью излучения инфракрасного лазера высокой оптической мощности, транспортируемого через тонкий кварцевый световод со специальным термостойким покрытием, в костной ткани в зоне воспаления чрескожно (без разреза) формируется несколько отверстий. На ранних стадиях острого воспаления, никаких дополнительных разрезов, дренирования мягких тканей и костномозгового канала не требуется. В случае запущенного гнойного процесса при, так называемой, экстремедуллярной стадии острого остеомиелита с формированием гнойных затеков и флегмон мягких тканей, лазерная остеоперфорация сочетается с оперативным вскрытием гнойников в мягких тканях. В таких ситуациях она производится как дополнительное вме-

шательство на вторые сутки после вскрытия и дренирования гнойных очагов.

При лечении различных форм хронического остеомиелита, в зависимости от обширности поражения кости, наличия очагов омертвевшей костной ткани (секвестров) метод лазерной остеоперфорации может использоваться, как в качестве самостоятельного, так и в сочетании с оперативным удалением костных секвестров. Эффективность и результативность разработанного метода превосходят все известные традиционные лечебные мероприятия.

При используемых режимах лазерного излучения не происходит глубоких термических поражений мягких тканей и костей. Динамические бактериологические исследования свидетельствовали о быстрой санации гнойного очага и снижении числа высеваемых микроорганизмов ниже критического уровня.

Обнадёживающие результаты первого клинического применения лазерной остеоперфорации в лечении остеомиелитов послужили основанием для расширения сферы применения этого метода для лечения различных деструкций костной ткани (включая не только воспалительные поражения костей, но и травматические повреждения - замедленно срастающиеся переломы и ложные суставы, а также асептические костные некрозы, так называемые остеохондропатии).

Целью исследования явилось обоснование эффективности применения лазерной остеоперфорации в лечении больных с воспалительными и деструктивными заболеваниями костей.

Материалы и методы

Общая характеристика 508 больных остеомиелитом представлена в табл. 1.

В основной группе больных использовали метод лазерной остеоперфорации, как в качестве самостоятельного, так и в сочетании с операцией, в группе сравнения – традиционные методы лечения, включая и оперативное вмешательство.

Таблица 1

Общая характеристика больных остеомиелитом

Формы остеомиелита	Основная группа	Группа сравнения	Всего
Острый гематогенный	74	44	118
Хронический гематогенный	66	52	118
Хронический посттравматический	121	90	211
Первично-хронический	33	28	61
Итого	294	214	508

С целью изучения состояния микроциркуляции в тканях пораженного сегмента конечностей используется лазер доплеровский флуометр. Чрескожная оксигенометрия проводится аппаратом TCM 2. Исследования плотности костной ткани проводится ультразвуковую остеометрию прибором. Компьютерная денситометрия осуществляется аппаратом «СТ МАХ».

Для проведения лазерной остеоперфорации используются полупроводниковые диодные лазеры.

Энергия лазерного излучения доставлялась к ткани через кварц-кварцевый световод диаметром 0,4 мм со специальным термостойким покрытием.

Техника лазерной остеоперфорации

Малоинвазивная операция, при которой тонким световодом контактно за счет лазерного излучения инфракрасного диапазона в костной ткани в зоне воспаления или деструкции чрескожно (без разреза) формируется несколько сквозных отверстий обеих стенок костномозгового канала (рис. 5.1). В зависимости от локализации остеомиелитического процесса используется средняя мощность лазерного излучения от 8 до 20 Вт в импульсном режиме с длительностью остеоперфорации от 3,0 до 8,0 секунд. Пиковая мощность в импульсе порядка 20-30 Вт.

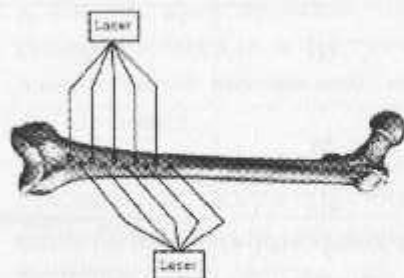


Рис. 5.1. Схема лазерной остеоперфорации

При остром гематогенном остеомиелите проводится открытая механическая остеоперфорация сверлом электродрели диаметром 2 мм с формированием 4 - 6 остеоперфорационных отверстий.

При хронических формах остеомиелита в фазе ремиссии при наличии незначительных очагов костной деструкции (до 0,5-1,0 см) и мелких секвестров (до 0,5 см) лазерная остеоперфорация проводится чрескожно в заранее намеченных по результатам рентгеновских исследований зонах. Формируется от 10 до 20 сквозных отверстий в кости на расстоянии 1,0-1,5 см друг от друга. При наличии свищей производили их лазерную обработку тем же световодом, но в непрерывном режиме, используя мощность 1,5-2,0 Вт в течение 30 секунд.

При наличии обширных и протяженных поражений костной ткани и крупных кортикальных секвестров лазерные остеоперфорации проводятся после оперативного удаления

секвестров, т.е. сочетается оперативное лечение с лазерной остеоперфорацией, которую осуществляют в конце операции. При значительных изменениях в кости лазерные остеоперфорации повторяются, но не ранее, чем через 3 недели после первой остеоперфорации.

Количество сеансов лазерной остеоперфорации не фиксировано.

Эффективность лечения оценивается по следующим критериям:

- клинического улучшения и длительности гипертермии;
- улучшения показателей анализов крови;
- внутрикостного давления (для острого гематогенного остеомиелита);
- изменений цито и бактериологических показателей;
- ультразвуковой и компьютерной остеоденситометрии;
- показателям лазерной флуометрии;
- рентгенологическим изменениям;
- длительности стационарного лечения и срокам реабилитации;
- наличию и характеру осложнений, показателям летальности;
- частоте перехода в хроническое течение (для острого гематогенного остеомиелита);
- длительности ремиссии и наличию рецидивов.

Для изучения воздействия высокоинтенсивного лазерного излучения на процессы костной регенерации проводится исследование костной репарации при экспериментальных переломах трубчатых костей у 24 беспородных собак, подобранных по принципу аналогов: вес – 18-20 кг, возраст – 2-3 года.

С соблюдением правил асептики моделировался перелом лучевой кости передней конечности собаки. Через 7 суток все животные были распределены на 3 группы: в первой

контрольной заживление перелома происходило в естественных условиях, во второй контрольной – производилась механическая остеоперфорация в зоне перелома и в третьей основной – лазерная остеоперфорация в зоне перелома.

Лазерная остеоперфорация осуществлялась чрескожно путем формирования двух сквозных отверстий как в периферическом, так и в центральном отломках и одна остеоперфорация проходила непосредственно через зону перелома. Режимы лазерного излучения были аналогичными как при остеомиелитах.

Результаты эксперимента оценивали по клиническим рентгенологическим, морфологическим и биохимическим данным на 7, 14, 21, 28 и 60 сутки после остеотомии.

Остеоперфорация для лечения остеохондропатий, переломов с замедленной консолидацией и ложных суставов проводилась с использованием тех же источников лазерного излучения и свето-водов, что и при лечении остеомиелитов.

Методика остеоперфораций в клинических условиях заключалась в выполнении от 4 до 12 лазерных остеоперфорационных отверстий, проводимых чрескожно, контактно в импульснопериодическом режиме в зоне рентгенологически определяемого некроза кости или в очаге асептического некроза при остеохондропатиях.

В комплекс лечебных мероприятий при лечении несрастающихся переломов и асептических некрозов костей в зависимости от вида и стадии заболевания включались разгрузка и иммобилизация конечностей.

Оценка результатов лечения производилась по результатам клинических и рентгенологических исследований.

Отдаленные результаты лечения прослежены нами у всех 118 больных острым гематогенным остеомиелитом и у 329 пациентов (84,3%) с хроническими формами остеомиелита в сроки от 2 до 7 лет.

Результаты и обсуждение

Остеомиелит

Анализируя результаты лечения установлено, что применение лазерной остеоперфорации приводит к наиболее ранним положительным изменениям в клинической картине послеоперационного периода. Улучшение общего состояния у больных с острым остеомиелитом в основной группе наступало на 2-3 дня раньше, чем после механической остеоперфорации. Существенные различия в течение послеоперационного периода отмечались и при хроническом остеомиелите. Так, например, сроки эпителизации свищей и длительность стационарного лечения сокращались в два раза (табл. 2).

Таблица 2

Динамика улучшения клинического состояния больных остеомиелитом (M±m)

Показатели	Острый гематогенный остеомиелит		Хронический остеомиелит	
	Основная группа n = 74	Группа сравнения n = 44	Основная группа n=178	Группа сравнения n=151
Длительность болевого синдрома (часы)	17,2±4,8*	36,4±3,6	21,2±0,3*	41,0±0,4
Длительность отека (сутки)	4,0±2,5*	8,6±1,5	5,3±0,1*	6,5±0,1
Длительность гипертермии (сутки)	2,9±1,7	4,8±1,0	1,8±0,3*	1,0±0,2
Длительность стац. лечения (сутки)	8,2±3,1*	18,6±1,23	7,8±0,2*	14,3±0,5
Сроки эпителизации свищей (сутки)			5,9 ±0,1*	8,7±0,1

Примечание: * - достоверность различий между основной группой и группой сравнения (p < 0,05)

Основными звеньями в развитии острого остеомиелита являются повышение внутрикостного давления и высокая патологическая концентрация микроорганизмов в костном очаге. Поэтому все современные методы лечения направлены на снижение костной гипертензии и санацию костномозгового канала. Динамика внутрикостного давления после лечения показана на рис. 5.1.1. Из рис. 5.1.1. видно, что внутрикостное давление снижалось быстрее после лазерной остеоперфорации, чем после механической. В отличие от традиционных операций, основанных только на механической элиминации микроорганизмов, бактерицидное действие лазерного излучения быстро приводит к стерилизации экссудата костномозгового канала, так как к механической декомпрессии присоединялось и прямое противомикробное действие лазерного излучения. В этой связи средние сроки антибактериальной терапии острого остеомиелита сокращались до 5-7 дней в то время, как при традиционных методах лечения они удлинялись до 2 - 4 недель.

Уменьшение отека, гиперемии и напряжения мягких тканей над остеомиелитическим очагом связано с улучшением микроциркуляции. После традиционных операций местные клинические изменения, как правило, наступали на 8-10 сутки, а после лазерных – на 5-6 сутки. Показатели объемного

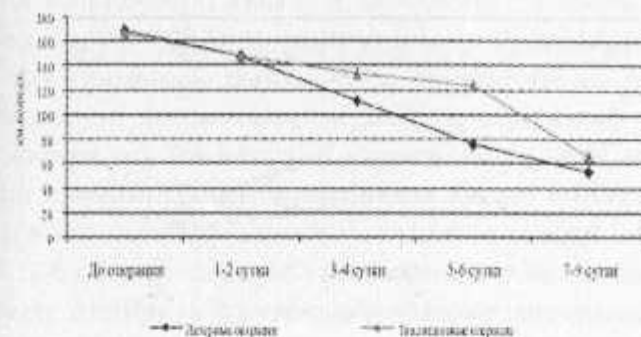


Рис.5.1.1. Динамика показателей внутрикостного давления у детей с острым гематогенным остеомиелитом после операций.

капиллярного кровотока к 3-6 месяцам приближались к показателям здоровой конечности, в то время как после традиционного лечения даже и через 6 месяцев сохранялись его нарушения (рис. 5.1.2).

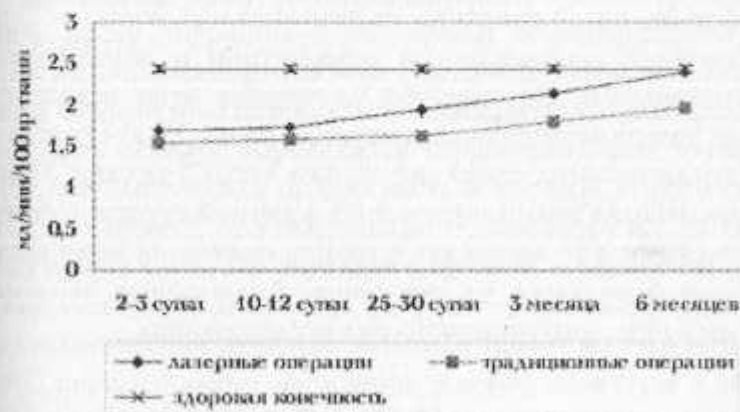


Рис.5.1.2. Состояние объемного кровотока по данным лазерной флоуметрии у детей с острым гематогенным остеомиелитом в зависимости от методов оперативного лечения.

Напряжение кислорода в тканях пораженной конечности до операции было сниженным на 40-50% по сравнению со здоровой симметричной конечностью. Динамические исследования больных с острым и хроническим остеомиелитом показали, что нормализация показателей кислородного обмена ($TcPO_2$) в тканях после оперативного лечения происходит на 2-3 месяца раньше в основных группах, чем в группах сравнения после традиционных операций (рис.5.1.3.).

Применение высокоинтенсивного лазерного излучения при остром и хроническом остеомиелите способствует быстрой нормализации кислородного обмена в тканях пораженного сегмента конечности.

Восстановление нарушенной микроциркуляции и ликвидация гипоксии в мягких тканях способствуют лучшей репарации костной ткани. Для подтверждения этого положения использовали ультразвуковую остеометрию, рентгенографию и компьютерную денситометрию. Клиническое улучшение после операции сопровождалось нормализацией показателей ультразвуковой остеометрии и компьютерной денситометрии. Достоверное улучшение этих показателей после лазерных операций наступало уже с 25-30 суток, а после традиционных операций только через 3 месяца. Полная нормализация этих показателей в основной группе наступала к 6 месяцам, в то время как в группе сравнения даже через 9 месяцев отмечалось их снижение. Аналогичная тенденция имела при рентгенологических исследованиях.

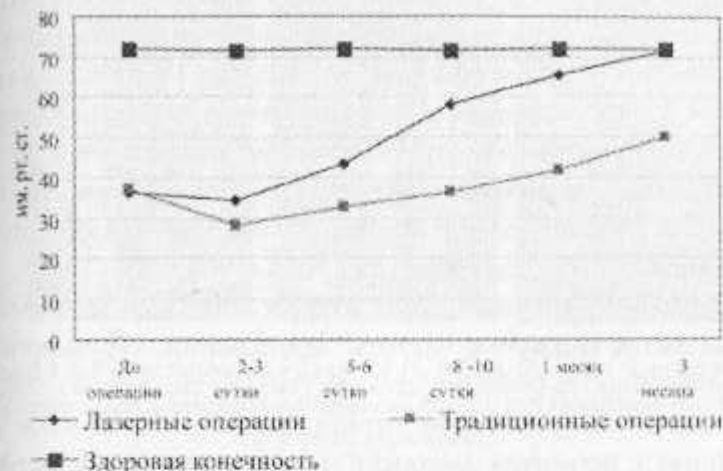


Рис.5.1.3. Динамика напряжения кислорода в тканях над остеомиелитическим очагом у детей сравниваемых групп.

Клинический пример

Девочка П., 9 лет, госпитализирована в клинику через 5 недель после операции механической остеоперфорации и вскрытия остеомиелитической флегмоны левой голени по поводу острого гематогенного остеомиелита большеберцовой кости. При осмотре определялся выраженный отек голени и стопы, патологическая подвижность и костный хруст в средней трети голени, положительные осевые нагрузки на большеберцовую кость. По передневноутренней поверхности голени имелись 3 гнойных свища. На рентгенограмме определялся патологический перелом большеберцовой кости в нижней трети, периостальные наслоения, мелкие секвестры в месте перелома (рис. 5.1.4.а). После 3-х дневной подготовки под наркозом произведена чрескожная лазерная остеоперфорация большеберцовой кости, лазерная термотерапия свищей с удалением гипергрануляций. Гипсовая иммобилизация. В

послеоперационном периоде проведен 7-дневный курс антибиотикотерапии. Свищи закрылись на 5-е сутки. Выписана для амбулаторного наблюдения на 8-е сутки. Гипсовая иммобилизация через 1,5 месяца заменена на пластиковый ортез. Через 3 месяца отмечено сращение перелома. Через 6 месяцев начала давать полную нагрузку на голень. Осмотрена через 3,5 года. Жалоб не предъявляет. Занимается плаванием. Отмечается стойкая ремиссия (рис. 5.1.4.в).

Важным критерием эффективности лечения остеомиелита является снижение частоты осложнений. Применение лазерной остеоперфорации способствовало снижению частоты осложнений при остром остеомиелите с 11,4 до 4,3% по сравнению с лечением методом механической остеоперфорации. При хроническом остеомиелите общая частота осложнений при применении традиционных подходов составила 15,5%, в то время как использование лазерной остеоперфорации привело к снижению ее до 3,4%.

Изучение отдаленных результатов лечения острого и хронического остеомиелитов в сроки от 2 до 7 лет подтверждает преимущества лазерной остеоперфорации. Применение лазерной остеоперфорации сокращает сроки лечения и реабилитации, позволяет добиться полного выздоровления у 95,6% детей с острым гематогенным остеомиелитом, а при хронических формах остеомиелита достичь стойкой и продолжительной ремиссии у 94,1% больных, тем самым снизить частоту рецидивов с 12,7 до 4,3%

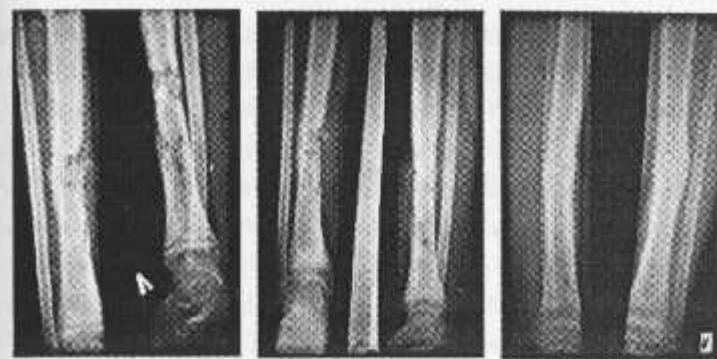


Рис.5.1.4. Рентгенограмма больной П., 9 лет. Острый гематогенный остеомиелит левой большеберцовой кости, осложненный патологическим переломом

а) Патологический перелом в средней трети большеберцовой кости. Множественные мелкие секвестры и очаги деструкции с участками периостальных наслоений в зоне перелома;

б) Через 3 месяца после лазерной остеоперфорации. Свежих очагов деструкции нет. Линия перелома не определяется;

в) Через 6 месяцев после лазерной операции. На месте перелома определяется костная мозоль, очагов деструкции нет, отмечается склероз и утолщение большеберцовой кости в области бывшего перелома, сужение костномозгового канала.

Несрастающиеся переломы костей и ложные суставы

Несрастающиеся переломы костей и ложные суставы являются следствием нарушения процессов костной репаративной регенерации на определенных этапах консолидации переломов. Появление новых технологий и способов оперативного лечения переломов, увеличение оперативной активности привело не только к успехам в лечении сложных пере-

ломов, но и к росту частоты ложных суставов и замедленной консолидации, которая достигает 3,6-51,8% всех осложнений переломов длинных трубчатых костей. Существующие способы стимуляции и методы лечения переломов с замедленной консолидацией довольно многообразны и не лишены недостатков, и не редко сопровождаются осложнениями и неудачами.

Методику лазерной остеоперфорации, разработанную для лечения остеомиелита, попытались адаптировать для решения новой задачи – лечения ложных суставов и переломов с замедленной консолидацией. Предварительно режимы лазерной остеоперфорации для стимуляции заживления переломов были отработаны в эксперименте.

Исследования дали следующие результаты.

Нормализация общего состояния и клиническое выздоровление животных при использовании лазерной остеоперфорации отмечены на 21-е сутки экспериментального исследования. К этому сроку наблюдалась полная опороспособность поврежденной конечности, местные признаки воспаления тканей отсутствовали. В контрольных группах общее состояние нормализовалось только к 28-м суткам, а уверенная опороспособность поврежденной конечности и купирование отека проявились к 30 и 45-м суткам.

При рентгенологическом исследовании на 28-е сутки (рис.5.1.5в) в третьей группе (лазерная остеоперфорация) отмечена консолидация перелома. В контрольных группах сохранялся межотломковый диастаз с более интенсивной тенью регенерата во второй группе (механическая остеоперфорация).

В отдаленном периоде на 60-е сутки после моделирования перелома у собак первой контрольной группы, несмотря на клиническое выздоровление, на рентгенограммах имеется

выраженная периостальная костная мозоль, полного восстановления поврежденного кортикального слоя кости нет. В эти же сроки у животных второй контрольной группы периостальная костная мозоль менее выражена, чем в первой группе, плотность регенерата более интенсивна. Полного восстановления кортикального слоя нет. У собак опытной группы – полное анатомическое восстановление поврежденного участка лучевой кости (рис.5.1.6в). Гистологическое изучение процессов репаративной регенерации проводилось во всех группах на 14-е и 28-е сутки эксперимента. На гистотограммах на 28-е сутки (рис.5.1.7) у собак первой контрольной группы межотломковый диастаз кистозными полостями у корковой пластинки отломков. В обоих отломках определяется эндостальный регенерат и периостальные наслоения толщиной 4-5 мм. Во второй контрольной группе между фрагментами имеется неполное периостальное сращение за счет соединительной ткани с наслоениями губчатой костной ткани. Торцевые поверхности корковой пластинки отломков порозны, между ними имеются слои волокнистой соединительной ткани. В опытной группе в зоне перелома между фрагментами – полное эндостальное и периостальное сращение, мозоль состоит из волокнистого хряща и костной ткани.

Анализ клинических, рентгенологических и морфологических результатов экспериментального исследования убедительно свидетельствует, что механическая и лазерная остеоперфорации обладают стимулирующим действием на процессы репаративного остеогенеза. Однако применение высокоинтенсивного лазерного излучения оказывает более активное и выраженное стимулирующее воздействие на организм животных с переломами трубчатых костей по сравнению с механической остеоперфорацией.

Основываясь на данных экспериментального исследования метод лазерной остеоперфорации, был апробирован в клинике у 32 больных с несрастающимися переломами и у 19 больных с ложными суставами длинных трубчатых костей.

В послеоперационном периоде установлено, что у больных, для лечения которых применен способ лазерной остеоперфорации с прежней фиксацией (49,2%), практически отсутствовал болевой синдром, а срок купирования отека после операции оказался меньшим, чем у больных, которым дополнительно производился один из методов остеосинтеза. Это говорит о более быстром купировании воспаления тканей после лазерной остеоперфорации и незначительной травматичности этого вмешательства.

При рентгенологическом исследовании в ближайшем послеоперационном периоде после лазерной остеоперфорации уже на 3-5-й неделе проявлялась положительная динамика, которая выражалась в сужении межотломковой щели, умеренной периостальной реакции с формированием межфрагментарной гомогенной, тени костного регенерата и постепенным образованием непрерывности кортикального слоя костной мозоли (рис.5.1.8).

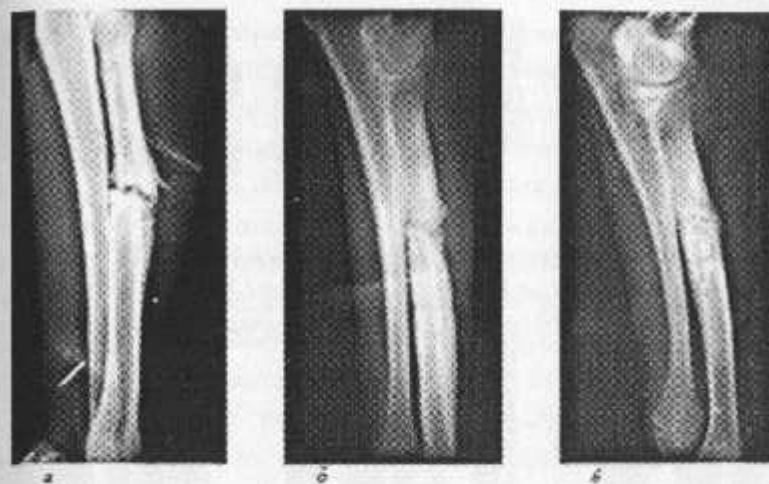


Рис.5.1.5в. Рентгенограммы костей предплечья собак на 28-е сутки после перелома. а) Первая контрольная группа; б) Вторая контрольная группа; в) Опытная группа

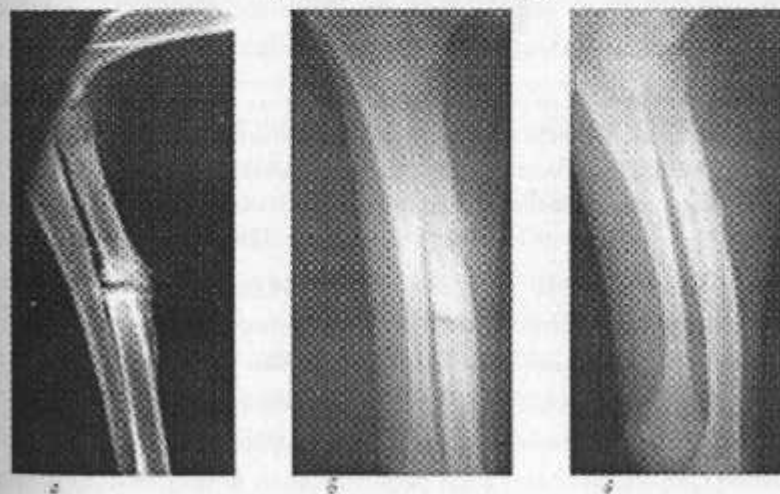


Рис.5.1.6в. Рентгенограммы костей предплечья собак на 60-е сутки после перелома. а) Первая контрольная группа; б) Вторая контрольная группа; в) Опытная группа



Рис.5.1.7. Гистотопозграммы переломов костей у собак, 28 суток эксперимента, окраска по Ван-Гизон. Увеличение X 75. а) Первая контрольная группа; б) Вторая контрольная группа; в) Опытная группа



Рис.5.1.8. Изменения рентгенологической картины при несрастающемся переломе диафиза локтевой кости у больного С., 24 лет, после чрезкожной лазерной остеоперфорации зоны несрастающегося перелома. а) Гипсовая иммобилизация в течение 3 месяцев. б) 1 месяц после ЛОП. в) 2 месяца после ЛОП

Сроки сращения переломов с замедленной консолидацией зависели от анатомической характеристики кости, локализации перелома, наличия и степени рубцовых изменений в мягких тканях, состояния кровообращения и иннервации в сегменте. Средние сроки консолидации после лазерной остеоперфорации были в 1,8 раза меньше, чем сроки лечения (сращения) таких переломов до нее и не превышали среднестатистические сроки консолидации переломов костей данной локализации независимо от метода фиксации. Сроки сращения ложных суставов значительно превышали средние

сроки сращения переломов с замедленной консолидацией, зависели от тех же составляющих и дополнительно от вида ложного сустава, длительности его существования, от инфицированности, но после лазерной остеоперфорации они были в 2,5 раза короче, чем сроки их лечения до нее.

При лечении больных с переломами с замедленной консолидацией с использованием лазерной остеоперфорации у всех пациентов достигнуты хорошие и удовлетворительные результаты. У больных с псевдоартрозами хорошие и удовлетворительные результаты имели место в 81,8% случаев.

На основании результатов проведенного экспериментально-клинического исследования установлено, что применение лазерной остеоперфорации при лечении больных с длительно несрастающимися переломами и ложными суставами является высокоэффективным, малоинвазивным способом стимуляции консолидации и является перспективным направлением в травматологии и ортопедии. Несомненными преимуществами способа лазерной остеоперфорации являются: высокий клинический успех, практически полное отсутствие осложнений, быстрый период выздоровления, хорошая переносимость, отличные косметические и функциональные результаты.

Асептические остеонекрозы (остеохондропатии)

Асептические остеонекрозы составляют около 3% всех первичных ортопедических больных, как среди детей, так и среди взрослых. На первом месте из остеохондропатий по частоте стоит болезнь Пертеса (33,4%) и Осгуд-Шляттера (23,7%).

Консервативные методы лечения остеонекрозов очень длительны и часто неэффективны. Общепринятым малоинвазивным хирургическим подходом в лечении остеонекрозов является тунелизация кости через зону некроза и прилежа-

щую здоровую костную ткань. Для улучшения кровоснабжения головки бедренной кости рекомендуют различные остеотомии. Этот подход достаточно травматичен, требует длительной иммобилизации. Простое механическое создание каналов в кости является малоэффективным средством стимуляции регенерации костной ткани.

С целью стимуляции костной репарации использовался метод лазерной остеоперфорации. В пораженных и подлежащих к очагу поражения участках кости с помощью инфракрасного диодного лазера с длиной волны 970 нм контактно посредством кварцевого световода диаметром 0,4 мм, производились множественные (8-10 и более) остеоперфорации. Использовали импульсно-периодический режим излучения с пиковой мощностью 20-30 Вт.

Предварительные результаты лечения показали, что лазерная остеоперфорация способствует улучшению реваскуляризации, оксигенации и репарации костных тканей в очаге поражения.

Клинический пример

Мальчик Л., 2,5 года, в возрасте 1 месяца перенес острый гематогенный остеомиелит проксимального эпиметафиза левой бедренной кости. На момент осмотра имеется укорочение относительной длины левой нижней конечности на 2 см, контрактура левого тазобедренного сустава. На рентгенограмме определяется соха vara sinistra, выраженное разрушение головки бедренной кости. По данным ультразвуковой доплерографии (УЗДГ) имеется снижение пиковой скорости кровотока в левой огибающей артерии бедра. Чрескожное измерение напряжения кислорода ($TcPO_2$) в проекции левого тазобедренного сустава показало наличие локальной гипоксии до 46 мм рт.ст. (справа – 70 мм рт.ст.). Произведена чрескожная лазерная остеоперфорация головки и шейки левого бедра под ультразвуковым контролем. В послеопераци-

онном периоде иммобилизация в ортезе. Через 3 месяца по данным УЗДГ – кровоток в огибающих артериях справа и слева симметричен и норморезистентный. $TcPO_2$ в проекции левого тазобедренного сустава нормализовалось – до 72 мм.рт.ст. (справа – 71 мм.рт.ст.). На рентгенограмме тазобедренных суставов отмечается выраженное увеличение объема головки левой бедренной кости с формированием сферы. Через 8 месяцев на рентгенограмме объем головки левой бедренной кости практически равен объему головки бедренной кости справа. Объем движений в левом тазобедренном суставе существенно увеличился при сохранении небольшого (на 10°) ограничения отведения левого бедра и укорочения левой нижней конечности на 2 см.

Заключение

Метод чрескожной лазерной остеоперфорации является эффективным способом лечения как воспалительных, так и деструктивных заболеваний костей. Он является малоинвазивным, хорошо переносится больными, способствует быстрому купированию воспалительных процессов в кости и мягких тканях, обладает выраженной способностью стимулировать процессы репарации костной ткани.

§ 5.2. Фармакодинамика. Фармакокинетика

Фармакодинамика – раздел, изучающий биологические эффекты веществ, их локализацию и механизм действия.

Основные Положения Фармакодинамики

I. Виды фармакологического действия лекарств: местное, резорбтивное, прямое и косвенное, рефлекторное, обратимое, необратимое, преимущественное, избирательное, специфическое действие. Во всех случаях лекарственное вещество взаимодействует с определенными биохимическими субстратами; активные группировки

макромолекулярных субстратов, взаимодействующих с веществами, получили название рецепторов, а рецепторы, взаимодействие с которыми обеспечивает основное действие вещества, называются специфическими. Сродство вещества к рецептору, приводящее к образованию с ним комплекса, обозначается термином «аффинитет»; способность вещества при взаимодействии с рецептором вызывать тот или иной эффект называется внутренней активностью; вещество, при взаимодействии с рецептором вызывающее биологический эффект, называется агонистом (они и есть внутренние активные); агонизм может быть полным (вещество вызывает максимальный эффект) и частичным (парциальным). Вещества, при взаимодействии с рецептором не вызывающие эффекта, но устраняющие эффект агониста, называются антагонистами.

II. Типовые механизмы действия лекарственных веществ (миметическое, литическое, аллостерическое, изменение проницаемости мембран, освобождение метаболита от связи с белками и др.).

III. Фармакологические эффекты – прямые и косвенные.

IV. Виды фармакотерапевтического действия: этиотропное, патогенетическое, симптоматическое, главное и побочное.

Механизмы действия лекарственных средств.

Подавляющее большинство лекарственных средств оказывает лечебное действие путем изменения деятельности физиологических систем клеток, которые вырабатывались у организма в процессе эволюции. Под влиянием лекарственного вещества в организме, как правило, не возникает новый тип деятельности клеток, лишь изменяется скорость протекания различных естественных процессов. Торможение или возбуждение физиологических процессов

приводит к снижению или усилению соответствующих функций тканей организма.

Лекарственные средства могут действовать на специфические рецепторы, ферменты, мембраны клеток или прямо взаимодействовать с веществами клеток. Некоторые примеры основных механизмов действия лекарственных средств.

Действие на специфические рецепторы. Рецепторы – макромолекулярные структуры, избирательно чувствительные к определенным химическим соединениям. Взаимодействие химических веществ с рецептором приводит к возникновению биохимических и физиологических изменений в организме, которые выражаются в том или ином клиническом эффекте.

Препараты, прямо возбуждающие или повышающие функциональную активность рецепторов, называют агонистами, а вещества, препятствующие действию специфических агонистов, – антагонистами. Антагонизм может быть конкурентным и неконкурентным. В первом случае лекарственное вещество конкурирует с естественным регулятором (медиатором) за места связывания в специфических рецепторах. Блокада рецептора, вызванная конкурентным антагонистом, может быть устранена большими дозами вещества-агониста или естественного медиатора.

Разнообразные рецепторы разделяют по чувствительности к естественным медиаторам и их антагонистам. Например, чувствительные к ацетилхолину рецепторы называют холинэргическими, чувствительные к адреналину – адренэргическими. По чувствительности к мускарину и никотину холинэргические рецепторы подразделяются на мускаринопочувствительные (м-

холинорецепторы) и никотиночувствительные (н-холинорецепторы).

Н-холинорецепторы неоднородны. Установлено, что их отличие заключается в чувствительности к различным веществам. Выделяют н-холинорецепторы, находящиеся в ганглиях автономной нервной системы, и н-холинорецепторы поперечнополосатой мускулатуры. Известны различные подтипы адренергических рецепторов, обозначаемые греческими буквами α_1 , α_2 , β_1 , β_2 .

Выделяют также Н₁- и Н₂-гистаминовые, допаминовые, серотониновые, опиоидные и другие рецепторы.

Влияние на активность ферментов. Некоторые лекарственные средства повышают или угнетают активность специфических ферментов. Физостигмин и неостигмин снижают активность холинэстеразы, разрушающей ацетилхолин, и дают эффекты, характерные для возбуждения парасимпатической нервной системы. Ингибиторы моноаминоксидазы (ипразид, ниламид), препятствующие разрушению адреналина, усиливают активность симпатической нервной системы. Фенобарбитал и зиксорин, повышая активность глюкуронилтрансферазы печени, снижают уровень билирубина в крови.

Физико-химическое действие на мембраны клеток. Деятельность клеток нервной и мышечной систем зависит от потоков ионов, определяющих трансмембранный электрический потенциал. Некоторые лекарственные средства изменяют транспорт ионов.

Так действуют антиаритмические, противосудорожные препараты, средства для общего наркоза.

Прямое химическое взаимодействие. Лекарственные средства могут непосредственно взаимодействовать с небольшими молекулами или ионами внутри клеток.

Принцип прямого химического взаимодействия лежит в основе применения многих антидотов при отравлениях химическими веществами. Другим примером может служить нейтрализация соляной кислоты антацидными средствами.

Связь "доза-эффект"

Является важным фармакодинамическим показателем. Обычно этот показатель представляет собой не простое арифметическое отношение и может графически выражаться по-разному: линейно, изогнутой вверх либо вниз кривой, сигмоидальной линией.

Каждое лекарство обладает рядом желательных и нежелательных свойств. Чаще всего при увеличении дозы лекарства до определенного предела желаемый эффект возрастает, но при этом могут возникать нежелательные эффекты. Лекарство может иметь не одну, а несколько кривых отношения "доза-эффект" для его различных сторон действия. Отношение доз лекарства, при которых вызывается нежелательный или желаемый эффект, используют для характеристики границы безопасности или терапевтического индекса препарата. Терапевтический индекс препарата можно рассчитывать по соотношению его концентраций в плазме крови, вызывающих нежелательные (побочные) эффекты, и концентраций, оказывающих терапевтическое действие, что более точно может характеризовать соотношение эффективности и риска применения данного лекарства.

Методы для изучения фармакодинамики должны обладать рядом важных свойств:

а) высокой чувствительностью - способностью выявлять большую часть тех отклонений от исходного состояния, на которое пытаются воздействовать, а также оценивать положительные изменения в организме.

б) высокой специфичностью - способностью относительно редко давать "ложноположительные" результаты.

в) высокой воспроизводимостью - способностью данным методом стабильно отображать характеристики состояния больных при повторных исследованиях в одинаковых условиях у одних и тех же больных при отсутствии какой-либо динамики в состоянии этих больных по другим клиническим данным.

Фармакокинетика — это раздел фармакологии о всасывании, распределении в организме, депонировании, метаболизме и выведении веществ.

Положения Фармакокинетики

I. Пути введения лекарственных веществ – энтеральные (пероральный, сублингвальный, ректальный), парентеральные без нарушения целостности кожных покровов (ингаляционный, вагинальный) и все виды инъекций: подкожные, внутримышечные, внутривенные, внутриартериальные, внутриволокнистые, с введением в спинномозговой канал и др.

I. Всасывание лекарственных средств при разных путях введения в основном происходит за счет пассивной диффузии через мембраны клеток, путем фильтрации через поры мембран и пиноцитоза. Факторы, влияющие на всасывание: растворимость вещества в воде и липидах, полярность молекулы, величина молекулы, pH среды, лекарственная форма; биодоступность (количество неизмененного вещества в плазме крови относительно исходной дозы препарата), учитывающая потери вещества при всасывании из желудочно-кишечного тракта и при первом прохождении через печеночный барьер (биодоступность при внутривенном

введении принимают за 100 %). Распределение лекарственных веществ в организме в большинстве случаев оказывается неравномерным и зависит от состояния биологических барьеров – стенки капилляров, клеточных мембран, плацентарного и гематоэнцефалического барьеров. Трудности преодоления последнего обусловлены его структурными особенностями: эндотелий капилляров мозга не имеет пор, в них отсутствует пиноцитоз, они покрыты глиальными элементами, выполняющими функцию дополнительной липидной мембраны (в ткань мозга легко проникают липофильные молекулы). Распределение лекарственных веществ зависит также от свойства последних к разным тканям и от интенсивности тканевого кровоснабжения; обратимое связывание лекарственных веществ с плазменными (преимущественно альбумином) и тканевыми белками, нуклеопротеидами и фосфолипидами способствует их депонированию.

III. Биотрансформация (превращение) лекарственных веществ в организме (метаболическая трансформация, конъюгация или метаболическая трансформация) – превращение лекарственных веществ путем окисления, конъюгация – присоединение к лекарственному веществу или его метаболиту химических группировок и молекул эндогенных соединений (глюкуроновой и серной кислот, аминокислот, глютамиона, ацетильных и метильных групп); результат биотрансформации – образование более полярных и водорастворимых соединений, легко удаляющихся из организма. В процессе биотрансформации активность вещества обычно утрачивается, что лимитирует время его действия, а при заболеваниях печени или блокаде метаболизирующих ферментов продолжительность действия увеличивается.

IV. Выведение лекарственных веществ из организма в основном осуществляется с мочой и желчью: с мочой выводятся вещества путем фильтрации и активной кальциевой секреции; скорость их выведения зависит от скорости реабсорбции в канальцах за счет простой диффузии. Для процессов реабсорбции важное значение имеет pH мочи (в щелочной среде быстрее выводятся слабые кислоты, в кислой – слабые основания); скорость выведения почками характеризует почечный клиренс (показатель очищения определенного объема плазмы крови в единицу времени). При выделении с желчью лекарственные вещества покидают организм с экскрементами и могут подвергаться в кишечнике повторному всасыванию (кишечнопеченочная циркуляция). В удалении лекарственных веществ принимают участие и другие железы, включая молочные в период лактации (возможность попадания в организм грудного ребенка лекарств); одним из принятых фармакокинетических параметров является период полувыведения вещества (период полужизни $T_{1/2}$), отражающий время, в течение которого содержание вещества в плазме снижается на 50 %.

Основные показатели фармакокинетики

лекарственных препаратов

– Константа скорости абсорбции (K_a), характеризующая скорость их поступления в организм.

– Константа скорости элиминации (K_{el}), характеризующая скорость их биотрансформации в организме.

– Константа скорости экскреции (K_{ex}), характеризующая скорость их выведения из организма (через легкие, кожу, пищеварительный и мочевой тракт).

– Период полуабсорбции ($T_{1/2, a}$) как время, необходимое для всасывания их половинной дозы из места введения в кровь ($T_{1/2, a} = 0,693/K_a$).

– Период полураспределения ($T_{1/2, d}$) как время, за которое их концентрация в крови достигает 50 % от равновесной между кровью и тканями.

– Период полувыведения ($T_{1/2}$) как время, за которое их концентрация в крови уменьшается наполовину ($T_{1/2} = 0,693/K_{el}$).

– Кажущаяся начальная концентрация (C_0), которая была бы достигнута в плазме крови при их внутривенном введении и мгновенном распределении в органах и тканях.

– Равновесная концентрация (C_{ss}), устанавливаемая в плазме (сыворотке) крови при их поступлении в организм с постоянной скоростью (при прерывистом введении (приеме) через одинаковые промежутки времени в одинаковых дозах выделяют максимальную (C_{ssmax}) и минимальную (C_{ssmin}) равновесные концентрации).

– Объем распределения (V_d) как условный объем жидкости, в котором необходимо растворить поступившую в организм их дозу (D) для получения концентрации, равная кажущейся начальной (C_0).

– Общий (Cl_t), почечный (Cl_r) и внепочечный (Cl_{er}) клиренсы, характеризующие скорость освобождения от них организма и, соответственно, выведение их с мочой и другими путями (прежде всего с желчью) ($Cl_t = Cl_r + Cl_{er}$).

– Площадь под кривой «концентрация-время» (AUC), связанная с их другими фармакокинетическими характеристиками (объемом распределения, общим клиренсом), при их линейной кинетике в организме величина AUC пропорциональна дозе, попавшей в системный кровоток.

– Абсолютная биодоступность (f) как часть дозы, достигшая системного кровотока после внесосудистого введения (%).

Показателем элиминации лекарственного препарата является клиренс (мл/мин). Выделяют общий, почечный и печеночный клиренс. Общий клиренс есть сумма почечного и печеночного клиренсов и определяется как объем плазмы крови, который очищается от лекарственного препарата за единицу времени. Клиренс используется для расчета дозы лекарственного препарата, необходимой для поддержания его равновесной концентрации (поддерживающей дозы) в крови. Равновесная концентрация устанавливается, когда количество абсорбирующегося и количество вводимого препарата равны друг другу.

В изучении фармакокинетики лекарственных препаратов важное место занимает математическое моделирование.

Существует много математических методов и моделей, от простейших одномерных до разного уровня сложности многомерных.

Использование математического моделирования позволяет в деталях с выведением характерных констант исследовать фармакокинетику лекарственных препаратов, как по времени, так и пространству (по органам и тканям).

§ 5.3 Понятия о режимах, дозах, времени воздействия

Энтеральный путь введения лекарственных средств считается одним из самых удобных и безопасных.

Существует несколько подвидов данного пути: пероральный, сублингвальный, ректальный.

1. Пероральное применение препарата, другими словами, прием внутрь – это один из самых простых методов, именно поэтому его чаще всего и назначают многие врачи. Всасывание лекарств, поступивших таким способом, происходит в основном путем диффузии в тонком кишечнике, в редких случаях – в желудке. Эффект от применения заметен через 30-40 минут. Именно по этой причине для экстренной помощи такой способ не годится. Скорость и полнота всасывания зависят от приема пищи, ее состава и количества. Если выпить натощак лекарство, то всасывание слабых оснований улучшается, поскольку кислотность в желудке низкая, а вот кислоты лучше усваиваются после приема пищи. Но есть и такие препараты, например, «Кальция хлорид», которые, попадая в организм после приема пищи, могут образовывать нерастворимые кальциевые соли, что ограничивает возможность всасывания их в кровь.

2. Еще один удобный и эффективный энтеральный путь введения лекарственных средств – сублингвальный. Лекарство кладут под язык, благодаря большой сети капилляров в слизистой оболочке, усваивается оно очень быстро. Эффект наступает уже через несколько минут. Такой метод введения чаще всего используют для применения «Нитроглицерина» при стенокардии, «Клофелина» и «Нифедипина» для устранения гипертонического криза.

3. Ректальный путь используют не очень часто. В основном его применяют, если у пациента имеются заболевания ЖКТ, или же если он находится в бессознательном состоянии.

Энтеральное введение: преимущества и недостатки

Все пути и способы введения лекарственных средств имеют свои плюсы, у энтерального они также есть: Простота и удобство в применении. Естественность. Относительная безопасность для пациента. Не требует стерильности, наблюдения со стороны медперсонала. Возможность длительной терапии. Комфортность для больного.

Но есть и недостатки энтерального пути введения лекарственных средств: Эффект наступает медленно. Низкая биодоступность. Разная скорость и полнота всасывания. Влияние приема пищи и других компонентов на процесс всасывания. Невозможность применения пациентами в бессознательном состоянии. Нежелательно использовать больным, у которых имеются патологии желудка и кишечника.

Виды парентерального введения препаратов

Парентеральный путь введения лекарственных средств подразумевает введение препаратов, не вовлекая в этот процесс пищеварительную систему. Его можно разделить на несколько видов.

В ткани:

Внутрикожно – этот метод в основном используют с целью диагностики, например, на аллергические пробы Бюрне или же для местного обезболивания. Подкожно – применяют, если требуется получить максимальный эффект от препарата. Это достигается благодаря тому, что подкожно-жировой слой хорошо снабжен сосудами, и это способствует быстрому всасыванию.

Внутримышечно – используют, если подкожное введение вызывает раздражение или боль, а также когда препарат сам по себе медленно всасывается.

Внутрикостно – этот метод используют нечасто, в основном при обширных ожогах и деформации конечностей, когда другие варианты не удается применить.

Если предстоит введение лекарственных средств, пути через сосуды бывают следующими:

Внутривенно – этот метод используют для введения большого количества лекарств и некоторых препаратов, которые имеют такое требование к использованию.

Внутриартериально – применяют при терминальных состояниях, которые обусловлены шоком, большой потерей крови, асфиксией, травмированием электрическим током, интоксикацией и инфекциями.

В лимфатические сосуды – этот метод используют для того, чтобы лекарство не попало в печень и почки, для обеспечения более точного попадания к месту очага заболевания.

Не всегда удобно внутрисосудистое введение лекарственных средств, пути могут вести и через полости: Плевральную. Брюшную. Сердца. Суставную.

Парентеральное введение: плюсы и минусы

Парентеральное введение имеет ряд преимуществ: Такой метод позволяет ввести препарат в обход пищеварительного тракта, что очень важно для пациентов с серьезными патологиями желудка. Быстрота действия необходима в экстренных ситуациях. Максимальная точность дозировки. Поступление препарата в кровь в неизмененном виде.

Парентеральный путь введения лекарственных средств имеет ряд недостатков: обязательно препарат должен вводить обученный медицинский работник. Требуется соблюдение асептики и антисептики. Затрудненное и даже невозможное введение лекарства при кровоточивости, повреждениях кожных покровов в месте инъекции.

Ингаляции

Ингаляционный путь введения лекарственных средств позволяет использовать в лечении аэрозоли, газы (летучие антисептики) и порошки (хромогликат натрия). При таком способе введения препараты быстро попадают внутрь и оказывают свое лечебное воздействие. Легко обеспечивается управление концентрацией средства в крови – прекращение ингаляции ведет к приостановке действия лекарства. При помощи вдыхания аэрозоля концентрация средства в бронхах очень высокая при минимальном системном эффекте.

Плюсы и минусы ингаляционного введения

Плюсы ингаляции: действует непосредственно в самом месте патологии. Лекарство легко проникает к месту воспаления, при этом минует печень в неизменном виде, что обуславливает его большую концентрацию в крови.

Минусы ингаляции: если сильно нарушена бронхиальная проходимость, то лекарственное средство плохо проникает в очаг болезни. Препараты могут раздражать слизистую носа, рта и горла. Основные пути введения лекарственных средств рассмотрены, но есть и другие, которые также в некоторых случаях могут стать незаменимыми.

Ректальный, вагинальный и уретральный пути введения

Если сравнивать ректальный путь введения препаратов с приемом через рот, то можно точно сказать, что эффект от первого метода наступает значительно быстрее. Препарат быстро всасывается в кровь, не разрушаясь при этом под действием ферментов пищеварительного тракта и печени.

Ректально в организм вводят свечи, мази, а также другие формы препаратов, предварительно растертые в порошок и разведенные, при этом используют клизмы. Но стоит помнить, что раствор, введенный ректально, даст эффект намного

быстрее, чем свеча. Объем клизмы для взрослых составляет от 50 до 100 мл, а для детей - от 10 до 30 мл.

Но у данного метода введения препаратов есть и минусы:

-Неудобное применение.

-Особые колебания скорости и полной картины всасывания.

Именно поэтому ректальный путь введения рекомендуют использовать только в тех случаях, если затруднено пероральное введение, когда нужно, чтобы препарат быстро попал в кровь, а инъекции делать противопоказано по тем или иным причинам. Вагинальный и уретральный методы позволяют вводить любую форму препаратов. Но оба этих способа дают наилучший результат, если применять их для лечения инфекций в указанных органах или для проведения диагностики, к примеру, для введения контрастных веществ, таких как "Йодамид", "Триомбраст" и других.

Механизмы всасывания лекарственных веществ в организме.

Всасывание - процесс поступления лекарства из места введения в кровеносное русло. Независимо от пути введения скорость всасывания препарата определяется тремя факторами:

- а) лекарственной формой (таблетки, свечи, аэрозоли);
- б) растворимостью в тканях;
- в) кровотоком в месте введения.

Естественно, что при энтеральном способе введения ЛС, высвобождающееся из лекарственной формы, через эпителиальные клетки ЖКТ попадает в кровь, а затем уже распределяется по организму. Однако и при парентеральных путях введения ЛС, чтобы попасть к месту реализации своего фармакологического эффекта, должно, как минимум, пройти через эндотелий сосудов, т. е. при любом способе введения для

достижения органа-мишени препарату необходимо проникнуть через разнообразные биологические мембраны эпителиальных и (или) эндотелиальных клеток.

Мембрана представлена бислоем липидов (фосфолипидов), пронизанных белками. Каждый фосфолипид имеет 2 гидрофобных «хвостика», обращенных внутрь, и гидрофильную «головку».

Существует несколько вариантов прохождения лекарственного вещества через биологические мембраны:

- Пассивная диффузия.
- Фильтрация через поры.
- Активный транспорт.
- Пиноцитоз.

Пассивная диффузия — основной механизм всасывания лекарств. Перенос лекарственных веществ осуществляется через липидную мембрану по градиенту концентрации (из области большей концентрации в область меньшей концентрации). При этом размер молекул не столь существенен как при фильтрации.

Фильтрация осуществляется через поры, имеющиеся между клетками эпидермиса слизистой оболочки ЖКТ, ротовицы, эндотелия капилляров и так далее. Эпителиальные клетки разделены очень узкими промежутками, через которые проходят только небольшие водорастворимые молекулы (мочевина, аспирин, некоторые ионы).

Активный транспорт — это транспорт ЛС против градиента концентрации. Для этого вида транспорта необходимы энергетические затраты и наличие специфической системы переноса. Механизмы активного транспорта высокоспецифичны, они сформировались в процессе эволюции организма и необходимы для реализации его физиологических потребностей. В силу этого ЛС, проникающие через клеточные

мембраны посредством активного транспорта, близки по своей химической структуре к естественным для организма веществам (например, некоторые цитостатики — аналоги пуринов и пиримидинов).

Пиноцитоз. Суть его состоит в том, что переносимое вещество контактирует с определенным участком поверхности мембраны и этот участок прогибается внутрь, края углубления смыкаются, образуется пузырек с транспортируемым веществом. Он отшнуровывается от внешней поверхности мембраны и переносится внутрь клетки. Лекарственные вещества, молекулярная масса которых превышает 1000, могут войти в клетку только с помощью пиноцитоза. Переносятся жирные кислоты, фрагменты белков, витамин В₁₂. Пиноцитоз играет незначительную роль во всасывании лекарств.

Перечисленные механизмы «работают», параллельно, но преобладающий вклад вносит обычно один из них. Какой именно — зависит от места введения и физико-химических свойств ЛС. Так, в ротовой полости и желудке, реализуются пассивная диффузия, в меньшей степени — фильтрация. Другие механизмы практически не задействованы. В тонком кишечнике нет препятствий к реализации всех вышеуказанных механизмов всасывания. В толстом кишечнике и прямой кишке преобладают процессы пассивной диффузии и фильтрации. Они же являются основными механизмами всасывания ЛС через кожу.

Виды доз. Широта терапевтического действия, её значение. Терапевтический индекс. Понятие о лекарстве и яде.

Дозой называют количество вещества на один прием (разовая доза). Обозначают дозу в граммах или долях грамма.

Минимальные дозы, в которых лекарственные средства вызывают начальный биологический эффект, называют пороговыми, или минимальными, действующими дозами.

В практической медицине чаще всего используют средние терапевтические дозы, в которых препараты у подавляющего большинства больных оказывают необходимое фармакотерапевтическое действие. Если при их назначении эффект недостаточно выражен, дозу увеличивают до высшей терапевтической.

Выделяют токсические дозы, в которых вещества вызывают опасные для организма токсические эффекты, и смертельные дозы.

В некоторых случаях указывается доза препарата на курс лечения (курсовая доза). Если возникает необходимость быстро создать высокую концентрацию лекарственного вещества в организме, то первая доза (ударная) превышает последующие.

Границы безопасности и эффективности лекарственного средства оценивают с помощью терапевтического индекса (ТИ). При этом используется отношение летальной для 50% животных дозы (LD50) к эффективной у 50% лиц или животных дозе (ЭД50):

$$ТИ = LD50 / ЭД50$$

Чем больше это отношение от единицы, тем больше опасность токсичности.

Препараты с высоким терапевтическим индексом безопасны в широком интервале доз, гораздо реже вызывают токсические эффекты. Препараты с низким терапевтическим индексом небезопасны. Доза таких лекарств должна быть тщательно рассчитана. Их сывороточная концентрация нуждается в мониторинге (определении концентрации вещества в крови) ввиду небольшого интервала между эффективной и летальной дозой.

Терапевтический интервал – диапазон между минимальной эффективной концентрацией лекарства в плазме и минимальной токсической концентрацией. Им определяется широта терапевтического воздействия – диапазон между средней (середина терапевтического диапазона) и максимальными терапевтическими дозами. Терапевтический интервал учитывает, как связанную с белком, так и свободную фракции лекарственного средства.

Большинство лекарств назначается несколько раз в сутки, поэтому существует понятие «суточная доза». Выбор разовой и суточной дозы зависит от индивидуальных особенностей организма, пути введения препарата, состава пищи, одновременное введение других лекарственных препаратов.

От дозы лекарственного вещества зависит не только его активность, но и характер действия. Повышая количество введенного в организм лекарства, можно достигать не только количественного нарастания фармакологического эффекта, но и качественного его изменения.

Яд – вещество, приводящее, даже небольших в дозах относительно массы тела, к нарушению жизнедеятельности организма: к отравлению, интоксикации, заболеваниям и патологическим состояниям. Лекарственное вещество может становиться ядом. Это зависит от дозы, концентрации, длительности приема и путей введения.

ГЛАВА 6. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ЛАЗЕРНОЙ ТЕРАПИИ

§ 6.1. Наружные методы лазерной терапии

§ 6.2. Местное воздействие

§ 6.3. Лазерная акупунктура

§ 6.4. Воздействие на зоны захарьина-геда (дерматомы)

§ 6.5. Воздействие на паравертебральные зоны

§ 6.6. Воздействие на проекции внутренних органов

§ 6.7. Транскраниальная методика лазерной терапии

§ 6.8. Воздействие на проекции иммунокомпетентных органов

§ 6.9. Внутриполостные методы лазерной терапии

§ 6.10. Надвенное (надсосудистое, неинвазивное, чрескожное, транскутанное) лазерное осветивание крови

§ 6.11. Внутривенное лазерное осветивание крови (ВЛОК)

§ 6.12. Методика комбинированная, ВЛОК-525 + ЛУФОК (базовая)

§ 6.13. Показания и противопоказания для назначения лазерной терапии

§ 6.14. Диагностические возможности голографии

§ 6.1. Наружные методы лазерной терапии

Отличаются исключительным разнообразием, обеспечивая следующие виды воздействия:

1. Методики наружные, местное воздействие:

- контактная;
- контактно-зеркальная;
- дистантная.

2. Рефлекторные:

- на точки акупунктуры (ТА) – корпоральные и аурикулярные (лазерная акупунктура);

– на зоны Захарьина-Геда (дерматомы);

– паравертебрально.

3. На проекции внутренних органов, в том числе транскраниальная методика.

4. На проекции кровеносных или лимфатических сосудов.

5. На проекции иммунокомпетентных органов.

Максимально эффективно реализовать все эти методики позволяет наличие у современных аппаратов разнообразных лазерных излучающих головок, световая энергия которых с помощью специальных насадок доставляется к месту воздействия. Так обеспечивается оптимальная ЭП (если при этом также задана и оптимальная экспозиция). Исключительно важен выбор зоны и области осветивания, т. е. локализации воздействия. *Зона – место непосредственного осветивания, область – орган, который подвергается воздействию, возможно, в нескольких зонах.*

Рассмотрим подробнее особенности основных методик, которые отличаются спектральными, пространственно-временными и энергетическими характеристиками.

§ 6.2. Местное воздействие

Если патологический процесс локализован в поверхностных слоях кожи или слизистой оболочки (повреждения различной этиологии, воспалительные процессы и др.), то воздействие НИЛИ направлено непосредственно на него. В этом случае врачу предоставляются самые широкие возможности в выборе параметров метода. Используют практически любые длины волн лазерного света и/или комбинирование нескольких спектральных диапазонов; использование импульсных или непрерывных лазеров, а также различных видов модуляции излучения; применение матричных излуча-

телей; сочетание НИЛИ с лекарственными препаратами общего или местного действия (лазерофорез) или постоянным магнитным полем (магнитолазерная терапия) и т. д.

Различают контактную и контактно-зеркальную методики воздействия, когда излучающая головка находится в контакте с освещиваемой поверхностью, а также дистантную (неконтактную) методику, при которой имеется пространство между излучающей головкой и освещиваемой поверхностью (рис.6.2.). Такая дифференциация, правда, имеет смысл только в том случае, если лазерный диод расположен правильно – снаружи головки. Только в этом случае есть возможность воспроизводимо контролировать площадь и локализацию воздействия.

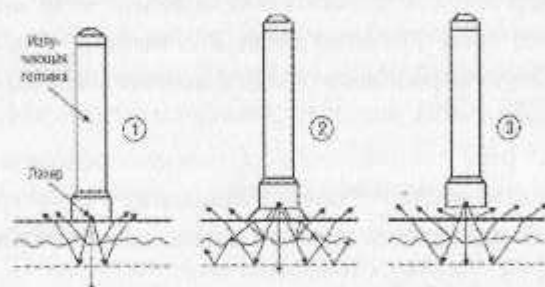


Рис. 6.2. Контактная (1), контактно-зеркальная (2) и дистантная (3) методики лазерной терапии

Контактная методика принципиально отличается от контактно-зеркальной тем, что площадь воздействия в первом варианте минимальна (т. е. при этом ЭП максимальная!), а во втором случае принимается равной 1 см^2 , когда плотность мощности (ПМ) и ЭП нормируются. К контактно-зеркальной методике можно отнести и МЛТ, для которой чаще всего используют зеркальные магнитные насадки на 25 мТл (ЗМ-25) или 50 мТл (ЗМ-50) для лазерной излучающей головки с од-

ним лазерным диодом, и ММ-50 для матричных излучающих головок.

Что позволяют получить зеркальные насадки:

- увеличение глубины и интенсивности терапевтического воздействия;
- использование всей энергии лазерного света, которая не рассеивается бесполезно в пространстве, а входит в кожу и поглощается там;
- обеспечение стабильности и воспроизводимости процедуры;
- обеспечение защиты персонала и пациентов от отражённого света;
- упрощенная гарантия гигиеничности процедуры, поскольку насадки легко снимаются и дезинфицируются;
- обеспечение оптимальной энергетической плотности, поскольку распределение световой энергии автоматически нормируется на 1 см^2 .

У матричных лазерных излучающих головок типа МЛ-904-80 или МЛ-635-40 отражение происходит от металлического радиатора, обеспечивающего теплоотвод, поэтому используется лишь прозрачная насадка ПМН.

При контактной методике с лёгким надавливанием зеркальной или зеркально-магнитной насадкой обеспечивается лучшее проникновение лазерного излучения в ткани. При прохождении НИЛИ через мягкие мутные физические и биологические среды, обнаруживает резкое увеличение прохождения света при сдавливании среды. Локальное надавливание на биоткань вызывает более сильное просветление, чем в случае сжатия слоя мутной физической среды. Объясняется механизм просветления ткани при надавливании сглаживанием мелкобугристого рельефа кожи, что приводит к уменьшению отражающей поверхности, а также уменьшению

толщины кожи не только за счёт давления, но и за счёт растяжения благодаря её эластичным свойствам. При рекомендуется небольшая компрессия мягких тканей, если это возможно, как важный методический элемент, повышающий терапевтическую эффективность лазерного воздействия на организм.

При контактно-зеркальной методике энергия лазерного света распределяется не только по поверхности снаружи, но за счёт дополнительного отражения излучения от зеркальной поверхности и по существенно большему объёму тела. Обе контактные методики предпочтительнее, чем дистантная, так как позволяют обеспечить стабильность и воспроизводимость процедуры. Если, как мы уже отмечали, при контактно-зеркальной методике имеет место нормирование на 1 см^2 , то говорить о площади воздействия как таковой при контактной методике проблематично. В результате рассеяния и переотражения излучение распределяется по достаточно большому объёму биоткани, при этом какая-либо корреляция между площадью и количеством подвергшихся освещиванию клеток отсутствует.

К дистантной методике прибегают, когда по каким-то причинам невозможен контакт с кожей (открытые раны, язвы и т. п.). В любом случае, исходя из понимания механизмов биологического действия НИЛИ, рекомендуется использовать только стабильную методику. Основной задачей воздействия является инициирование волн повышенной концентрации Ca^{2+} , для чего локально обеспечивается оптимальная энергетическая плотность, а механизм распространения ионов запускается уже самостоятельно. При лабильной (сканирующей) методике ни водной точке приложения не обеспечиваются оптимальные энергетические параметры, что снижает эффективность ЛТ.

Спектральные и энергетические параметры *контактно-зеркальной и дистантной методик* определяются в зависимости от области приложения, целей и задач проводимой терапии и могут варьироваться в достаточно широких пределах (табл. 6.2.). *Контактная методика* в этом смысле более ограничена, по сути, всё сводится к одному правилу: максимально допустимая (большая) мощность и частота, но экспозиция на одну зону строго ограничена 5 мин (табл. 6.3). Максимальные мощности и частоты для импульсного режима ограничены соображениями безопасности, так как при минимальных площадях достигается максимальная ЭП, поэтому указанные значения не рекомендуется превышать во избежание ожога. В том числе это ограничение связано и с определёнными различиями между клетками организма, у которых существенно различаются коэффициенты поглощения для разных длин волн. Чем меньше поглощают клетки или биоткань, тем большую мощность можно использовать для контактной методики. Локализация уточняется в каждом конкретном случае. Методика, если говорить об исследованиях, может варьироваться в зависимости от модели эксперимента.

Таблица 6.2.

Параметры контактно-зеркальной методики ЛТ

Параметр	Значение	Примечание
Длина волны лазерного света, нм (спектр)	445 (синий), 525 (зелёный), 635 (красный), 780, 808, 904 (ИК)	Излучающая головка с одним лазером
Режим работы лазера	Непрерывный	445, 525, 635, 780, 808 нм
	Импульсный	635 и 904 нм
Длительность светового импульса, нс	100–150	Для импульсного режима
Мощность излучения	10–40 мВт	Непрерывный режим
	5–25 Вт	Импульсный режим
Плотность мощности (больше поглощение – меньше значение)	5–40 мВт/см ²	Непрерывный режим
	5–15 Вт/см ²	Импульсный режим
Частота, Гц	80–150	Для импульсного режима
Экспозиция на 1 зону, мин	2 или 5	-
Количество зон воздействия	1–4	-
Локализация	На область поражения	-
Методика	Контактно-зеркальная	С применением зеркальной и магнитной насадок
Количество процедур на курс	5–12	Ежедневно или через день

Таблица 6.3

Параметры контактной методики ЛТ

Параметр	Значение	Примечание
Длина волны лазерного света, нм (спектр)	780, 808, 904 (ИК)	Излучающая головка с одним лазером
Режим работы лазера	Непрерывный	780 и 808 нм
	Импульсный	904 нм
Длительность светового импульса, нс	100–150	Для импульсного режима
Мощность излучения	100–200 мВт	780 и 808 нм
	80–100 Вт	904 нм
Плотность мощности	-	Максимально возможная
Частота, Гц	3000–10 000	Для импульсного режима
Экспозиция на 1 зону, мин	5	В ряде методик допускается до 30 мин
Количество зон воздействия	1–4	Чаще всего симметрично
Локализация	На область поражения	-
Методика	Контактная	Непосредственно лазерным диодом
Количество процедур на курс	15–20	Ежедневно, как правило. Курс повторяют через 1 месяц.

Оптимальные экспозиции 1,5–2 мин и 5 мин характерны для нескольких видов методик, что было определено эмпирически и проверено многолетней клинической практикой. Чем это обусловлено? На рис.6.2 представлен график изменения во времени концентрации Ca^{2+} в одной локальной зоне живой клетки (фибробласт человека) после освечивания её в течение 15 с лазером с длиной волны 647 нм. Максимумы

концентрации наблюдаются точно в эти промежутки времени – 100 и 300 с (~1,5 и 5 мин). Если воздействие синхронизируется с периодами повышения концентрации Ca^{2+} (важнейшим физиологическим ритмом живой клетки), то инициируется высвобождение из депо предельного количества ионов кальция, соответственно, можно получить и максимальный результат от Ca^{2+} -зависимых процессов.

Изучение гемодинамику сосудов методом компьютерной капилляроскопии после воздействия ИК-импульсным НИЛИ с одинаковой плотностью мощности во временном диапазоне от 1 до 15 мин, показало, что именно 2 и 5 мин являются оптимальным временем воздействия для стимуляции микроциркуляции.

Достаточно стабильная периодичность распространения волн Ca^{2+} обуславливает эндогенную ритмику биологических процессов с околоминутными и более медленными периодами. Механизм, связывающий экзогенные регуляторы биологической активности (в первую очередь речь идёт о солнечном свете) с эндогенными водителями ритмов становится понятным. Хотя проблема связи внешних и эндогенных ритмов далека от разрешения, внутренние биологические ритмы задаются метаболическими циклами и достаточно стабильны, при минимальной их зависимости от внешних факторов. Коррекция внутренних ритмов, вполне возможно, осуществляется возникающими под действием внешних возмущений волнами ионов кальция, поскольку именно метаболические процессы в первую очередь и являются Ca^{2+} -зависимыми.

При дистантном стабильном воздействии параметры полностью идентичны контактно-зеркальной методике (табл. 2.1, расстояние от излучающей головки до поверхности 1,5–3 см, в более точном контроле нет необходимости). Однако возможны и другие энергетические характеристики воздей-

ствия. Разработана эффективная методика лечения больных с большой площадью термического ожога, в соответствии с которой воздействие проводится от 4 до 8 с на локальную зону площадью 2 см², по 4 точки на площадь поражения 1% поверхности тела (условно размер ладони).

§ 6.3. Лазерная акупунктура

Лазерная биоактивация точек акупунктуры (ТА), или лазерная акупунктура, нашла широкое применение при лечении больных самого широкого круга заболеваний как самостоятельно, так и в сочетании с другими методами. В методе используется совсем небольшое количество световой энергии строго локализованных структур, участвующих в неспецифическом интегральном ответе организма.

Доказано, что точки акупунктуры высокочувствительны к различным внешним воздействиям, в частности к электромагнитным полям. Эффективность использования физических факторов (вакуум, электрический ток, ультразвук, холод, тепло, магнитное поле, лазерное излучение) для лечения многообразных форм патологии зависит от специфических особенностей воздействующего фактора и места его приложения, а также от энергетических параметров воздействующего физического фактора. Имеет место однотипность направленности реакций при однократном и длительном воздействии внешних факторов. Вначале изменения происходят на уровне нервно-рефлекторных реакций, а затем при достаточной силе воздействия (по интенсивности и экспозиции) включаются другие, более инертные механизмы. Во всех случаях применения лазерной акупунктуры, даже при лечении тяжёлых хронических заболеваний, когда ни классическая иглотерапия, ни медикаментозное лечение не дают

нужного эффекта, наблюдается клиническое и субъективное улучшение состояния больного.

Лазерный свет с терапевтическими параметрами не вызывает у больного субъективных ощущений при попадании на кожу, однако изменения в тканях, вызванные этим воздействием, приводят к прогнозируемым и воспроизводимым результатам. Фило и онтогенетически сложившиеся взаимоотношения наружных покровов тела человека с внутренними органами обуславливают широкий спектр вегетативных реакций организма на биоактивацию ТА через ответную реакцию ВНС и ЦНС на освечивание за счёт многочисленных безусловных и условных связей.

Точка акупунктуры – это проецируемый на кожу участок наибольшей активности системы взаимодействия: *покров тела – внутренние органы*. Электрофизиологические характеристики ТА достаточно специфичны и связаны с изменением функционального состояния внутренних органов и сопряжённых с ними нервных связей определённых отделов головного мозга. Лазерная активация ТА сопровождается изменениями физиологических характеристик соответствующих органов, нормализующими их нарушенную деятельность. Органонаправленные, сегментарные и общие реакции организма могут иметь не только тонизирующий, но и снижающий тонус характер.

Особенности методик лазерной акупунктуры:

- малая зона воздействия (диаметр 0,5–3 мм);
- неспецифический характер активации рецепторных структур;
- возможность вызвать направленные рефлекторные реакции;
- неинвазивность воздействия, асептичность, комфортность;

– возможность точного дозирования воздействия;

– возможность применения метода как самостоятельного для решения практических задач на определённом этапе лечения, так и в сочетании с различными медикаментозными, диетогигиеническими и другими физиотерапевтическими видами лечения.

Точечное воздействие минимальной энергией лазерного света в зоне ТА благодаря пространственно-временной суммации раздражения приводит к развитию многоуровневых рефлекторных и нейрогуморальных реакций организма, прежде всего нормализуя гомеостаз. Различные отделы ЦНС принимают дифференцированное участие в рефлекторном ответе, процесс вовлекается стволово-диэнцефальная система, подтверждением чего является генерализованный, симметричный характер изменений, возникающих на электроэнцефалограмме, таламус обеспечивает избирательность в отношении отдельных параметров раздражения (его частоты и интенсивности). Реакция, возникающая с участием таламуса, утасает медленно, а реакция с участием ретикулярной формации характеризуется быстрой избирательной адаптацией.

НИЛИ красного спектра (635 нм) проникает достаточно глубоко для того, чтобы в зону лазерного освечивания попали рецепторы, различные клетки, нервные стволы и сплетения, лимфатические и кровеносные сосуды. Согласно современным представлениям, внешнее раздражение ТА преобразуется в нервное возбуждение, воспринимаемое как ВНС, так и ЦНС. Общая реакция организма на лазерное воздействие осуществляется двумя основными путями: нейрогенным и гуморальным. Стимулируется синтез АКГГ, глюкокортикоидов и других гормонов, увеличивается синтез простагландинов Е и F, энкефалинов и эндорфинов. Гуморальные изменения зависят от направленности исходного фона; в большинстве случаев происходит нормализация состава крови и активация микроциркуляции. Эффекты кумулируются и достигают максимума к 5–7-й процедуре.

На основании данных литературы и собственных клинико-экспериментальных исследований по нормализации симпатопарасимпатической регуляции, активации микроциркуляции, нарушения которой являются важным звеном патогенеза многих заболеваний, а также нормализации иммунитета предложен набор зон акупунктуры общего действия, который назван базовым рецептом (рис. 6.3.).

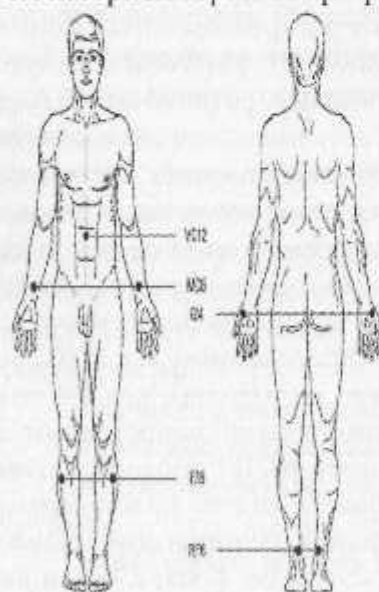
Зоны акупунктуры даны в порядке воздействия на них:

– в понедельник, среду и пятницу: GI4 (хэ гу), E36 – симметрично, VC12;

– во вторник, четверг и субботу: MC6 (ней гуань), RP6 (сань инь цзяо) симметрично, VC12 (чжун вань).

В воскресенье лазерная терапия не проводится.

Базовый рецепт является важным составным компонентом лазерной терапии при различных заболеваниях. В начале



процедуры воздействуют на очаги повреждения кожи, слизистых оболочек или на зоны проекции поражённых органов на поверхности кожи в соответствующих параметрах методик, а затем проводится лазерная акупунктура. К базовому рецепту при необходимости можно добавить 2–3 ТА по индивидуальным показаниям конкретного больного.

Рис. 6.3. Базовый рецепт лазерной акупунктуры (расположение зон воздействия)

Дополнительно к правилам, известным врачам-рефлексотерапевтам, целесообразно учитывать и некоторые общие нейрофизиологические связи.

Большие полушария головного мозга связаны с задним мозгом по правилу «мать/сын», задний мозг со спинным – по правилу «верх/низ», большие полушария головного мозга со спинным – по правилу «полдень/полночь». Перекрёстные (реципрокные) связи соответствуют правилу «полдень/полночь», а прямые – правилу «мать/сын». Наблюдается определённая дисимметрия в сторону относительного преобладания на периферическом уровне влияний Ян, а на центральном – Инь. Задний и передний срединные меридианы взаимодействуют между собой по правилу «верх/низ». Левая сторона тела (Ян) и правая (Инь) взаимодействуют между собой по правилу «муж/жена». Срединные меридианы (VC и VG) выступают в роли «сына», взаимодействуя с группой каналов правой и левой половин тела по правилу «сын/мать» и осуществляя в определённые промежутки времени синхронизацию разнофазных колебаний энергетики этих групп с реализацией фазовых переходов между ними. Использование этих данных позволяет врачу повысить эффективность выбора соответствующих этим структурам центральной нервной системы точек акупунктуры, особенно аурикулярных точек.

Та или иная функция тем слабее стимулируется и легче угнетается, чем она сильнее активизирована. Функция меридиана будет тормозиться, если воздействие на ТА будет производиться в период наибольшей активности этого меридиана (суточной, сезонной, многолетней). Соответственно, максимальная стимуляция меридиана достигается воздействием на его ТА в период минимальной активности.

Часовые ТА:

- 2 ч – F1 (да дунь);
- 4 ч – P8 (цзин цюй);
- 6 ч – GI1 (шан ян);
- 8 ч – E36 (цзу сань ли);
- 10 ч – RP3 (тай бай);

- 12 ч – С8 (шао фу);
- 14 ч – IG5 (ян гу);
- 16 ч – VG6 (цзи чжун);
- 18 ч – R8 (цзяо синь);
- 20 ч – MC8 (лао гуи);
- 22 ч – TR6 (чжи гоу);
- 24 ч – VB41 (цзу линь ши).

При лечении пациентов с так называемыми хронотропными заболеваниями (мигрень, малярия, болезненные менструации и др.) лазерную акупунктуру лучше начинать за 2–3 ч (иногда за несколько дней) до ожидаемого появления острой симптоматики. Лечение при других заболеваниях эффективно при вычислении «бинома» дня по китайскому календарю (комбинация номеров «небесной» и «земной» ветвей).

В сложных жизненных ситуациях у людей с ослабленной нервной системой начинаются сбои (десинхронизация) в желудочно-кишечном тракте, сердечнососудистой системе, снижение половой функции. Благодаря происходящей при лазерной терапии перестройке регуляторных процессов меняется характер реакций адаптированного организма на агрессивные воздействия. Все реакции, начинают протекать с большей скоростью, ускоряются процессы утилизации кислорода, субстратов энергетических и пластических процессов, молочной кислоты и выведения из организма отработанных продуктов. Ответ организма на действие необычных факторов и нагрузок становится более адекватным благодаря способности осуществлять более быструю и эффективную мобилизацию различных защитных механизмов, характерных для срочной адаптационной перестройки. Лазерное воздействие на организм не является только стимуляцией, это *биомодуляция*, конечные эффекты которой зависят от исходного состояния *всех* процессов жизнедеятельности организма.

Лазерное воздействие на организм «устраняет препятствия» для саногенетической деятельности системы ВНС-ЦНС.

Параметры акупунктурной методики представлены в табл. 6.3. При воздействии на корпоральные точки непрерывным или модулированным красным НИЛИ (635 нм) мощность на торце акупунктурной насадки 2–3 мВт (без модуляции) и 1–1,5 мВт (с модуляцией). При воздействии на аурикулярные точки используют НИЛИ с длиной волны 525 нм (зелёный спектр), так как такое излучение поглощается значительно сильнее, рассеяние минимально, чем и обеспечивается избирательность воздействия.

Таблица 6.3

Параметры методики лазерной акупунктуры

Параметр	Значение	Примечание
Длина волны лазерного света, нм(спектр)	525 (зелёный)	На аурикулярные ТА
	635 (красный)	На корпоральные ТА
Режим работы лазера	Непрерывный или модулированный	-
Частота, Гц	В рецепте	Только для модулированного режима
Мощность излучения*, мВт	0,5–1	525 нм
	2–3	635 нм
Экспозиция на 1 ТА, с	5–10	На аурикулярные ТА
	20–40	На корпоральные ТА
Количество зон воздействия	До 15	-
Локализация	В рецепте	На аурикулярные ТА
	В рецепте	На корпоральные ТА
Методика	Контактная	Через акупунктурную насадку
Количество процедур на курс	10–12	Ежедневно

Примечание. * – на выходе акупунктурной насадки.

Для воздействия на корпоральные ТА предназначены лазерные излучающие головки к аппаратам серии «Матрикс» и «Лазмик» – КЛО-635-5 (мощность максимальная) или КЛО-635-15 (мощность уменьшается и контролируется) с акупунктурной насадкой А-3 (диаметр световода 1,3–1,5 мм).

§ 6.4. Воздействие на зоны захарьина гед (дерматомы)

Важным диагностическим критерием для врача служит повышение тактильной и болевой чувствительности в ограниченных участках кожи, наблюдающееся при заболеваниях внутренних органов. Предполагают, что болевые и неболевые кожные афферентные волокна и висцеральные афференты, принадлежащие определённому сегменту спинного мозга, конвертируют на одних и тех же нейронах спинального пути. При этом в какой-то степени теряется информация о том, от каких внутренних органов поступило возбуждение, и кора головного мозга «приписывает» это возбуждение раздражению соответствующих областей кожи. Подобные кожные боли, наблюдающиеся при заболеваниях внутренних органов, называются отражёнными болями, а области, где они возникают, – зонами Захарьина–Гед. Границы этих зон обычно размытые и соответствуют корешковому распределению кожной чувствительности.

Параметры воздействия идентичны контактно-зеркальной методике (табл. 6.1). Наиболее оптимально использовать матричные импульсные ИК-излучающие головки, например, МЛ-904-80 для аппаратов серии «Матрикс» и «Лазмик». Длина волны 904 нм, мощность 40–60 Вт, частота повторения импульсов 80–150 Гц, экспозиция 1,5–2 мин на одну зону, контактно. Можно также использовать лазерную излучающую головку с одним импульсным ИК-лазером, но

обязательно контактно-зеркальная методика. Длина волны 904 нм, импульсная мощность 10–15 Вт, частота 80 Гц, экспозиция 1,5–2 мин на 1 зону. За одну процедуру до 4–6 зон. Варьирование мощностью и частотой не допускается.

§ 6.5. Воздействие на паравертебральные зоны

Все внутренние органы имеют как симпатическую, так и парасимпатическую иннервацию, влияние которых часто носит антагонистический характер. Раздражение симпатических нервов приводит к увеличению частоты сокращений сердца, снижению двигательной активности кишечника, расслаблению желчного пузыря и бронхов и сокращению сфинктеров желудочно-кишечного тракта. Стимуляция же парасимпатических нервных волокон (например, электрическое раздражение блуждающего нерва) оказывает противоположный эффект: частота сокращений сердца и сила сокращений предсердий снижаются, моторика кишечника усиливается, желчный пузырь и бронхи сокращаются, а сфинктеры желудочно-кишечного тракта расслабляются. В физиологических условиях деятельность всех этих органов зависит от преобладания тех или иных влияний.

Эта функциональная синергичность особенно хорошо видна например рефлексов на сердце с барорецепторов, возбуждение которых в результате повышения артериального давления приводит к снижению частоты и силы сокращений сердца. Эффект обусловлен как *увеличением* активности парасимпатических сердечных волокон, так и *снижением* активности симпатических волокон.

В большинстве органов, имеющих и симпатическую, и парасимпатическую иннервацию, в физиологических условиях преобладают регуляторные влияния парасимпатических нервов. К таким органам относятся мочевой пузырь и некоторые экзокринные железы. Существуют также органы,

снабжаемые только симпатическими или только парасимпатическими нервами; к ним относятся почти все кровеносные сосуды, селезёнка, гладкие мышцы глаза, некоторые экзокринные железы и гладкие мышцы волосяных лукович.

Экспериментально-клинические исследования подтвердили возможность существенного повышения эффективности лазерной терапии при одновременном воздействии на патологический очаг и паравертебральную зону, соответствующую ему, что позволяет усилить эффекты местного воздействия НИЛИ, вызывая как системную, так и направленную ответную реакцию ВНС.

Параметры воздействия идентичны контактно-зеркальной методике (табл. 6.1), но используется исключительно импульсное ИК НИЛИ, две лазерные излучающие головки с одним лазером с зеркальной посадкой ЗН-35, симметрично. Длина волны 904 нм, импульсная мощность 10–15 Вт, частота 80–150 Гц, стабильно, паравертебрально, на проекции симпатических узлов, экспозиция 1 мин на одну зону.

§ 6.6. Воздействие на проекции внутренних органов

Является одной из наиболее распространённых методик лазерной терапии. Используются *только импульсное НИЛИ*, лучше всего в инфракрасной (длина волны 890–904 нм), реже в красной (длина волны 635 нм) области спектра.

Поскольку время релаксации макромолекул намного меньше длительности светового импульса ($\sim 10^{-7}$ с), то при мощностях, исчисляемых не милливаттами (мВт), а ваттами (Вт), происходит значительно более выраженная ответная реакция клетки. Это является основным механизмом, обеспечивающим возможность реализации методики наружного освечивания внутренних органов.

Очень высока эффективность комбинированного (последовательного) воздействия лазерным излучением ИК и красной областей.

Высокая эффективность использования красных импульсных ЛД в эксперименте с оптимизацией параметров НИЛИ при аутодермопластике, особенно при комбинированном воздействии лазерным светом двух длин волн. Максимально эффективной оказалась терапия импульсным НИЛИ (красный и ИК-спектры) больных различными ЛОР-заболеваниями, хроническим обструктивным бронхитом, кожными ангиитами (васкулитами), церебральным инсультом, героиновой наркоманией и т. д.

Применение матричных импульсных лазерных излучающих головок оправдано в большинстве случаев. Большая площадь воздействия с равномерно распределённой плотностью мощности излучения от нескольких точечных источников – лазерных диодов позволяет также значительно повысить эффективность ЛТ и получить более стабильный эффект. За счёт рассредоточения источников излучения на поверхности тела световой поток воздействует на больший объём биологических тканей по сравнению с точечным излучателем. Благодаря этому обеспечивается наиболее вероятное поглощение энергии именно в области патологического очага, локализация которого не всегда точно известна и может смещаться относительно поверхности тела при изменении положения самого пациента.

§ 6.7. Транскраниальная методика лазерной терапии

Один из вариантов освечивания проекции внутренних органов. Особенность методики в том, что оказывается благотворное воздействие не только на очаг поражения (ишемия,

травма), но и на весь организм, все органы и системы через активацию различных участков головного мозга. Это связано с тем, что лазерный свет рассеивается весьма значительно, а при использовании ИК НИЛИ в спектральном диапазоне 800–904 нм освещиванию подвергается практически весь мозг, и уверенно предсказать, какой из его участков и каким образом отреагирует, не всегда представляется возможным.

Таблица 6.7

Параметры ЛТ при воздействии на проекцию внутренних органов

Параметр	Значение	Примечание
Длина волны лазерного света, нм (спектр)	635 (красный)	-
	904 (ИК)	
Режим работы лазера	Импульсный	Матричная излучающая головка, площадь на поверхности 10 см ²
Длительность светового импульса, нс	100–150	Для импульсного режима
Мощность излучения, Вт	35–40	635 нм
	60–80	904 нм
Плотность мощности, Вт/см ²	4–5	635 нм
	8–10	904 нм
Частота, Гц	80–10 000	В зависимости от глубины предполагаемого воздействия и длины волны
Экспозиция на 1 зону, мин	1,5–2 или 5	-
Количество зон воздействия	1–4	-
Локализация	На проекцию внутренних органов	-
Методика	Компактная	Через прозрачную насадку ПМН
Количество процедур на курс	5–12	Ежедневно или через день

Базовые характеристики методики представлены в табл. 6.7, более подробно различные её варианты рассматриваются ниже в аспекте некоторых обстоятельств, которые необходимо учитывать при выборе и варьировании значений этих параметров.

В экспериментах *in vivo* используются различные спектральные диапазоны и режимы, однако их результаты не могут служить прямыми рекомендациями для клинического применения, хотя бы из-за весьма существенных различий размеров человека и мелких животных (конкретно голубы).

Существуют принципиальные различия в некоторых физиологических процессах, например, нейроэндокринного регулирования иммунной и сосудистой систем.

В клинических условиях применяют практически только импульсные матричные лазеры с длиной волны 904 нм, чаще всего для лечения пациентов с цереброваскулярной патологией в режиме БИО при частичной атрофии зрительного нерва и др.

Эпилептиформная активность в гиппокампе изменяется после освещивания аргоновым лазером (488 нм, 25 мВт, пятно 5 мм), что свидетельствует о светочувствительности ЦНС и потенциальной возможности регулирования различных процессов на этом уровне. Возникает только вопрос доставки излучения в нужное место с такой длиной волны и режимом работы лазера при желании реализовать эти возможности в клинике.

Транскраниальное воздействие НИЛИ в ближней инфракрасной области спектра (808 нм, непрерывные и модулированные режимы, 25 мВт/см², оптимальная ЭП 4,5 Дж/см²) в течение 2–5 мин в несколько раз увеличивает содержание АТФ в коре головного мозга у эмболизированных кроликов. ИК НИЛИ может модулировать возбудимость мо-

торной коры при оптимальной экспозиции 5 мин, а наибольшая активность головного мозга наблюдается в течение 20 мин после воздействия.

Анализизирующий эффект наблюдается у крыс при транскраниальном освещении ИК НИЛИ (820 нм, модуляция частотой 1000 Гц, оптимальная ЭП 12 Дж/см²), как самостоятельно, так и в сочетании с налоксоном (0,5 и 10 мг/кг), действие которого усиливается. Это подтверждает, по мнению ряда авторов, опиоидные механизмы обезболивающего действия проявляется лазерное излучение.

Освещение НИЛИ с длиной волны 660 нм и 810 нм устраняет последствия искусственной черепно-мозговой травмы у крыс, но результат отсутствовал на длинах волн 730 нм и 980 нм. При этом лазерный свет с модуляцией частотой 10 Гц оказался намного эффективнее, чем в непрерывном режиме. Это ещё один пример того, насколько ошибочно абстрактное словосочетание «ИК НИЛИ глубже проникает», без уточнения длины волны и цели этого проникновения.

Транскраниальное лазерное освещение (длина волны 808 нм, непрерывный режим) улучшает мозговой кровоток у крыс, в том числе за счёт высвобождения оксида азота.

В контролируемом клиническом исследовании продемонстрированы выраженное положительное влияние транскраниальной методики ЛТ (1064 нм, световое пятно диаметром 4 см², 250 мВт/см², в области лба, на 4 зоны, симметрично латеральные и медиальные области, с двух сторон по 1 мин на 1 зону, всего 8 мин) на когнитивные и эмоциональные функции человека.

Транскраниальная методика подходит для восстановления функций мозга и органов зрения, нарушенных вследствие травм или заболеваний, причём в последнем случае чаще используются СИД с разной длиной волны, что вполне допустимо при освещении глаз (табл. 6.7.1 и 6.7.2).

Лазерная терапия в офтальмологии, с использованием транскраниальной методики используется мною, имеется многолетний опыт практического применения.

Несмотря на имеющийся весьма значительный экспериментальный материал, демонстрирующий эффект от НИЛИ непрерывных лазеров, света СИД и даже инфракрасной лампы, в клинических условиях для достижения максимального результата при использовании транскраниальной методики следует применять исключительно импульсные матричные лазерные излучающие головки с длиной волны 904 нм. Этот выбор определяется даже не длиной волны, а высокой эффективностью импульсного режима.

Кроме использования низкоинтенсивного импульсного ИК-лазерного света при транскраниальной методике по прямому назначению возможно также опосредованное влияние, с целью повышения уровня трофического обеспечения тканей. Транскраниальное воздействие импульсным НИЛИ с дополнительной модуляцией частотой 10 Гц при несущей 3 кГц после физической нагрузки (плавание с грузом на хвосте) способствует активации синтеза ДНК во всех исследуемых тканях, но в скелетной мышце и тимусе этот эффект остаётся такой же, как и в группе без физической нагрузки, а в коре головного мозга он вдвое снижается по сравнению с контролем. Импульсное ИК НИЛИ может играть роль активного адаптогена, создавая пластическое обеспечение для повышения функциональной активности как в непосредственно освещаемой ткани (в коре головного мозга), так и в периферических по отношению к ней областях.

Воздействие импульсным ИК НИЛИ перед активной физической нагрузкой позволяет выявить различия в реактивности ЦНС и мышечной системы. В скелетной мышце при последующей физической нагрузке происходит снижение уровня её пластического обеспечения.

Таблица 6.7.1

Источник света	Длина волны, нм	Параметры методики	Эффект	Литература
ЛД	808	7,5 мВт/см ² , 0,9 Дж/см ² , 2 мин на зону	Улучшение неврологического состояния, ускорение работы субэнтрикулярной нейронной сети после окклюзии средней мозговой артерии (крысы), инсульт	De Taboada L. et al., 2006, Oron A. et al., 2006
ЛД	808	25 мВт/см ² , 4,5 Дж/см ² , 2-5 мин, непрерывный режим	Улучшение двигательных функций после искусственного эмболического инсульта (кролик)	Lapchak P.A. et al., 2004
ЛД	808	25 мВт/см ² , 4,5 Дж/см ² , 2-5 мин, модулированный режим, частота 1000 Гц	Повышение содержания АТФ в коре головного мозга после искусственного эмболического инсульта (кролик)	Lapchak P.A. et al., 2007, 2008
ЛД	808	1 Дж/см ² на 1 зону	Улучшение клинического состояния после ишемического инсульта у человека	Lamp Y. et al., 2007
ЛД	808	10-20 мВт/см ² , 1,2-2,4 Дж/см ² , на 1 зону 2 мин	Улучшение моторики через 5 дней после закрытой черепно-мозговой травмы и снижение размера области повреждения мозга с 12,1 до 1,4% через 28 дней после травмы (мыши)	Oron A. et al., 2007

СИД	633 и 870 (матрица)	22 мВт/см ² , 13,3 Дж/см ² , 10 мин на одну процедуру	Улучшение когнитивной функции у пациентов с хронической лёгкой черепно-мозговой травмой после 2-4 месяцев лечения	Naeser M.A. et al., 2010
ЛД	670	40 мВт/см ² , 2 Дж/см ²	Уменьшение разрушения дофаминергических клеток в <i>substantia nigra</i> после введения токсичного препарата (мыши), имитация болезни Паркинсона	Shaw V.E. et al., 2010
Лампа	700-2000 (максимум 1072 нм)	6 мин за процедуру, 10 дней	Улучшение работы памяти для пространственной навигации (мыши), имитация нарушений при болезни Альцгеймера	Michalikova S. et al., 2008
ЛД	810	250 мВт/см ² , 60 Дж/см ²	Снижение тяжести депрессии, повышение префронтального кровотока человека	Schifter F. et al., 2009

Эффекты от транскраниального воздействия низкоинтенсивного света (когерентного и некогерентного) на органы зрения

Источник света	Длина волны, нм	Параметры методики	Эффект	Литература
ПНЛ	633	10,5 мВт, диаметр луча 1,1 мм, ежедневно 2 недели по 2 мин	Восстановление структуры и функции повреждённого зрительного нерва (крысы, кролики)	Schwarz M. et al., 1987; Assia E. et al., 1989
СИД	670	28 мВт/см ² , 12 Дж/см ² , 3 процедуры	Восстановление структуры и функции (зрения) после систематической интоксикации этанолом (крысы)	Eells J.T. et al., 2003
СИД	633	2 мВт/см ² , 21 Дж/см ² , 6 процедур	Восстановление структуры и функции (зрения) после инсульта и стекловидное тело ретина (крысы), обоснование способа лечения наследственной оптической нейропатии Лёбера	Rojas J.C. et al., 2008
СИД	670	16 Дж/см ² , 5 процедур	Восстановление структуры и функции после лазерной коагуляции сетчатки (обезьяны)	Eells J. et al., 2008
СИД	670	50 мВт/см ² , 20	Восстановление зрения у P23H-3 крыс	Eells J. et al., 2008

		Дж/см ² , 5 процедур	как обоснование лечения пигментной ретины	
СИД	670	50 мВт/см ² , 360 Дж/см ² , 5 процедур	Восстановление структуры и функции после повреждения светом	Qu C. et al., 2010
ЛД	904	40 мВт/см ² , диаметр пятна 10 мм, модуляция частотой 3 МГц	Улучшенные функции у 86-летнего человека с возрастной дегенерацией жёлтого пятна	Rodriguez-Santana E. et al., 2008

Однократным 10-минутным лазерным освещением двигательной области коры головного мозга можно стимулировать биосинтетические процессы в клетках ЦНС, в клетках тимуса и скелетных мышц, повышая функциональные возможности этих тканей не только у интактных животных, но и у животных после активной физической нагрузки. Также была обнаружена активация ядерного хроматина пирамидных и звёздчатых нейронов коры головного мозга крыс после 10 мин её освещения непрерывным НИЛИ красной области спектра (633 нм).

§ 6.8. Воздействие на проекции иммунокомпетентных органов

Метод используется при различных состояниях, связанных с нарушениями в иммунной системе, при этом воздействие проводится непосредственно на проекции иммунокомпетентных органов, чаще всего лимфатические узлы и тимус. Исследования показали, что НИЛИ влияет практически на все, как гуморальные, так и клеточные компоненты иммунной системы, однако направленность воздействия может меняться в зависимости от многих факторов. Выбор методики достаточно индивидуален для каждой нозологии. Каждый специалист в своей области определяют с выбором наиболее оптимальной схемы лечения.

Чаще всего используется матричная импульсная ИК-лазерная излучающая головка МЛ-904-80. Допускается использование излучающих головок с одним импульсным ИК-лазером, но только с зеркальной насадкой ЗН-35 или ЗН-50 (контактно-зеркальная методика), возможны и другие варианты, но в любом случае допустимо использование *исключительно* импульсного ИК НИЛИ (длина волны 904 нм). Параметры методики представлены в табл. 6.8.

Таблица 6.8

Параметры ЛТ при воздействии на проекции иммунокомпетентных органов

Параметр	Значение	Примечание
Длина волны лазерного света, нм (спектр)	904 (ИК)	-
Режим работы лазера	Импульсный	-
Длительность светового импульса, нс	100–150	-
Мощность излучения, Вт	60–80	-
Плотность мощности, Вт/см ²	8–10	-
Частота, Гц	80–150	-
Экспозиция на 1 зону, мин	1,5	Экспозиция строго ограничена
Количество зон воздействия	1–2	-
Локализация	На проекцию иммунокомпетентных органов	Матричная излучающая головка, площадь на поверхности 10 см ² или с одним лазером
Методика	Контактно-зеркальная	Через прозрачную насадку ПМН или зеркальную насадку
Количество процедур на курс	8–10	Ежедневно

§ 6.9. Внутриполостные методы лазерной терапии

Различаются по локализации доступа к полым органам. Процедуры проводят с помощью специализированных оптических насадок, посредством которых доставляют НИЛИ в необходимую область с заданным пространственным распределением энергии лазерного света. Используют как непрерывное, так импульсное НИЛИ практически всех спектральных диапазонов. Поскольку площадь воздействия строго задана формой оптической насадки, мощность излучения головки устанавливается, на максимальном уровне (у оптических насадок потери могут составлять до 50% и более). Варьирование ЭП в данном случае осуществляется только за счёт изменения частоты для импульсного режима.

Напомним также, что после прохождения через световод длиной более 20 см в значительной степени теряются специфические свойства лазерного излучения – пространственная когерентность и поляризация, а эти составляющие пространственно-временной организации воздействия во многом определяют эффективность лечения. Однозначно показано, как экспериментально, так и в ходе клинических исследований, что эффективность ЛТ при непосредственном воздействии НИЛИ (без световода) существенно выше. Следовательно, необходимо по возможности работать без посредничества оптического волокна или минимизировать его длину. Нашими исследованиями было установлено, что допустимое снижение степени поляризации происходит на длине световода не более 15–20 см, а при длине световода более 1 метра поляризация и пространственная когерентность практически отсутствуют.

Для внутриполостного воздействия используются те же параметры НИЛИ и экспозиции, что и при контактно-

зеркальной методике (табл. 2.1), но мощность устанавливается на максимальном для выбранной лазерной излучающей головки уровне.

Внутриполостные методы ЛТ всё активнее замещаются наружным воздействием на проекции соответствующих органов. Например, непосредственное освечивание язв желудка и двенадцатиперстной кишки через световод в настоящее время практически полностью вытеснено применением матричных импульсных ИК-лазерных излучающих головок, работающих для повышения эффективности в режиме модуляции «БИО». Воздействие в этом случае проводится неинвазивно – процедура комфортна для пациента и удобна для медперсонала, при этом и более высокая эффективность лечения.

Иногда внутриполостную лазерную терапию сочетают или комбинируют с другими методами физиотерапии. Именно в направлении сочетания и комбинирования различными физическими лечебными факторами следует рассматривать перспективы развития внутриполостных методов.

§ 6.10. Надвенное (надсосудистое, неинвазивное, чрескожное, транскутанное) лазерное освечивание крови

По данным некоторых авторов, эффекты, вызываемые внутривенным лазерным освечиванием крови (ВЛОК) и различными вариантами надвенного или надартериального освечивания крови (НЛОК), идентичны. Многолетний практический опыт и клинические исследования прямо свидетельствуют во многих случаях в пользу НЛОК как более эффективного и простого метода, хотя большинство практических врачей отдаёт предпочтение ВЛОК. Сравнение в данном

случае проводится исключительно между наиболее оптимальным вариантом НЛОК с использованием матричных импульсных красных лазеров (длина волны 635 нм) и ВЛОК-635 (длина волны 635 нм, непрерывный режим, мощность 1–3 мВт). Когда же выбор того или иного варианта методики определяется исключительно возможностями имеющейся в наличии аппаратуры, сравнение не может быть корректным по причине того, что параметры освечивания чаще всего далеки от оптимальных.

Каждый из способов имеет и свои особенности, как по технологии реализации, так и результатам. Кроме общих механизмов рассматривает в неинвазивном варианте освечивания крови также дополнительные эффекты, реализуемые посредством активации ЦНС (рис. 6.10).

Внутривенный и наружный способы освечивания различаются тем, что в первом случае воздействие осуществляется непосредственно на кровь, а при неинвазивном варианте НИЛИ предварительно проходит через кожу, стенки сосудов и пр., поглощается, рассеивается. При этом значительно теряется мощность, практически полностью исчезают пространственная когерентность и поляризованность, но полностью сохраняется временная когерентность (монохроматичность).

Мы больше 20 лет занимаемся развитием как НЛОК, так и ВЛОК, понимая, что каждый из них занимает свою нишу, всегда были и всегда будут сторонники у обоих вариантов освечивания крови. В которой оба метода представлены без противопоставления. Настойчивая рекомендация – нежелательность применения инвазивных методик в педиатрии. Терапевтическая эффективность НЛОК, сопоставима как минимум с внутривенным лазерным освещением крови в варианте ВЛОК-635. Сравнительная оценка эффективности ме-

тодов и доказало их идентичность, в части положительного влияния на систему свёртывания крови и нормализации кислородного баланса в поражённых конечностях.

НЛОК импульсным ИК НИЛИ (890 нм) в сочетании с мексидолом у больных сахарным диабетом с длительно незаживающими ранами и язвами нижних конечностей способствует нормализации показателей свёртывающей и антисвёртывающей систем крови, иммунитета и неспецифической резистентности организма.



Рис. 6.10. Физиологические реакции организма на НЛОК и ВЛОК

В методике НЛОК, как альтернативе внутривенного способа, наилучшую эффективность демонстрирует импульсное красное НИЛИ с длиной волны 635 нм, несколько худшие результаты лечения в ИК-спектре (длина волны 890–904 нм). Неинвазивность и простота методики, доступность НЛОК в любых условиях (вплоть до полевых) позволяют значительно

повысить эффективность ЛТ за счёт добавления НЛОК в традиционные способы лечения широкого круга заболеваний, в том числе и в домашних условиях.

НЛОК чрезвычайно успешно применяется при нарушениях мозгового кровообращения на этапе ранней реабилитации.

Распространена путаница в терминологии и методологии, когда за неинвазивный вариант лазерного освещения крови совершенно необоснованно выдают эндоназальное воздействие. *Необходимо всем однозначно понять и запомнить*, что освещение периферических сосудов в любой локализации, типа «лазерных часов» на запястье бесполезно, а эндоназально исключительно опасно, и в любом случае это лишь дискредитация метода.

Способ эндоназального лазерного освещения хорошо известен, а также то, что он сопровождается рефлекторным возбуждением гипоталамических образований, контролирующих секрецию биологически активных веществ, участвующих в различных процессах: стимулирование сокращения матки, регулирование систем кровообращения и репродукции, контроль продукции различных гормонов и др. Такая многогранность и разветвлённость ответной реакции организма настоятельно требует предельно осторожного и максимально контролируемого воздействия на эту зону.

Эндоназальная методика в акушерстве и гинекологии применяется *только специалистами* именно для коррекции гормональных изменений (635 нм, 10–15 мВт, экспозиция не более 5 мин). Освещение НИЛИ эндоназально используют иногда в ЛОР-практике, но с другими целями и параметрами, мощность на выходе специальной оптической насадки не более 3–5 мВт при экспозиции от 30 с до 2 мин. В этом случае

обеспечивается только местное влияние, вероятность генерализованного отклика минимальна.

Методика НЛОК в наиболее оптимальном варианте (импульсное НИЛИ и матричные излучающие головки) хорошо отработана, характеризуется высокой степенью системного влияния, хорошо дополняет другие способы лазерного воздействия.

ВЛОК проводят почти исключительно инъекцией в кубитальную вену, иногда через постоянно установленный подключичный катетер. НЛОК осуществляется транскутанно, чаще всего в проекциях левой надключичной зоны, сонных артерий, паховых или подколенных сосудистых пучков при экспозиции на одну область 2–5 мин. При реализации НЛОК всегда воздействуют на проекцию крупных сосудов (артерии или вены) в области, близлежащей к очагу поражения.

У неинвазивного варианта освещения крови практически все преимущества, метод зачастую более эффективен, проще и дешевле, меньше тратится времени на процедуру и пр., но ВЛОК по ряду причин развивается быстрее и значительно более распространён в практическом здравоохранении.

Методика НЛОК. Освещение проводится через кожный покров всегда на проекцию крупных сосудов (артерии или вены) в области, близлежащей к очагу поражения (рис. 2.1.10), с экспозицией 2–5 мин:

- проекция общей сонной артерии (синокаротидная зона) симметрично (рис. 6.10.1, зона 2);
- проекция позвоночной артерии симметрично (рис. 2.1.10, зона 3);
- надключичная область слева (рис. 6.10.1, зона 4);
- сосудистые пучки в паховой области симметрично (рис. 2.1.10, зона 5);

– подколенная ямка симметрично (рис. 6.10.1, зона 6).

Оптимальные параметры методики указаны в табл. 2.8:

– НЛОК-635, наиболее эффективный вариант, импульсное НИЛИ красного спектра (635нм), ПМ – 4–5 Вт/см², длительность импульса 100–150 нс, частота 80 Гц;

– НЛОК-904, импульсное ИК НИЛИ (890–904нм), ПМ – 8–10 Вт/см², длительность импульса 100–150нс, частота 80 Гц.

Предпочтительнее всего использовать матричную лазерную излучающую головку МЛ-635-40, имеющую 8 ЛД импульсной мощностью по 5 Вт каждый (длина волны 635нм, импульсный режим, длительность светового импульса 100–150нс), расположенных в 2 ряда, суммарная мощность 40 Вт (рис.6.10.1.).

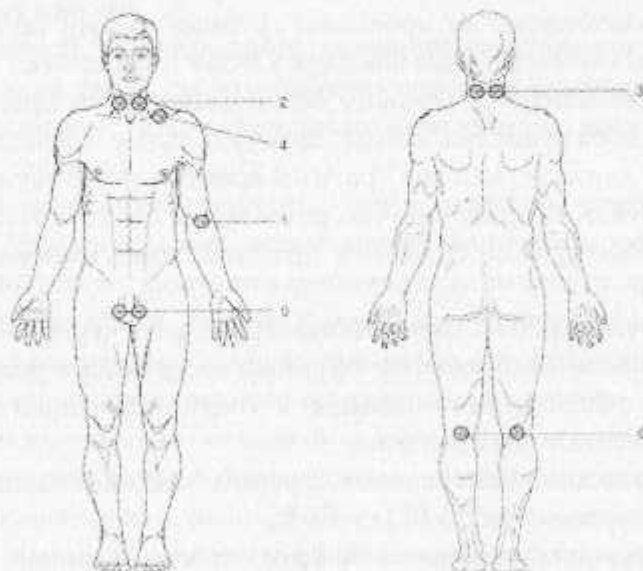


Рис. 6.10.1. Основные зоны лазерного освещения крови

Таблица 6.10

Параметры методики НЛОК

Параметр	Значение	Примечание
Длина волны лазерного света, нм (спектр)	635 (красный)	НЛОК-635
	904 (инфракрасный)	НЛОК-904
Режим работы лазера	Импульсный	-
Длительность светового импульса, нс	100–150	-
Мощность излучения, Вт	30–40	Матричная излучающая головка МЛ-635-40 для НЛОК-635
	60–80	Матричная излучающая головка МЛ-904-80 для НЛОК-904
Плотность мощности, Вт/см ² (площадь поверхности 10 см ²)	3–4	НЛОК-635
	6–8	НЛОК-904
Частота, Гц	80–150	-
Экспозиция на 1 зону, мин	2–5	-
Количество зон воздействия	2–4	Симметрично
Локализация	На проекцию крупных кровеносных сосудов, близлежащих к очагу поражения	Рис. 2.1.10, зоны 2–6
Методика	Контактная	Через прозрачную насадку ПМН
Количество процедур на курс	10–12	Ежедневно



Рис. 6.10.2. Матричная лазерная излучающая головка МЛ-635-40

С меньшей эффективностью в методике можно использовать ИК-матричную лазерную излучающую головку МЛ-904-80 (длина волны 904 нм, мощность 60–80 Вт, частота 80 Гц). Доказано, что наилучшим вариантом выбора всегда являются именно матричные излучающие головки, но при их отсутствии допустимы и головки с одиночным лазером, также работающие в импульсном режиме и только с зеркальной насадкой.

Мощность выбирается максимальная для данного типа лазерных головок (табл. 6.10) и не варьируется, также недопустимо превышать экспозицию 5 мин освечения одной зоны. Вопрос возможного увеличения частоты (т. е. средней мощности для импульсных лазеров) остаётся пока открытым, необходимо проведение дополнительных исследований по изучению влияния этого параметра на эффективность процедуры при различных патологических состояниях. Одно известно точно: частоты менее 80 Гц (иногда можно встретить даже 5 Гц) для импульсных лазеров совершенно неэффективны.

§ 6.11. Внутривенное лазерное освечение крови (ВЛОК)

Метод в силу своей исключительной универсальности и эффективности нашёл самое широкое практическое применение в кардиологии, пульмонологии, эндокринологии, гастроэнтерологии, гинекологии, урологии, анестезиологии, дерматологии и других областях медицины. Глубокое научное обоснование эффективности и прогнозируемость результатов также способствуют применению ВЛОК как самостоятельно, так и в комплексе с другими лечебными методами.

В многочисленных публикациях сообщается о положительных результаты, полученные при внутривенном лазерном освещении крови с использованием гелий-неонового лазера. Выбор типа лазера и длины волны 633 нм, соответственно, был обусловлен исключительно фактором доступности, но не эффективности. Современные лазерные терапевтические аппараты, в которых используются лазерные диоды, не только имеют лучшие масс-габаритные и энергетические параметры, но также и более эффективны благодаря оптимизации длины волны лазерного излучения. Разработка и производство одноразовых стерильных световодов позволили сделать эту процедуру абсолютно безопасной и комфортной для пациентов.

ВЛОК может проводиться практически в любом стационаре или поликлинике. Преимуществом амбулаторного применения является уменьшение возможности развития внутрибольничной инфекции, создаётся хороший психоэмоциональный фон, что позволяет больному на протяжении длительного времени сохранять работоспособность, при этом проходить процедуры и получать полноценное лечение.

Универсальность ВЛОК обусловлена не только положительным влиянием на кровь и все её компоненты, но также на

весь организм посредством запуска центральных механизмов регулирования и поддержания гомеостаза через ответную реакцию ВНС и ЦНС. Дополнительно корректируется стратегия адаптации организма к изменившимся условиям среды и состояния организма.

Для ВЛОК используется НИЛИ только в непрерывном режиме, воздействие проводят внутривенно через специальные одноразовые стерильные световоды с пункционной иглой, чаще всего в кубитальную вену (рис. 3.4, зона 1).

§ 6.12. Методика комбинированная, ВЛОК-525 + ЛУФОК (базовая)

Комбинирование (чередование режимов) позволяет оптимизировать воздействие, как на иммунную систему (УФ-спектр, 365–405 нм), так и с целью усиления трофического обеспечения тканей (красная область спектра, длина волны 635 нм).

Но категорически недопустимо проведение обеих процедур в один день, тем более одновременно!

Таблица 6.12

Параметры методики ВЛОК-635 + ЛУФОК®

Параметр	Значение	Примечание
Длина волны лазерного света, нм (спектр)	365–405 (УФ)	ЛУФОК®
	635 (красный)	ВЛОК-635
Режим работы лазера	Непрерывный	-
Мощность излучения, мВт	1,5–2	На выходе одноразового световода
Экспозиция, мин	3–5	ЛУФОК®
	10–20	ВЛОК-635
Локализация	Вена локтевая срединная	Рис. 2.1.10, зона 1

	(v. mediana cubiti)	
Методика	Внутривенно	Через одноразовый стерильный световод КИВА-01 производства Научно-исследовательского центра «Матрикс» (ТУ 9444-005-72085060-2008)
Количество процедур на курс	10–12	Ежедневно, чередуя через день ВЛОК-635 и ЛУФОК®

§ 6.13. Показания и противопоказания для назначения лазерной терапии

Показания определяются механизмами биомодулирующего действия НИЛИ и особенностями клинического применения лазерной терапии. Богатейший клинический опыт позволяет говорить с полной уверенностью не только о безопасности метода, но и необычайной широте тех областей медицины, где он может быть востребован. Универсальность, которая, возможно, ещё удивляет кого-то, объясняется как неспецифичностью БД НИЛИ, так и общностью механизмов патогенеза большинства заболеваний. Лазерный свет не является собственно лечебным фактором, но вызывает ответную реакцию организма нужной силы и направленности, который уже самостоятельно устраняет имеющиеся нарушения, восстанавливает нарушенный гомеостаз, итогом чего и становится выздоровление пациента.

Противопоказания изложены в официальном нормативном документе, среди которых выделяют следующие синдромы:

- геморрагический;
- неопластический;

– гипертермический синдром (лихорадка; температура тела больного выше 38 °С);

– системной (сердечной, сосудистой, дыхательной, почечной и печёночной) и полиорганной (общее тяжёлое состояние больного) недостаточности;

– кахектический (резкое общее истощение);

– эпилептический;

– судорожный;

– истерический.

Недостаточное понимание процессов, происходящих в данных ситуациях, и отсутствие необходимого числа достоверных исследований ограничивают применение метода.

Существуют относительные противопоказания, определяемые особенностями патогенеза конкретного заболевания. Лазерная терапия не назначается пациентам с некоторыми заболеваниями суставов в случае резкого обострения синовита с высокой степенью активности воспалительного процесса.

Некоторые противопоказания для общеклинической практики отнюдь не являются таковыми для узких специалистов, работающих в специализированных учреждениях или подразделениях. Достаточно публикаций, подтверждающих безопасность и эффективность лазерной терапии при лечении больных эпилепсией, но использовать метод могут только специалисты-неврологи.

При гемофилии ЛТ способствует уменьшению артралгии и предупреждению развития трофических нарушений в суставах.

Свойство НИЛИ способно значительно улучшать реологические свойства крови. Более того, многочисленные исследования неопровержимо доказывают благотворное влияние лазерного освечивания на процессы свёртываемости крови.

Существует также ряд ограничений для проведения лазерного освечивания крови, например, пациентам, которые

получают гепарин и другие антикоагулянты. Это именно ограничение (не противопоказание!) связано с активацией микроциркуляции и улучшением реологических свойств крови в результате такого воздействия. С другой стороны, при искусственном кровообращении у больных с врождёнными тяжёлыми пороками сердца ВЛОК-405 улучшает стойкость мембраны эритроцитов к механическому воздействию насоса, уменьшает гемолиз, позволяет проводить более длительные перфузии при значительном (в 2 раза) снижении доз гепарина.

Для безопасного применения лазерной терапии достаточно грамотного, педантичного и ответственного использования методик.

Назначать лазерные терапевтические процедуры должны совместно физиотерапевт и узкий специалист, знающий особенности патогенеза заболевания и лечения некоторой категории пациентов, например, детей или старшей возрастной группы.

Практически во всех областях современной медицины лазерная терапия входит в стандарты оказания медицинской помощи, не является исключением и *педиатрия*. Нет никаких возрастных ограничений для лазерной терапии, но необходимо знать определённые особенности применения метода для детей, где действует известное правило: «меньше возраст – ниже ЭП», или экспозиция, если говорить о ВЛОК. Аналогичное ограничение (уменьшение мощности, или экспозиции для ВЛОК, в 2 раза) действует и для старшей возрастной группы.

Иногда к противопоказаниям относят *активную форму туберкулёза*. Можно и нужно использовать лазерную терапию в комплексном лечении больных туберкулёзом лёгких, и именно в активную фазу, т. е. для специалистов это один из методов лечения без всяких ограничений.

Вполне очевидно, что именно высочайшая эффективность лазерной терапии послужила основным поводом для исключения метода из всех рекомендаций. Хотя лазерная терапия позволяет в 1,5–3 раза сократить сроки лечения и объём оперативного вмешательства при значительном снижении вероятности рецидива.

Наличие злокачественных и доброкачественных новообразований наиболее часто вызывает опасения у несведущих, однако это не является противопоказанием для лазерной терапии просто потому, что она входит в стандарты оказания медицинской помощи данной категории пациентов как часть комплексного лечения и реабилитации.

Появление раковых клеток в здоровом организме происходит постоянно, это норма. Было однозначно доказано: лазерный свет не обладает ни мутагенным, ни онкогенным действием, не стимулирует развитие раковых опухолей, а наоборот, подавляет.

По данным онкологов, данное противопоказание относится только к местному воздействию НИЛИ на проблемные зоны и с предельно высокой ЭП, подавляя иммунную систему, воздействие же на другие области (например, ВЛОК) допустимо и более чем оправданно. Лазеры входят в стандартную комплектацию медицинских учреждений, занимающихся оказанием лечебной помощи онкологическим больным, т. е. в специализированных центрах специалистам-онкологам разрешается применять куда как более мощные, следовательно, потенциально более опасные лазеры, чем те, что используются для лазерной терапии.

Беременность во всех сроках также не является противопоказанием для лазерной терапии, поскольку она входит в стандарт оказания медицинской помощи этой категории пациенток, причём допускаются все методы ЛТ, включая ВЛОК. Палата (пост) интенсивной терапии и реанимации

для беременных и родильниц должны быть оснащены лазерным терапевтическим аппаратом.

Для специалистов применение лазерной терапии при различных патологических состояниях беременных – обычная практика. Никаких тенденций к росту показателей частоты врождённых аномалий у появившихся детей не выявлено.

- не установлено вредного влияния на менструальную функцию,

- отмечена нормализация ранее нарушенного менструального цикла;

- роды и послеродовой период у беременных женщин проходили нормально, никаких негативных явлений не отмечено;

- общий уровень гинекологической заболеваемости с потерей грудоспособности на лазерном производстве не отличается от такового на предприятии в целом;

- значительно выше показатель беременностей у женщин, работающих непосредственно на лазерном производстве.

Не существует нормативных документов, регламентирующих противопоказания для лазерной терапии. Единственным условием работы является достаточно высокий уровень профессионализма персонала медучреждения.

Лазерная терапия входит в стандарт оказания медицинской помощи в косметологии. Не существует методик, способных привести к нежелательным последствиям. Имеются ограничения в варьировании параметрами НИЛИ, и при определённых условиях возможны непредсказуемые для неспециалиста ответные реакции организма.

После плацебо-воздействия, имитирующего процедуру лазерной терапии, в среднем у 15% больных с цереброваскулярными заболеваниями возникают ощущения слабости и головокружения на фоне снижения артериального давления. Надо понимать, что низкоинтенсивный лазерный свет совер-

шенно безопасен, если работать с соблюдением достаточно простых правил.

Абсолютное, очевидное и неоспоримое, но при этом неофициальное противопоказание не существуют.

Преимущества применения лазеров в стоматологии доказаны практикой очевидные плюсы ЛТ:

- 1) безопасность применения;
- 2) возможность чёткого регулирования параметров воздействия и точности дозировки при проведении процедур;
- 3) показана и высокоэффективна при довольно широком перечне заболеваний;
- 4) хорошо сочетается с другими методами лечения и повышается их эффективность;
- 5) простота применения;
- 6) предпочтительна при лечении инфекционных заболеваний, так как большая дозировка антибиотиков и гормонов может быть снижена в разы.

Значительно эффективнее, не требует обслуживания и никаких дополнительных расходов.

Лазерный свет принципиально ничем не отличается от солнечного или лампы освещения, кроме монохроматичности (одна длина волны), лазер светит точно также, как и фонарик, а лазерным лучом освещают место воздействия. «Облучают» только ионизирующим, радиоактивным излучением.

Надо светить, освечивать, проводить освечивание или воздействие НИЛИ, а также задавать все параметры методики без исключения.

§ 6.14. Диагностические возможности голографии

Особый интерес для голографической диагностики представляет орган зрения. Глаз является органом, позволяющим получать изображение его внутренних сред обычным

освещением извне, так как преломляющие среды глаза являются прозрачными для излучения, видимого и ближнего инфракрасного диапазона.

Наибольший подъем исследований и разработок систем объемного отображения в офтальмологии связан с появлением лазеров, когда появились потенциальные возможности широкого использования голографического метода.

Для голографической записи изображения глазного дна использовалась стандартная фотографическая фундус-камера Цейса, в которой ксеноновый источник света был заменен лазерным источником излучения.

Недостатком являются низкое (100 мкм) разрешение и невысокий (2:1) контраст получаемых изображений.

Традиционные методы оптической голографии сталкиваются с принципиальными трудностями их практической реализации в офтальмологии, в первую очередь из-за низкого качества получаемых объемных изображений.

Существенного повышения качества объемных изображений можно ожидать лишь в случае использования однопроходной голографической регистрации, каковой является регистрация прозрачных микрообъектов методами голографии.

Метод флюоресцентной ангиографии, состоящий в возбуждении люминесценции красителя, введенного в кровь, и одновременной фото-регистрации изображения глазного дна.

Был разработан способ получения однопроходной голограммы глазного дна. Данный способ позволяет существенно улучшить качество восстановленных изображений в результате устранения когерентного шума и паразитных бликов.

ГЛАВА 7. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ФОТОДИНАМИЧЕСКОЙ ТЕРАПИИ В ОНКОЛОГИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ

§ 7.1. Понятие фотохимической реакции

§ 7.2. Виды фотосенсибилизаторов

§ 7.3. Виды низкоэнергетических лазеров

§ 7.4. ФДТ и ФД в онкологии

§ 7.1. Понятие фотохимической реакции

Фотохимией называется раздел физической химии, изучающий закономерности протекания химических процессов, обусловленных действием света.

Основной процесс, проходящий под действием света, - фотодиссоциация, или возбуждение молекул.

Химически активны лишь те лучи, которые поглощаются реакционной смесью.

Ослабление интенсивности dI света, прошедшего через слой толщиной dl , прямо пропорционально толщине слоя и интенсивности падающего света I . Поглощение тонким слоем прямо пропорционально числу частиц (молекул) или их концентрации в слое. Объединенный закон можно записать в форме:

$$I = I_0 e^{-knl} \quad (7.1)$$

I_0 - интенсивность светового потока до прохождения поглощающего слоя;

I - то же после поглощения в слое толщиной l ;

n - число поглощающих свет молекул в 1 см^3 ;

k - Множитель пропорциональности, называемый молекулярным коэффициентом поглощения.

Количество химически измененного вещества прямо пропорционально количеству поглощенной веществом све-

товой энергии. Количество энергии Q , поглощенной в единицу времени:

$$Q = I_0 - I = I_0 (1 - e^{-knl}) \quad (7.1.1)$$

Тогда скорость фотохимической реакции, поглощенной веществом в единицу времени:

$$-\frac{dn}{dt} = KI_0 (1 - e^{-knl}) \quad (7.1.2)$$

K - множитель пропорциональности.

Закон фотохимической эквивалентности Штарка-Эйнштейна: каждому поглощенному кванту излучения $h\nu$ соответствует одна измененная молекула.

Число квантов, поглощенных в единицу времени, равно $n_p = Q/h\nu$. Следовательно, изменению под действием света должны подвергнуться $n_p = Q/h\nu$ молекул.

Опыт показывает, что во многих случаях число фотохимически прореагировавших молекул не равно числу поглощенных квантов. Поэтому для характеристики фотохимических реакций было введено понятие квантового выхода g . Квантовым выходом называется отношение числа прореагировавших молекул к числу поглощенных квантов:

$$g = \frac{n_p}{n_a} = \frac{n_p}{Q/h\nu} \quad (7.1.3)$$

где n_p - число прореагировавших молекул.

Скорость химической реакции

$$-\frac{dn}{dt} = \frac{dn_p}{dt} = g \frac{dn_a}{dt} = g \frac{Q}{h\nu} \quad (7.1.4)$$

Подставив в уравнение (5) выражение (2), получим

$$-\frac{dn}{dt} = g \frac{I}{h\nu} (1 - e^{-knl}) \quad (7.1.5)$$

Это наиболее общее выражение для скорости фотохимической реакции, объединяющее все законы фотохимии и

дающее теоретическую интерпретацию коэффициенту пропорциональности в уравнении (3).

Основные типы фотохимических процессов.

Как показывает опыт, все фотохимические реакции в зависимости от величины квантового выхода можно подразделить на четыре группы:

1. Реакции, в которых квантовый выход $g = 1$ (например, образование перекиси водорода);
2. Реакции, в которых $g < 1$ (разложение аммиака, йодистого и бромистого метана, ацетона, уксусной кислоты);
3. Реакции, в которых $g > 1$ (образование хлористого сульфурла, бромистого водорода, озона, разложение бромистого водорода, двуокиси азота, азометана, хлорноватистой кислоты);
4. Реакции, в которых $g \gg 1$ (реакция взаимодействия хлора с водородом).

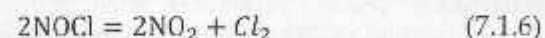
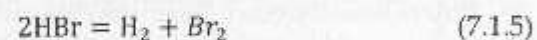
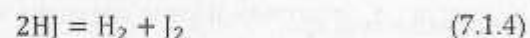
Отклонение квантового выхода от единицы не означает отклонения от закона фотохимической эквивалентности. Фотохимический процесс складывается из первичного процесса, протекающего в результате поглощения светового кванта и, приводящего к диссоциации молекулы и образованию свободных атомов и радикалов, и из вторичных процессов, протекающих в результате вступления в реакцию образовавшихся атомов и радикалов. Первичные фотохимические процессы, являющиеся истинно фотохимическими, всегда подчиняются закону эквивалентности Штарка-Эйнштейна. Отклонение квантового выхода от единицы означает появление вторичных процессов, которые идут уже без поглощения света.

Квантовый выход реакций, протекающих в растворах или в газах при очень малых давлениях, очень часто оказывается меньше 1. При реакциях в растворах это происходит

вследствие дезактивации возбужденных молекул в результате передачи энергии молекулам растворителя или в результате рекомбинации возникших при фотодиссоциации атомов и молекул, причем рекомбинация облегчается молекулами растворителя, играющими роль третьих частиц. Такое уничтожение реакционноспособных частиц получило название эффекта ячейки (клетки) Франка-Рабиновича.

Если реакция идет в газах, находящихся под малым давлением, то возникшие активные молекулы могут дезактивироваться путем испускания света до того, как они столкнутся с реагирующими молекулами.

В ряде случаев квантовый выход оказывается больше 1; особенно часто он равен 2 или 3. Примерами таких процессов могут служить реакции разложения в газовой фазе следующих веществ ($g = 2$):



Фотохимическое разложение бромистого и йодистого водорода представляет собой фотореакции, механизм которых наиболее известен.

В некоторых случаях квантовый выход может быть порядка десятков. Например, для реакции разложения перекиси водорода в воде квантовые выходы лежат в пределах от 7 до 500. Детальный механизм реакций, для которых $g > 1$, во многих случаях неизвестен.

Примером реакций, для которых $g \gg 1$, является уже рассмотренная реакция соединения хлора с водородом на свету. Для этой реакции $g \approx 10^5$, т.е. одному поглощенному кванту соответствует около ста тысяч превратившихся молекул.

Во всех фотохимических реакциях первичный фотохимический процесс подчиняется закону эквивалентности Штарка - Эйнштейна, а характер отклонения от этого закона позволяет разобраться во вторичных, не фотохимических процессах.

К первичным фотохимическим процессам близки так называемые сенсibilизированные реакции, в которых участвуют не те молекулы, которые непосредственно поглощают лучистую энергию, а соседние молекулы, которые сами по себе нечувствительны к излучению данной частоты и получают энергию от непосредственно поглощающих её молекул. Примером такого процесса является диссоциация молекулярного водорода в присутствии паров ртути. Известно большое число сенсibilизированных реакций. Кроме паров ртути сенсibilизаторами могут быть галогены, хлорофилл, ионы железа и др.

В фотохимических реакциях равновесие смещается под действием света. Заметное нарушение равновесия можно наблюдать только тогда, когда квантовый выход реакции близок к единице.

§ 7.2. Виды фотосенсibilизаторов

Фотосенсibilизатор — природное или искусственно синтезированное вещество, способное к фотосенсibilизации биологических тканей, то есть увеличению их чувствительности к воздействию света.

В узком смысле, говоря о фотосенсibilизаторах, подразумевают класс веществ — производных порфиринов и родственных им гетероароматических структур — разрабатываемых как лекарственные средства для методов фотодинамической терапии (ФДТ) и флуоресцентной диагностики злокаче-

ственных опухолей, трофических язв и некоторых других патологий.

Фотосенсibilизаторы должны избирательно накапливаться в опухолях и почти не задерживаться в окружающих их здоровых тканях. При освещении ткани с накопившимся фотосенсibilизатором, молекулы последнего действуют как своего рода преобразователи, обладающие способностью передавать энергию квантов света имеющемуся в кровотоке и тканях кислороду, превращая его в активную синглетную форму и высокоактивные кислородсодержащие радикалы. Они оказывают цитотоксическое действие, вызывая повреждение сосудистой системы опухоли либо некроз или апоптоз патологических клеток.

Фотосенсibilизаторы (ФС), применяемые в фотодинамической терапии (ФДТ), после введения в организм, избирательно локализуются в опухоли и при световом, в частности лазерном, возбуждении продуцируют цитотоксические вещества, прежде всего синглетный кислород ($^1\text{O}_2$).

«Идеальный» ФС должен удовлетворять целому ряду требований:

- наличие интенсивной полосы поглощения в красной или ближней ИК области спектра – в так называемом «терапевтическом окне»;
- отсутствие агрегации в водных растворах, приводящей к падению квантового выхода генерации $^1\text{O}_2$;
- наличие интенсивной флуоресценции, позволяющей одновременно проводить флуоресцентную диагностику, и достаточно большое время триплетного состояния, обеспечивающее возможность реализации фотодинамического эффекта;

– высокая стабильность при хранении и эксплуатации, в частности фазовая стабильность – отсутствие образования осадка;

– отсутствие общей токсичности.

Недостатком применяющихся ФС на основе производных гематопорфирина (рис. 7.2), например, НРД (hematoporphyrin derivative), фотофрин-2, фотогем, является невысокая интенсивность поглощения в полосе фотовозбуждения (625–640 нм). Значительное собственное поглощение биологической ткани в этой спектральной области обуславливает малую глубину проникновения излучения и затрудняет лечение опухолей больших размеров.

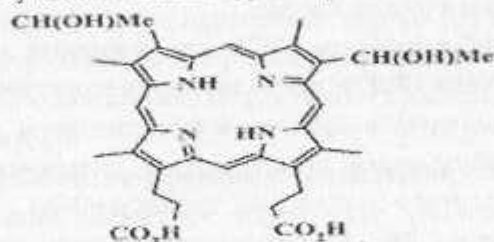


Рис.7.2. Гематопорфирин

Ведется поиск новых, более эффективных ФС в различных классах органических красителей, среди порфиринов и их синтетических аналогов. Хлорины (дигидропорфирины) характеризуются сильным возрастанием интенсивности длинноволновой полосы и ее смещением в красную область по сравнению с порфиринами. Среди хлоринов следует отметить водорастворимые моно-L-аспартилхлорин еб и другие различные формы хлорина еб (рис. 7.2.1, а), в частности отечественные препараты фотодитазин, радахлорин и белорусский фотолон, а также синтетические хлорины – 5,10,15,20-тетракис (м-гидроксифенил) хлорин (темопорфин, m-THPC, фоскан) и производные бензопорфирина (бензопорфирин

моноокислота, кольцо А), структурные формулы которых представлены на рис. 7.2.1, б и 7.2.1, в.

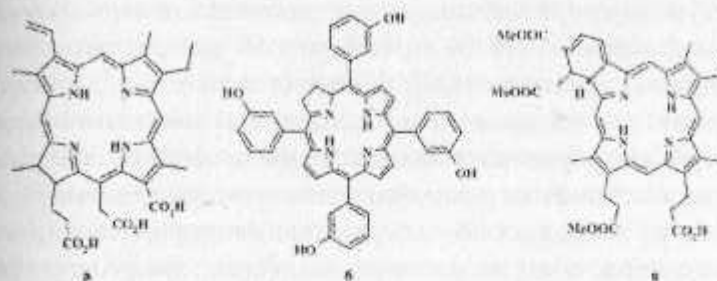


Рис.7.2.1. Производные хлорина:

а – хлорин еб; б – темопорфин (m-THPC); в – бензопорфина моноокислота, кольцо А

Ведется поиск порфиринов более сложного строения, содержащих в молекуле фрагменты карборанов, что позволяет использовать их не только как ФС для ФДТ, но и как препараты для бор-нейтронозахватной терапии.

Моно-L-аспартилхлорин еб (препарат NPe₆, MACE, Nippon Petrochemical, Япония) поглощает при 664 нм с молярным коэффициентом поглощения ϵ около $25000 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$, характеризуется отсутствием кожной токсичности.

Производные бензопорфирина с максимумом поглощения при 690 нм ($\epsilon = 33000 \text{ M}^{-1}\text{cm}^{-1}$) являются синтетическими аналогами хлорина, полученными реакцией диенового синтеза протопорфирина IX с диметилowym эфиром ацетилендикарбоновой кислоты.

Под названием визудин широко используется для лечения субретинальной неоваскулярной мембраны (СНМ). Быстро выводится, что хорошо для лечения СНМ, для онкологии – эффективен в течение всего нескольких часов после инъекции.

§ 7.3. Виды низкоэнергетических лазеров

Медицинские лазеры условно разделяют на терапевтические (низкоэнергетические, или низкоинтенсивные), мощность которых обычно не превышает 50 мВт, и хирургические, имеющие мощность до 100 Вт и более.

Механизм режуще-испаряющего и гемостатического эффектов непрерывного высокоэнергетического лазерного излучения основан на трансформации световой энергии излучений в тепловую. В результате наступает испарение межтканевой и внутриклеточной жидкости, коагулируется и уплотняется цитоплазма эпителиальных клеток с развитием дистрофических процессов, вплоть до коагуляционного некроза с образованием лазерного термического струпа. Излучение лазеров стимулирует процессы регенерации, изменяя длительность фаз течения раневого процесса. Характер воспаления в процессе заживления лазерных ран обуславливает уменьшение частоты послеоперационных осложнений (несостоятельность швов анастомоза, нагноение ран, рубцовые сужения и т.д.).

Лазерное излучение обеспечивает гемостатический эффект, стерилизацию операционного поля и быструю ликвидацию интоксикации у больных с гнойной хирургической инфекцией (отсутствует резорбция микробных токсинов и продуктов распада из патологического очага). Лазерное излучение вызывает полное разрушение клеток, «заваривает» лимфатические и кровеносные сосуды при минимальном травмировании тканей, что уменьшает риск метастазирования при злокачественных опухолях.

В основе терапевтического действия низкоэнергетических лазеров лежат фотохимические реакции, связанные с резонансным поглощением света тканями, а также с восприятием и переносом энергий жидкими средами организма. В результате прямого воздействия лазерного излучения проис-

ходит нарушение слабых взаимодействий атомов и молекул, появляются свободнорадикальные ионы, что ведет к усилению метаболизма. На клеточном уровне изменяется энергетическая активность клеточных мембран, происходит активация ядерного аппарата, систем ДНК — РНК — белок, биосинтетических процессов и основных ферментативных систем, активация окислительно-восстановительных процессов, увеличение образования макроэргических соединений. На органном уровне происходит понижение порога рецепторной чувствительности, уменьшение длительности фаз воспаления, снижение интерстициального отека и напряжения тканей, повышение скорости кровотока, улучшение микроциркуляции, активация физиологической и репаративной регенерации. Клинически отмечают обезболивающий, противовоспалительный и противоотечный эффекты, стимуляцию общих и местных факторов иммунной защиты, десенсибилизирующее действие, бактериостатический и бактерицидный эффект в отношении некоторых видов патогенной флоры.

Лечение низкоэнергетическим лазером показано при различных заболеваниях и патологических состояниях: трофических и посттравматических язвах, длительно не заживающих ранах миозитах, эпикондилитах, периартритах, бурситах, переломах костей, облитерирующем атеросклерозе сосудов нижних конечностей, ишемической болезни сердца, гипертонической болезни I—II стадии, хронических неспецифических заболеваниях легких, язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки, деформирующем остеоартрозе, ревматоидном артрите, невритах, радикулитах, хроническом воспалении придатков матки, дерматитах, дерматозах, опоясывающем лишае, рецидивирующем герпесе, фурункулезе.

Применение низкоэнергетических лазеров противопоказано при злокачественных новообразованиях, болезнях крови, нарушениях свертывающей системы крови, активном туберкулезе, декомпенсированных сердечно-сосудистых заболева-

ниях, почечной недостаточности, декомпенсированном сахарном диабете, заболеваниях нервной системы с резко повышенной возбудимостью, индивидуальной повышенной чувствительностью к лазерному излучению.

Светонизлучающие белки - основа низкоэнергетических лазеров нового типа

Мать Природа, создавая в свое время медузу, меньшее всего "думала" о лазерах. Но так получилось, что некоторые виды этих морских живых организмов содержат вещество, которое как нельзя лучше подходит для изготовления лазеров нового типа, лазеров, для работы которых требуется совсем незначительная энергия и которые работают даже при комнатной температуре.

Ученые из Шотландии и Германии использовали зеленый флуоресцентный белок (green fluorescent protein, GFP), материал, изначально выделенный из организма определенного вида медуз, в качестве активного материала рабочего тела поляритонного лазера.

Поляритонные лазеры работают несколько иначе, нежели традиционные. Основой принципа их работы являются поляритоны, квазичастицы, состоящие из пары, электрон-дырка (экситон) и фотона. Когда энергия из внешнего источника "накачивается" в такую систему, плотность поляритонов становится настолько высокой, что они начинают сталкиваться друг с другом и испускать заключенные в них фотоны света. А синхронизация движения и разрушения поляритонов обеспечивает то, что луч излучаемого света обладает всеми признаками луча лазерного света, т.е. монохроматичностью и определенной поляризацией.

При этом, для излучения света поляритонным лазером требуется энергия намного меньшая, чем требуется для работы обычного лазера, ведь для получения луча света не требу-

ется никакого преобразования энергии одного вида в энергию другого вида.

Однако, главная проблема поляритонных лазеров заключается в том, что экситоны являются весьма нестабильными квазичастицами и они имеют тенденцию сталкиваться друг с другом, что приводит к их немедленному уничтожению. Для преодоления данной проблемы ученые охлаждали поляритонные лазеры до криогенных температур, но все это приводит к усложнению и удорожанию устройства в целом.

Еще одним путем решения вышеописанной проблемы стало использование GFP-белка, особого белка, полученного при помощи технологий генной инженерии, который способен светиться более ярко, нежели аналогичный белок естественного происхождения. Ученые создали лазерную резонансную полость, поместив пленку белка GFP-500, толщина которой измеряется нанометрами, между двумя зеркалами. Молекулы белка GFP-500 представляют собой "связки" крошечных цилиндров, состоящих из 11 атомных слоев. Светонизлучающая часть этого белка "спрятана" внутри этих цилиндров, таким образом, циркулирующие там экситоны изолированы от экситонов в других частях молекулы и, благодаря этому, он не имеют возможности уничтожать друг друга.

Данный лазер является не первым поляритонным лазером, способным работать при комнатной температуре, однако, биологическая основа такого лазера делает это устройство куда более биологически совместимым, нежели чем его полупроводниковый аналог. Такие крошечные лазеры, введенные внутрь живого организма, могут выступать в роли биологических маркеров, которые изменяют цвет своего свечения в ответ на генетические изменения, произошедшие в отдельных клетках. В отличие от имеющихся в наличии маркеров, которые могут воспроизводить только малое количество цветов, лазерные маркеры могут обеспечить минимум 5 тысяч

различных оттенков зеленого цвета, давая ученым в руки более точный инструмент для изучения изменений и мутаций этих клеток.

Поляритонные лазеры, использующие белки различных типов и излучающие свет различных цветов, могут быть использованы для создания устройств отображения информации, для создания более точных биологических маркеров и для многого другого.

§ 7.4. ФДТ и ФД в онкологии

Для лечения онкологии постоянно разрабатываются новые методы. Фотодинамическая терапия (ФДТ) – это избавление от зло- и доброкачественных новообразований при помощи света с определенной длиной волны. Для усиления воздействия в новообразование вводят фотосенсибилизирующие препараты (ФС).

Воздействие светом (диодный лазер) проводится в лечебных целях при множестве заболеваний:

- инфекционных;
- кожных;
- остеохондропатиях;
- заболеваниях ЛОР-органов;
- ишемиях;
- грыжах межпозвонковых дисков и других.

ФДТ – малоинвазивный метод лечения онкопатологий.

Во время терапии имеют место:

Единственный прокол – выполняется инъекционной иглой в момент, когда пациенту вводят фотосенсибилизатор.

Один надрез – делается только в случае глубокого залегания опухоли. Через него пациенту вводится световод. В большинстве случаев можно обойтись без надреза. Световод вводится внутрь через естественные отверстия.

Световое воздействие при такой терапии не повреждает коллагеновые волокна, не оказывает разрушительное воздействие на организм. Единственное требование к пациентам – после лечения воздержаться от выхода на улицу в течение 30 суток. Это позволит исключить воздействие прямых солнечных лучей.

На заметку. Осложнений после такого лечения не возникает. Люди чувствительные могут некоторое время ощущать жжение в зоне воздействия, слабый болевой синдром.

Показания и противопоказания к ФДТ

ФДТ показана пациентам, которым предстоит оперативное вмешательство, а также тем, у кого оно невозможно по разным причинам (новообразование располагается в неудобном месте, IV – неоперабельная – форма рака).

В числе показаний для фотодинамической терапии при высоком риске операции:

- начальные стадии рака трахеобронхиального дерева, пищевода и желудка;
- мультицентричный центральный рак легкого.

В качестве паллиативной помощи ФДТ показана при неоперабельных стенозирующих новообразованиях органов ЖКТ (прямой и толстой кишок, пищевода, кардиального отдела желудка).

Также среди показаний следующие заболевания:

- кожная меланома;
- новообразования на лице, которые доставляют человеку эстетический дискомфорт;
- рак шейки матки;
- плоскоклеточный, метатипический, базальноклеточный рак кожи;
- злокачественные образования в полости рта;
- рак мочевого пузыря поверхностный.

ФДТ имеет немного противопоказаний. Это:

- порфирия (болезнь «вампира» – характеризуется непереносимостью солнечного света);

- гиперчувствительность кожи к облучению;

- тяжелые заболевания почек и печени, при которых органы не могут полноценно выполнять свои функции;

- беременность;

- лактация.

На заметку. Фотодинамическую терапию никогда не рассматривают как приоритетный метод в лечении онкологических заболеваний. Рекомендация онкологов – всегда сочетать ФДТ с химиотерапией. Наибольшая эффективность метода отмечена при значительном распространении опухоли.

Преимущества и недостатки лечения ФДТ

Плюсы фотодинамической терапии в сравнении с другими видами онкологического лечения существенны:

- безболезненность;

- нетоксичное воздействие;

- безопасность терапии – фотосенсибилизатор накапливается только в раковых клетках;

- если нужно, фотодинамическую терапию проводят 2 и более раз;

- воздействие светового луча только на патологически измененные клетки, здоровые ткани не затрагиваются;

- возможность сочетать фотодинамическую терапию с другими методами лечения онкологических заболеваний;

- можно избежать масштабного оперативного вмешательства, что особенно важно для зон, расположенных на открытых местах (лицо, шея);

- амбулаторное проведение процедуры (не при всех заболеваниях).

ФДТ оказывает на организм пациента с онкологией комплексное воздействие. После такого лечения врачами отмеча-

ется повышение иммунитета, уничтожение вирусов (в том числе папилломы человека), грибов и бактерий.

Недостатков у фотодинамической терапии два:

- не все злокачественные образования поддаются лечению светом – световой луч не до всех новообразований может добраться, что ограничивает область применения методики;

- лечение методом ФДТ требует длительной защиты от дневного света.

С осторожностью назначают фотодинамическую терапию, если новообразование распалось или же онкологический процесс затронул крупные кровеносные сосуды.

Как проходит ФДТ?

Перед началом лечения в организм пациента вводится один из фотосенсибилизирующих препаратов. Способ введения (выбирается от места локализации онкологического процесса) – через рот, в виде мази или инъекция. В течение 1-3 дней вещество накапливается в тканях, после чего больной приходит на повторный прием, когда и проводится ФДТ.

Во время лечения на опухоли, залегающие неглубоко под поверхностью кожи, сверху воздействуют световым пучком. Если новообразование расположено вне зоны досягаемости, выполняют надрез, в который вводится оптоволоконная трубка со светодиодами на конце.

Полное излечение наступает по-разному – зависит от размера образования. В течение 1 месяца – 1 года после лечения оно распадается, мутировавшие ткани восстанавливаются.

Механизм действия – как работает ФДТ?

Для разрушения опухолевых тканей нужен фотосенсибилизатор, световой пучок определенной длины волны и кислород. Введенный в организм состав избирательно скапливается на мембранах атипичных клеток и митохондриях.

Максимальная концентрация достигается в течение 24-72 часов.

Под воздействием света нетоксичный кислород (триплетный) переходит в токсичный (синглетный), который обладает выраженным цитотоксичным действием. Мембраны раковых клеток разрушаются, новообразование погибает.

Мощь цитотоксичного действия синглетного кислорода при ФД-терапии зависит от двух факторов – степени накопления фотосенсибилизирующего препарата в опухолевой ткани и глубины проникновения светового пучка.

С опухолью при фотодинамической терапии происходит:

1. Повреждаются атипичные клетки.
2. Нарушается кровоснабжение опухолевых тканей (повреждение сосудистой стромы).
3. При активной работе иммунной системы новообразование отмирает.

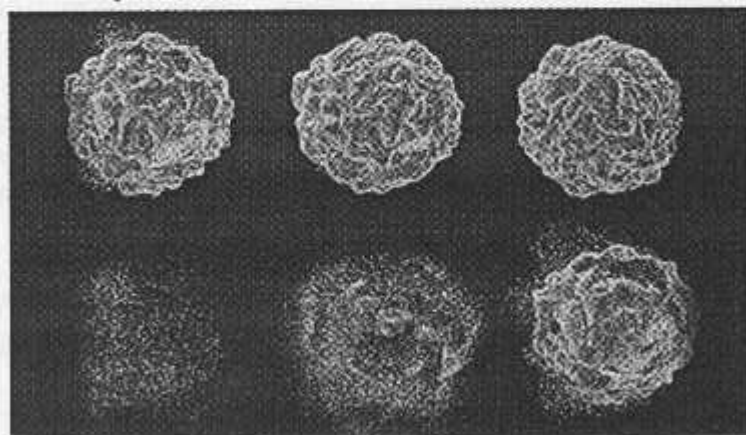


Рис.7.4. Повреждение атипичных клеток

Фотосенсибилизатор проникает в опухоль разными путями – диффузным, пассивным, посредством фагоцитоза, с помощью EGFR (рецептор эпидермального фактора роста).

Транспортом для ФС-препаратов выступают липопротеиды плазмы крови. Рецепторами к ним обладают клетки опухолей и эндотелий сосудов. ФС-препараты накапливаются именно в злокачественных новообразованиях.

Клетки гибнут от такого лечения по-разному – либо в результате апоптоза (самоуничтожаются), либо в результате некроза. По какому пути пойдет процесс уничтожения зависит от вида и концентрации состава-фотосенсибилизатора и дозы ИК-излучения:

- Апоптоз – используется световая энергия в низких дозах. Клетки погибают упорядоченно, без возникновения воспалительного процесса.

- Некроз – используется световая энергия в высоких дозах. Пораженная клетка набухает и «взрывается». Ее содержимое попадает на близлежащие ткани, возникает воспаление. Оно приводит к гибели следующих клеток.

Нарушение сосудистой стромы

Кровеносная система, питающая ткани новообразования, представлена капиллярами, базальная мембрана которых несовершенна. В результате фотодинамической терапии значительно изменяется сосудистый эндотелий. В результате активируются тромбоциты, сосуды запечатываются, останавливается кровоснабжение опухоли. Под воздействием высоких доз света активируется иммунная система, повреждается сосудистая строма. Это, наряду с гипоксией, и приводит к разрушению злокачественного образования.

данной причине, наша клиника настоятельно рекомендует не доводить заболевание до IV стадии, а лечить геморрой на ранних стадиях.

Все стадии геморроя могут сопровождаться кровотечением или быть без него.

Причины обострения геморроя

Причины появления геморроя делятся на сосудистые - повышенное поступление крови к анальной области по артериальным сосудам и нарушение оттока по венам, что приводит к гипертрофии кавернозных тел и образованию геморроидальных узелков. К возникновению сосудистых нарушений приводит сидячий образ жизни, неправильное питание, хронические запоры, беременности или злоупотребления спиртными напитками.

Механические - за счет факторов, приводящих к перерастягиванию и к дистрофическим изменениям мышечных волокон прямой кишки. Вследствие этого геморроидальные узлы смещаются в направлении заднего прохода и выпадают из него.

Геморрой является мультифакториальным заболеванием, к появлению которого приводят следующие причины:

- хронические запоры или диарея;
- гиподинамия и длительное пребывание в сидячем положении. Особенно часто геморроем страдают представители таких профессий, как водители, офисные работники, кассиры и т.д.;
- тяжелый физический труд (болеют строители, грузчики, спортсмены-тяжелоатлеты);
- неправильное и нездоровое питание (злоупотребление острой пищей, недостаточный питьевой режим, употребление пищи, бедной на клетчатку);

- злоупотребление спиртными напитками;
- наследственная предрасположенность;
- вынашивание ребенка, естественные роды;
- ожирение, особенно по абдоминальному типу, когда жир откладывается в районе живота);
- систематическое переохлаждение в области таза;
- хроническая патология сердца и сосудов;
- новообразования в малом тазу.
- кровотечение, которое может привести к анемии;
- тромбозы геморроидальных узлов (острый геморрой) сопровождается опухолевидными болезненными образованиями в области заднего прохода;
- нагноения геморроидальных узлов;
- ущемление выпавших узлов;
- злокачественные образования;

Методы лечения:

Существует 2 метода лечения: консервативный и оперативный.

консервативный - регуляция стула, соблюдение личной гигиены, исключение раздражающей пищи и алкоголя;

медикаментозное лечение-назначение ванночек при воспалении; применение свечек, мазей, микроклизмы и т.д.

Оперативный (хирургический) метод - Геморроидэктомия- при которой иссекают геморроидальные узлы и участок слизистой прямой кишки. Данная операция в клиники MediMax проводится с применением лазерного оборудования.

Успешно применяются малоинвазивные методы: лечение инфракрасным излучением; лигирование геморроидальных узлов латексными кольцами;

Преимуществом малоинвазивных методов является то, что не требуется длительной госпитализации, сама процедура переносится больными хорошо, а риск осложнений в послеоперационном периоде существенно снижен.

Недостаток этих методик в том, что это не радикальные методы лечения и геморрой может возникнуть опять. Также малоинвазивные методы подходят для лечения только 2-3 стадии геморроя. По этой причине мы рекомендуем пациентам обращаться на ранних стадиях, что бы можно было провести более щадящие методы лечения геморроя.

Существуют различные методики лечения геморроя: консервативное, оперативное и особенно малоинвазивные методики, что дает возможность, в отличии от других клиник, индивидуально подобрать наиболее оптимальный метод лечения с применением различных методик.

Профилактика геморроя

Лечение запоров и диарей

Исключить длительное пребывание в сидячем виде. После 40 минут сидячей работы делать 5 минутную ходьбу.

Исключить длительное сидение на унитазе. Не более 5 мин.

Исключить подъем больших тяжестей и тяжелых физических нагрузок.

В режиме питания больше клетчатке (фрукты, овощи, злаки т.д.), исключение алкоголя.

Профилактические упражнения при беременности.

Борьба с лишним весом.

Типология геморроя

Врачи выделяют несколько самых распространенных видов и стадий при лечении геморроя, через которые

проходят все больные. Геморрой – это серьезная проблема, с которой нужно бороться, чтобы ситуация не стала слишком запущенной, а поможет в этом профессиональная клиника. Необходимо знать, что это такое и о таких распространенных стадиях и разновидностях геморроя. Основная классификация геморроя:

1. хронического геморроя. Очень часто люди обращаются в больницу с неприятными ощущениями около заднего прохода, небольшим зудом или даже жалобами на кровотечения. Важно отметить, что это заболевание не возникает из ниоткуда. Оно может развиваться пару месяцев или даже пару лет, а уже потом дать о себе знать. Во время развития болезни больной не испытывает абсолютно ничего, поэтому даже не думает обращаться к специалисту, чтобы сдать анализы, первые признаки геморроя отсутствуют. Когда наступает следующая стадия хронического геморроя, то уже начинает все болеть, кровотечение становится частым явлением, есть предрасположенность к возникновению зуда и все стремительно обостряется.

2. Острый. Это продолжение хронического геморроя, а точнее его осложнение, которое точно может выявить только профессиональное обследование в клинике. Очень часто на этой стадии человек начинает страдать от тромбоза, очень сильных болей и ощущения внутри себя какого-то инородного тела. Повышается также и температура тела, но это все общие первые признаки, виды. Подробнее обо всем может рассказать только специалист и предложить эффективное лечение геморроя. Можно вылечить геморрой острого типа, если обратиться к лучшим профессионалам, стоимость лечения геморроя не слишком высокая.

3. Внутренний. Геморрой может быть также и внутренним. В данном случае речь идет о варикозном

расширении сосудов прямой кишки заднего прохода. На первых порах не обнаруживаются никакие проблемы в кишечнике, поэтому не возникает никакой мысли о том, что нужно лечить геморрой. Если вовремя не обратиться за помощью, то внутренний геморрой может вызвать опасные осложнения. Так у людей может развиться тромбоз вен – первый признак – из-за того, что кровь все время застаивалась во время геморроя. Также узелки могут постоянно выпадать, но это только если внутренний геморрой достигнет четвертой стадии. Кроме того, у больного из-за постоянных кровотечений может начаться малокровие, болеть голова, а анальный клапан может ослабиться, из-за чего начнется недержание. Чтобы внутренний вылечить геморрой, нужно идти в больницу и применять современные лучшие принципы лечения, цена которых доступна.

4. Наружный. Наружный геморрой – это серьезная проблема, для решения которой необходимо специальное лечение. Наружным геморроем называется и диагностируется полостное образование, которое в свою очередь полностью заполняется венозной кровью. Расширенные сосуды в области ануса формируют что-то очень похожее на шишку, которая развивается на протяжении трех стадий. Очень часто при запущенной форме возникают еще и осложнения: кавернозные тела начинают воспаляться, активно развивается венозный тромбоз, тогда необходима операция.

Диагностика геморроя

Если вылез геморрой, то в обязательном порядке необходимо посетить врача, обратиться за помощью лечения геморроя в больницу и провести диагностику на наличие заболеваний. На самом деле диагностика этой болезни

довольно простая, но важно подойти к самому лечению очень даже серьезно. Если в больнице будут сданы не все необходимые анализы, то вполне вероятно, что и диагноз врачом будет установлен неправильно. Недостаточность проверки пациента пропуск анализа приводит к тому, что не выявляются значимые осложнения или патологии, которые могут последовать после развития геморроя.

Во время диагностики геморроя врач осматривает больного в специальном гинекологическом кресле, которое позволяет определить геморрой заднего прохода и выбрать эффективную схему лечения геморроя. Врач обязательно должен посмотреть, что делается у кишечника пациента и как выглядит задний проход, если вылез геморрой, назначить лечение. Когда все изначальные анализы сданы пациентом, врач обязательно быстро занимается осмотром кала, анализа, цвета и состояния кожного покрова, наличия в заднем проходе зияния. Также он должен отследить наличие рубцовых изменений, геморроидальных узлов, поставить диагноз.

Обязательно проводится анализ частоты выпадения узлов, заболеваний, врач делает выводы по диагностике, нужно ли делать операцию, удаление геморроя или обойтись методом лечения. Бороться с данной болезнью реально, если во время диагностики найти правильный подход, но для этого нужен диагноз высокой точности. В медицинском учреждении используется только самое современное и инновационное оборудование, благодаря чему проводятся эффективные исследования, ставят быстро точные диагнозы, пытаются вылечить.

Чаще всего очень трудно диагностировать правильное месторасположение и размеры узлов, если проводить все исследование пальцевым методом, все это из-за того, что во

время пальпации узлы становятся гораздо меньше. Именно поэтому во время исследования пациент должен постоянно взаимодействовать с врачами, сдавать анализ. Только так они диагностируют точный тип геморроя, потому что будет дан точный обзор зоны расположения узлов и выбран метод лечения.

Если врачом диагностируется подозрение на геморрой, то он в обязательном порядке диагностирует ректороманоскопию. При болезни этот анализ эффективно позволяет определить геморрой или исключить различные дополнительные заболевания, особенно касающиеся кишечника. При геморрое во время диагностирования врач может назначить гастроскопию, чтобы исключить кровотечение из отдела системы пищеварения, вылечить его.

Как показывает практика, при правильном диагностическом обзоре врачи обнаруживают появление заболевания анального канала, которые способствуют геморрою. Также может страдать толстый кишечник. Многие из них становятся причиной того, что в заднем проходе происходят частые кровотечения.

Противопоказания

Есть ряд противопоказаний, которые выдвигают во время курса лечения геморроя абсолютно все врачи, поэтому обратившись, чтобы вылечить геморрой в клинике, стоит обратить на это особое внимание. Лучше всего учитывать каждое противопоказание на первых этапах развития заболевания. Это позволит активно ускорить лечение и в принципе облегчить его.

Обратившись к проктологу, который занимается лечением именно болезней, связанных с промежностью, пациент сразу получит важное противопоказание. Первое

противопоказание геморроя – это отказ от поднятия тяжестей. От больших физических нагрузок может подняться давление в венах, из-за чего задержится кровоток. Если больной ранее занимался спортом, то ему нужно перейти на более щадящие тренировки, снизить весовую нагрузку, количество упражнений. Еще одно противопоказание геморроя – не рекомендуется носить тесное нижнее белье и тесную верхнюю одежду. Не рекомендуется заниматься конным спортом людям, у которых точно выявлен геморрой. Еще одно распространенное противопоказание при геморрое заключается в том, что ни в коем случае нельзя применять мыло, гели для душа, поскольку тогда кожа может еще сильнее воспалиться. В таком случае нужно пользоваться только природным мылом с низкими показателями щелочи, иначе симптоматика геморроя станет еще выше. Активно доктора говорят о том, что нельзя делать, если геморрой развивается – это есть жирную пищу, так как ожирение тоже может стать причиной развития болезни.

§ 8.2. Лазерная геморроидэктомия

Лазерная геморроидэктомия – малоинвазивная операция, в основе которой лежит способность высокочастотного лазерного луча коагулировать геморроидальные узлы, не травмируя при этом окружающую здоровую ткань. Благодаря возможности регулировать параметры лазерного излучения, лечение патологически расширенных геморроидальных узлов осуществляется малоболезненно даже в осложненных случаях. Операция по удалению геморроидальных узлов проводится быстро и заживление проходит быстро.

Метод HeLP – применяется при геморрое 1–2 стадии, не сопровождающихся выпадением геморроидальных узлов. Хирург, используя доплеровский датчик, обнаруживает бо-

лезненно увеличенный кровеносный сосуд, находящийся выше геморроидального узла, и при помощи лазерного излучения прижигает его. Артериовенозный поток прекращается, обуславливая дальнейшее исчезновение узла.

Метод LHP — лазерная геморроидопластика, используется при геморрое 3–4 стадии, обеспечивая сокращение геморроидальных узлов (круговых, сегментарных). Хирург вводит лазерный инструмент непосредственно в геморроидальный узел и уменьшает его изнутри. В результате процедуры стенки узла спадаются и вскоре заменяются новой соединительной тканью.

Лазер — высокоэффективный, многофункциональный метод, позволяющий успешно излечивать острый и хронический геморрой (наружный и внутренний), с минимальной болью и кровотечением, послеоперационных швов, рубцов и шрамов.

Удаление геморроя лазером в CMS Hospital — микрохирургическое вмешательство, выполняющееся в условиях операционной. Геморроидэктомия проводится под местной или общей анестезией. Операция длится около 20–30 минут и обеспечивает отличные отдаленные клинические результаты.

Почему нужна операция

Как правило, оперативное вмешательство необходимо при геморрое 3 и 4 стадии если консервативная терапия неэффективна. Когда увеличенные плотные узлы выпадают даже при малейшей нагрузке, плохо вправляются или не вправляются вообще, доставляя человеку сильные страдания. Геморроидэктомия дает высокую результативность (98% и более), а рецидивы сведены к минимуму.

К сожалению, патологически увеличенные до 3–4 см геморроидальные узлы самостоятельно не исчезнут. Если в

начальной стадии болезнь еще можно остановить с помощью рационального питания и активного образа жизни, то по мере усугубления заболевания, такие методы терапевтического результата не дают. Медикаментозная терапия тоже имеет временный характер — при выраженных внутренних и наружных очагах болезни она способна устранить симптомы, снять отек, боль и воспаление, но не справиться с геморроем. Полностью ликвидировать болезнь можно лишь хирургическим путем — устранив саму причину. И помочь в этом могут наши хирурги, проведя геморроидэктомию быстро и с минимальной травматизацией пациента.

Как проводится геморроидэктомия

Пациент госпитализируется в день операции. Вмешательство осуществляется под общей или спинномозговой анестезией. После того, как наркоз подействует, проктолог осматривает анальный канал ректальным зеркалом и обрабатывает операционную область антисептиком. Затем, специальным инструментом выделяет и захватывает геморроидальную ткань, вытягивает ее и отсекает. Используется ультразвуковой скальпель Harmonic, при работе с которым ушивание раны не требуется.

Использование ультразвукового, электро- или радиоскальпеля позволяет удалить геморроидальный узел в щадящем режиме с минимальным травмирующим эффектом для окружающих тканей.

Продолжительность вмешательства в среднем составляет 40 минут. В зависимости от применяемой тактики, хирургическое вмешательство может осуществляться в условиях амбулаторной операционной или потребовать нахождения в стационаре (не более суток).

Особенности реабилитационного периода

В первые сутки назначается диета, включающая щадящую, мягкую пищу и продукты, разжижающие стул. Это необходимо чтобы минимизировать повреждение незаживших ран анального канала. При необходимости, назначается симптоматическое лечение — противоотечные, обезболивающие средства.

В первые несколько дней после вмешательства наблюдаются незначительные сукровичные ректальные выделения, это нормально, они проходят самостоятельно по мере заживления раны. Максимальный болевой синдром отмечается в первый день, однако он легко купируется назначенными врачом анальгетиками. Во время восстановительного периода рекомендуется:

- соблюдать диету;
- сократить физические нагрузки, однако гиподинамия не приветствуется;
- не принимать разжижающие кровь препараты;
- регулярно приходить на осмотры к проктологу.

Полное восстановление занимает 3–6 недель, зависит от индивидуальных особенностей организма и объема вмешательства.

ГЛАВА 9. ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЛАЗЕРОВ В РАЗЛИЧНЫХ ОБЛАСТЯХ МЕДИЦИНЫ

§ 9.1. Лазерные технологии в стоматологии

§ 9.2. Лазерные технологии в офтальмологии

§ 9.3. Лазерная сварка ткани

§ 9.1. Лазерные технологии в стоматологии

Светолечение — метод физиотерапии, заключающийся в использовании с лечебной и профилактической целью энергии света видимых, инфракрасных и ультрафиолетовых лучей от естественных (солнце) и искусственных источников. В настоящее время к светолечению можно отнести лазерное излучение, которого в природе не существует.

Биологическое действие оказывает только поглощенная энергия. Видимые лучи имеют гигиеническое значение, хотя источники света дают и видимые, и инфракрасные лучи, иногда и все три вида излучения.

Лазерное излучение является особым видом светового излучения электромагнитной природы, полученного с помощью оптических квантовых генераторов-лазеров. Лазеры дают монохроматическое излучение любой длины волны оптического диапазона: ультрафиолетового, видимого и инфракрасного. В медицине используют лазерное излучение различной интенсивности. Высокоэнергетическое излучение применяют в хирургии для рассечения и разрушения тканей. В физиотерапевтической практике используют низкоэнергетические лазеры, генерирующие излучение красного и инфракрасного спектра. Об интенсивности лазерного излучения судят по плотности потока мощности в ваттах на 1 см (Дж/см). В физиотерапии применяют излучение порядка 1–6 мВт/см.

Лазерный свет поглощается определенным структурным

элементом, входящим в состав биоткани. Поглощающее вещество носит название хромофор. Им могут являться различные пигменты (меланин), кровь, вода и др. Каждый тип лазера рассчитан на определенный хромофор, его энергия калибруется исходя из поглощающих свойств хромофора, а также с учетом области применения. В медицине лазеры применяют для облучения тканей с лечебным или профилактическим эффектом, для коагуляции и препарирования мягких тканей (операционные лазеры), а также для отбеливания и высокоскоростного препарирования твердых тканей зубов.

Различают несколько режимов работы лазера: импульсный, непрерывный и комбинированный. В соответствии с режимом работы выбирается их мощность (энергетика).

Механизм лечебного действия. Биологическое и лечебное действие низкоэнергетического лазерного излучения находится в стадии изучения. Действие низкоэнергетического лазерного излучения оптического диапазона обусловлено восприятием и поглощением его как специфическими (порфирины, каротины, цитохромоксидаза, каталаза), так и неспецифическими (фосфолипиды, пигменты, кровь, плазма, лимфа) фотоакцепторами, что обеспечивает трансформацию энергии в биофизические и биохимические процессы.

Биологическое действие лазерного излучения зависит от длины волны, мощности и времени облучения, непрерывного или импульсного способа подачи энергии. Большое значение имеют свойства и состояние облучаемых тканей: пигментация, васкуляризация, характер патологического процесса.

Под действием лазерного излучения в ядрах клеток различных тканей человека выявлено увеличение синтеза нуклеиновых кислот (ДНК, РНК), отмечено увеличение

активности ферментов, усиление обмена кислорода, активирование окислительно-восстановительных реакций. Следствием этого является усиление пролиферации клеток, выраженное стимулирующее и трофическое действие. Доказано стимулирующее влияние на репаративный остеогенез, противовоспалительное действие за счет расширения сосудов, увеличения скорости кровотока, раскрытия коллатералей, улучшения микроциркуляции.

Лазерное излучение влияет на показатели гуморального и клеточного иммунитета, увеличивает фагоцитарную активность лейкоцитов. Низкоэнергетическое лазерное излучение оказывает модулирующее воздействие на показатели свертывающей и антисвертывающей системы крови. Улучшение реологических свойств крови сопровождается гипохолестеринемией и активизацией антиоксидантной системы.

Механизм действия. Хирургия лазерной стоматологии основана на деструктивном воздействии на ткань: тепловой, гидродинамический, фотохимический эффекты от воздействия вызывают деструкцию тканей.

Терапия лазерной стоматологии основана на фотохимическом и фотофизическом воздействии, при котором поглощенный тканями свет возбуждает в них атомы и молекулы, приводя в действие терапевтические механизмы организма: повышается резистентность, стимулируются репаративные процессы, улучшается микроциркуляция, нормализуется иммунитет, стихают острые воспалительные явления.

Диагностика лазерной стоматологии в стоматологической клинике основана на лазерном воздействии, не вызывающем изменения свойств биологических тканей, эффекты рассеивания, отражения, проникновения.

В стоматологии наиболее часто применяют CO_2 -лазер для воздействия на мягкие ткани и эрбиевый лазер для препарирования твердых тканей зубов.

Механизм действия на мягкие ткани CO_2 -лазера основан на поглощении водой энергии лазерного света и нагреве тканей, что позволяет послойно удалять мягкие ткани и коагулировать их с минимальной (0,1 мм) зоной термoneкроза близлежащих тканей и их карбонизацией.

Механизм действия на твердые ткани эрбиевого лазера основан на «микровзрывах» воды, входящей в состав эмали и дентина, при ее нагревании лазерным лучом. Процесс поглощения и нагревания приводит к испарению воды, микроразрушению твердых тканей и выносу твердых фрагментов из зоны воздействия водяным паром. Для охлаждения тканей используется водно-воздушный спрей. Эффект воздействия ограничен тончайшим (0,003 мм) слоем выделения энергии лазера. Из-за минимального поглощения энергии лазера гидроксиапатитом — минеральным компонентом хромофора — нагрев окружающих тканей более чем на 2°C не происходит.

Область использования. Универсальные свойства лазерного воздействия используются в различных отраслях практической медицины: хирургии, терапии и диагностике. В зависимости от характера лазерного воздействия на ткани, в том числе и в полости рта (параметры лазерного излучения: длина волны, мощность, время и режим воздействия на биоткани), можно использовать различные эффекты.

Показания к применению лазера

В терапевтической стоматологии лазерная терапия показана при лечении:

- заболеваний твердых тканей зуба кариозного происхождения (пульпиты, периодонтиты);

- некариозных поражений эмали (повышенная стираемость, гиперэстезия и др.);

- заболеваний пародонта (гингивиты, пародонтит, пародонтоз);

- заболеваний слизистой оболочки полости рта (стоматиты различной этиологии, красный плоский лишай, хейлиты);

- стоматоневрологические заболевания (невралгия тройничного нерва, глоссалгия, невриты лицевого нерва).

В хирургической стоматологии квантовая терапия показана:

- при лечении воспалительных процессов челюстнолицевой области (периостит, альвеолит, остеомиелит, абсцессы и флегмоны, лимфаденит);

- в послеоперационном периоде (после любых операций в челюстно-лицевой области);

В ортопедической стоматологии:

- при лечении пролежневых (протезных) эрозий и язв;

- при травматических повреждениях слизистой оболочки

десны и полости рта.

В ортодонтии применяется с целью ускорения перемещения зубов.

К показаниям для применения эрбиевого и CO_2 -лазеров относятся:

- препарирование полостей всех классов, лечение кариеса

и некариозных поражений;

- обработка (протравливание) эмали для подготовки к бондингу;

- стерилизация корневого канала, воздействие на апикальный очаг инфекции;

- пульпотомия, остановка кровотечения;
- обработка пародонтальных карманов;
- экспозиция имплантов;
- гингивотомия и гингивопластика;
- френэктомия;
- лечение заболеваний слизистой;
- реконструктивные и гранулематозные поражения;
- оперативная стоматология.

Процедуры на мягких тканях могут проводиться с помощью полупроводникового лазера. Лазер отлично препарирует, обеззараживает, коагулирует и реконструирует мягкие ткани. В стоматологической клинике с помощью лазера осуществляется коррекция десны в процессе предпротезной подготовки, это облегчает работу с материалами. Бескровное поле дает непосредственный доступ к поверхностям, закрытым слизистой. Лазерная стоматология исправит неправильное положение уздечки языка на верхней и нижней челюстях. Ее иссечение с помощью любого лазера для работы на мягких тканях дает немедленный результат и приносит пациенту облегчение.

При лечении лазером в процессе заживления наблюдается минимальное образование фиброзной ткани, значительно меньше, чем раны от вмешательства скальпелем. В стоматологической клинике осуществляется обработка пародонтальных карманов при начальном пародонтите. Это дает быстрый и хороший результат, который достигается в результате облучения. Зубные камни после воздействия лазерной стоматологии легче удаляются.

Гингивальная гиперплазия, которая возникает в результате медикаментозного лечения, приобретает все большее значение. Стимуляция слизистых тканей приводит к ненормальному покрытию зуба. Реакция ткани постоянна,

обычно требуется удаление лишней ткани. Лазерная стоматология является самым эффективным методом удаления лишней ткани, таким образом, восстанавливая нормальный внешний вид слизистой.

Афтозные язвы болезненны и часто вызывают рецидивы. Энергия лазера (в виде несфокусированного луча), направленная на поверхность данных повреждений, удаляет обнаженные нервные окончания. Повреждения теряют чувствительность при низком напряжении через 4 минуты или раньше. Более трудные случаи выполняются при легком поверхностном контакте.

Лазерная косметическая реконструкция слизистой ткани полости рта является самым совершенным эстетическим методом лечения в стоматологической клинике. Лазеры дают возможность делать разрезы через ткань и поверхность, удаляя тем самым слои тканей. Отсутствие кровотечения позволяет проводить данные операции с большей точностью. Десневые ткани легко выпариваются, оставляя четкие края. Параметры ширины и длины разрезов и высоты гингивальных контуров легко достижимы.

Положительные функции лазера в пульпэктомии: выпаривание остатков и обеззараживание каналов. Специальные эндодонтические насадки (гибкий световод с диаметром оптического волокна 200) позволяет врачу работать непосредственно в открытом канале зуба до апекса. С помощью лазера происходят абляция остатков тканей, уничтожение бактерий и остекление стенок каналов. При наличии фистулы лазерный луч проходит через канал фистулы в сторону очага воспаления. В этой области лазер на некоторое время приостанавливает распространение инфекции и подавляет симптомы, рецидив очевиден, если корневой канал не будет обработан.

Лазерная стоматология применяется в малой хирургии полости рта для увеличения биологического пространства, пластики уздечек, иссечения папиллом, биопсии, остановки кровотечений, лечения афт, язв, лейкоплакий.

Лазеры используются в пародонтологии для обработки патологических карманов, гингивотомии, гингивэктомии, а также для деэпителизации тканей и подготовки перед снятием зубных отложений. В эндодонтии лазерная стоматология применяется для стерилизации корневых каналов. В стоматологической клинике с помощью лазера при имплантации проводится обнажение заглушек. Также возможно применение лазерной анальгезии и лазерной гипоэстезии. Особенностью методик, используемых в стоматологии, является достижение лучшего эффекта при сочетании наружного (чрескожного) воздействия лазерного луча с воздействием, максимально приближенным к пораженному участку, которое достигается путем применения стоматологических насадок. Например, при лечении периодонтита наилучший и быстрый результат достигается при воздействии излучения через оптическую насадку аппарата на область вблизи верхушки корня больного зуба, причем с двух сторон (щечной и язычной — на зубах нижней челюсти, щечной и небной — на зубах верхней челюсти).

Лазерные технологии с момента их появления стали применяться в различных областях стоматологии, а затем и в челюстно-лицевой хирургии. Это привело к формированию нескольких направлений в разработке, совершенствовании и внедрении лазерных технологий в клиническую практику стоматологии и челюстно-лицевой хирургии:

- диагностика и лечение заболеваний и повреждений зубов, включая эндодонтию и эстетическую реставрацию;

- диагностика и лечение заболеваний пародонта;
- повышение эффективности и снижение риска осложнений при хирургических вмешательствах с целью лечения и диагностики стоматологических заболеваний и челюстно-лицевой хирургии;

• фотодинамическая терапия воспалительных, дегенеративных, опухолевых и опухолеподобных заболеваний в челюстно-лицевой области;

- лазерная косметология в челюстно-лицевой области.

Лазеры подразделяются по типу состояния рабочей среды, в которой происходит генерация лазерного излучения. Применение того или иного лазера в медицине зависит от длины волны лазерного излучения, которая во многом определяет тип его взаимодействия с биологической тканью.

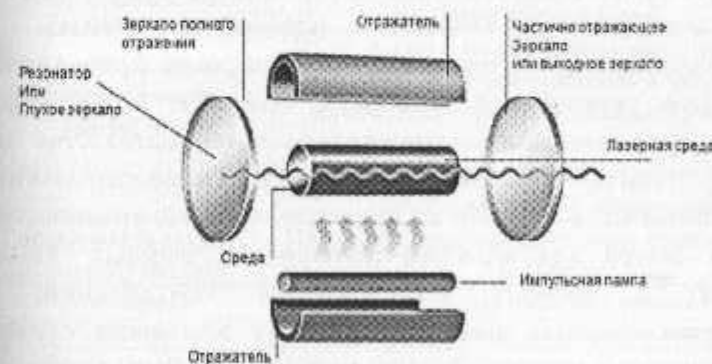


Рис. 9.1. Устройство лазера



Рис. 9.1.1. Области применения

Известно, что чем лучше лазерное излучение поглощается тканью, тем меньшая его интенсивность требуется для препарирования. С увеличением длины волны повышается уровень поглощения излучения молекулами воды, что обеспечивает большую эффективность работы на твердых тканях. Длина волны генерации CO_2 -лазера (10,6 мкм) совпадает с пиком поглощения воды и гидроксиапатита, что определяет его широкое применение в лазерной хирургии. В частности, областью применения CO_2 -лазеров являются хирургические вмешательства на мягких тканях, в том числе в пародонтологии, имплантологии, а также в эндодонтии. Однако применение данного лазера для абляции (испарения) твердых тканей приводит к эффекту карбонизации (обугливания) и оплавления твердых тканей, поскольку в данном случае. Областью применения CO_2 -лазера не может быть хирургия твердых тканей. Лазеры с длиной волны генерации в ближнем инфракрасном диапазоне (0,81–1,064 мкм) более перспективны для работы на мягких тканях. В отличие от скальпеля при проведении хирургических разрезов лазером не происходит разможнения тканей, что обеспечивает

снижение болезненности вмешательства, отсутствие рубцов и сокращение сроков заживления раны.

Вид лазера	Область применения
Эксимерные 193–248–308–353 нМ	Офтальмология при коррекции зрения, лазерная хирургия
Азотные 316–357 нМ	УФ. Биостимуляторы, лечение ожогов, гнойных воспалений, стопа диабетика, научные исследования
Гелий-кадмиевые 325–440 нМ	ГОЛУБОЙ: биостимулятор, лечение гастродеоденальных язв, язвы слизистой оболочки, косметологии
На парах меди 510–578 нМ	ЗЕЛЕНый: коагулятор, применяют в бронхоскопии, удаление тату
Аргонный 488–514 нМ	СИНИЙ \ ЗЕЛЕНый: коагулятор, в гинекологии, офтальмологии, косметологии, накачка других лазеров
Гелий-неоновый 543–594–611–632 нМ	КРАСНый: биостимулятор, кроме онкологии: везде, в \ венное облучение крови
Рубиновый 690 нМ	КРАСНый: коагулятор, офтальмология, эстетикатор в косметологии
Полупроводниковый 740–960 нМ	ИК: биостимуляторы, коагуляторы, скальпели. Имеют глубокое проникновение через кожу и через стандартный перевязочный материал, профилактика воспалительных проц. В импульсном режиме лечение широкого спектра заболеваний
Гранатовый (алюмо-итриевый) 1600 нМ	ИК: коагулятор, скальпель в эндоскопии и лапароскопии
Эрбиевый 2940 нМ	ИК: коагулятор, для parenхиматозных органов, в стоматологии для твердых тканей
Углекислотный 10600 нМ	ИК: скальпель. Не передается по световолокнам, а только через систему зеркал



Рис.9.1.2. Действие лазера на ткань

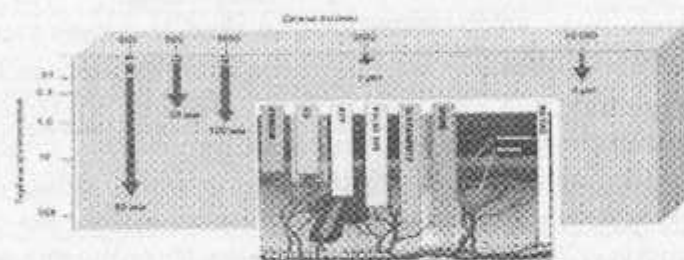


Рис. 9.1.3. Глубина проникновения лазерного излучения

Данные литературы, можно сделать вывод, что лазеры с длиной волны генерации в ближнем инфракрасном диапазоне (0,81–1,064 мкм) более перспективны для работы на мягких тканях. В отличие от скальпеля при проведении хирургических разрезов лазером не происходит разможивания тканей, что обеспечивает снижение болезненности вмешательства, отсутствие рубцов и сокращение сроков заживления раны.

В настоящее время диодные лазеры с длиной волны генерации от 0,532 до 1,5 мкм широко применяются в хирургии, пародонтологии и эндодонтии. Диодными лазерами можно проводить разрезы на мягких тканях, стерилизовать каналы, проводить фотодинамическую терапию. Однако они не работают на твердых тканях, таких

как эмаль, дентин и кость. С помощью диодных лазеров мы можем получить эффект коагуляции сосудов за счет поглощения лазерного излучения гемоглобином, это позволяет проводить бескровные операции с полной визуализацией операционного поля. Кроме того, глубина проникновения в биологические ткани лазерного излучения с длиной волны 0,810–1,064 мкм достигает более 1000 мкм, что делает

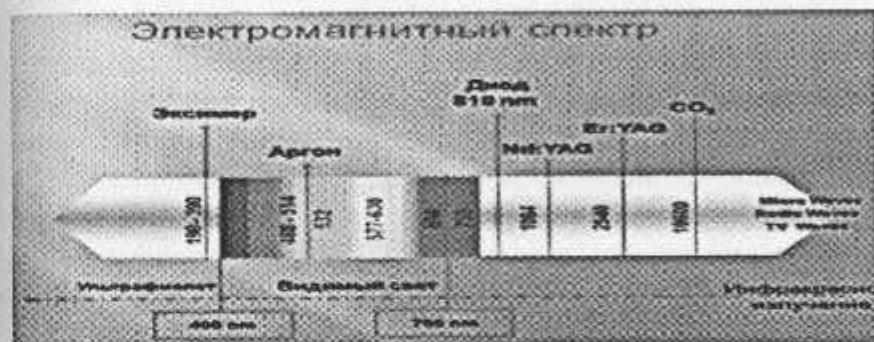


Рис.9.1.4. Различные виды лазеров

их эффективными при стерилизации зубодесневых карманов и корневых каналов.

Диодные лазеры компактны, надежны, характеризуются прекрасным соотношением «цена — качество». Однако по мере

накопления клинического опыта выявились и некоторые недостатки, которые затрудняют работу, снижают положительные свойства лазерной хирургии. Дело в том, что оперативные вмешательства на мягких тканях проводятся с помощью гибкого световода, кончик которого разогревается до такой степени, что происходит его обугливание, препятствующее прохождению лазерного излучения. Это приводит к еще большему его разогреву и, как следствие, —

коагуляции тканей особенно ярко этот эффект проявляется тогда, когда рука хирурга, двигаясь с переменной скоростью, замедляет свое движение в силу естественных причин, ткани получают большее количество энергии, в том числе и тепловой. Это приводит к перегреву и коагуляции тканей. Вследствие этого ассистенту хирурга периодически необходимо удалять нагар с кончика световода, а к необходимой абляции тканей добавляется и нежелательная коагуляция, которая приводит к ожогу и усилению некроза окружающих тканей. Уменьшение этих негативных моментов различными специалистами решается по-разному: одни стараются чаще чистить световод, другие охлаждают кончик световода орошением водой или физраствором.

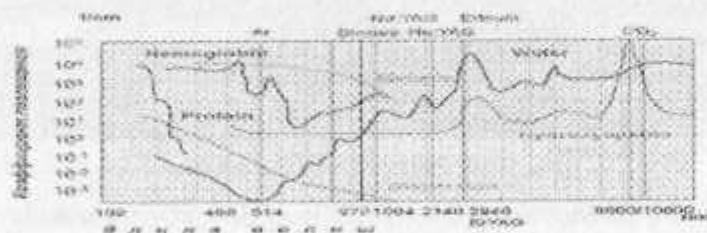


Рис. 9.1.5. Главные длины волн для оперативных вмешательств на твердых и мягких тканях челюстно-лицевой области

Особое внимание и огромный интерес у клиницистов-стоматологов и челюстно-лицевых хирургов всегда вызывали разработка и применение лазерного излучения для оперативных вмешательств на мягких и твердых тканях челюстно-лицевой области. Одной из самых сложных проблем является препарирование твердых тканей зубов, а также челюстных костей при костно-пластических, пародонтологических и имплантологических операциях. Для работы на твердых тканях используются эрбиевые лазеры. Длина волны генерации Er: Yag-лазера составляет 2,94 мкм и

соответствует пику поглощения молекул воды. У Er: Ysgg-лазера длина волны генерации составляет 2,78 мкм и поглощается водой хуже, чем 2,94 мкм (Er: Yag-лазер). Следовательно, его эффективность в препарировании мягких и твердых тканей (рис. 2) ниже. За счет сильного поглощения молекулами воды лазерного излучения с длиной волны 2,94 мкм эрбиевые лазеры одинаково эффективно могут аблировать эмаль, дентин зуба, костную ткань, наддесневые и поддесневые отложения и делать разрезы на слизистой оболочке полости рта. Увеличение эффективности препарирования зависит от мощности лазерного излучения и плотности энергии, создаваемых на операционном поле. При увеличении этих параметров накапливается остаточное тепло и ткани зуба обугливаются. Возможны и другие осложнения, связанные с термотравмой. Снижение риска термотравмы достигается путем добавления водного спрея, который используется всеми производителями. Наиболее эффективный способ снижения или устранения негативных явлений — уменьшение длительности импульса лазерного излучения. Чем короче лазерное воздействие, тем меньше накапливается остаточное тепло и тем выше порог безопасной мощности лазерного излучения. В настоящее время на мировом рынке стоматологических Er: Yg-лазеров лучшими параметрами с этой точки зрения обладает модель Fidelis III производства компании Fotona (Словения). При мощности 20 Вт и энергии 1500 мДж данный аппарат формирует импульсы длительностью 50 мкс. Такие параметры позволяют препарировать зубы со скоростью, не уступающей турбине, тем не менее, водный спрей все равно необходим.

Перспективы развития данного направления связаны с разработкой лазеров, обладающих сверхкороткими

импульсами, работающих в нано и фемтосекундных диапазонах, когда за миллионные доли секунды на ткани подаются мегаватты мощности. Происходит мгновенное преобразование тканей в плазму, а окружающие ткани не успевают на это отреагировать.

Несомненным преимуществом Er: Yag-лазеров при работе на мягких тканях является отсутствие коагуляции тканей и тромбоза сосудов, а значит, сохранение микроциркуляции в тканях. Это обеспечивает не только отсутствие рубцевания, но и существенно улучшает регенерацию ткани в послеоперационном периоде, что делает его применение незаменимым при пародонтологических, имплантологических и пластических операциях. Глубина проникновения излучения Er: Yag-лазера в ткани составляет всего 1–2 микрона. Это дает возможность, препарируя твердые ткани зуба, избирательно и послойно удалять только пораженные кариозным процессом ткани, так как они отличаются от здоровых более высоким содержанием воды. Необходимая мощность для абляции кариозной ткани значительно ниже, чем таковая для абляции здоровой. При использовании эрбиевых лазеров в лечении кариеса зубов и его осложнений, за счет имеющейся возможности безболезненного и селективного удаления пораженных тканей, удается сохранить здоровую ткань, отсутствует смазанный слой, сформированная полость стерильна. Обеспечиваются минимальная инвазивность операции, наилучшие условия адгезии пломбировочного материала, а стерильность операционного поля предотвращает возникновение рецидива кариеса. Данный принцип селективного удаления инфицированных тканей, который реализуется за счет высокой абсорбции лазерного излучения инфракрасного диапазона (2,94 мкм) молекулами

воды, успешно применяется для удаления, как зубных отложений, так и грануляционной ткани. Такого рода «щадящая» хирургия расширяет показания к оперативному лечению пародонтита, периимплантита, применению современных методов и средств имплантологии даже у пациентов с сердечно-сосудистой, эндокринной и другими видами соматической патологии. Это особенно актуально для лиц пожилого возраста, которые наиболее часто нуждаются в подобного рода лечении, так как риск местных и соматических послеоперационных осложнений в первую очередь связан с отсутствием возможности сохранения здоровой ткани и высокой травматичностью вмешательств, проводимых с помощью традиционных хирургических инструментов и стоматологического оборудования.

Общие принципы устройства этих твердотельных лазеров в основном одинаковы, но они отличаются по техническим параметрам, эргономике, цене. Ведутся интенсивные научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки, направленные на совершенствование лазерного оборудования и новых технологий его применения, а также на использование новых источников лазерного излучения — волоконных лазеров, которые характеризуются малыми габаритами, меньшим энергопотреблением, высочайшей надежностью и низкой по сравнению с твердотельными лазерами стоимостью. Полезные свойства волоконных лазеров позволило создать новый прибор «Light Touch»: В более совершенный виде, с лучшими параметрами и меньшей ценой стоматологический волоконный Er: Yg-лазер «Aquastar». В данной модели Er: Yg-лазера, созданной на основе применения волоконного источника излучения, удалось добиться достаточной

мощности для препарирования всех видов твердых и мягких тканей.

§ 9.2. Лазерные технологии в офтальмологии

Одной из первых отраслей медицины, в которой нашли применение лазеры была офтальмология.

Лазеры принципиально отличаются от других источников света свойствами светового потока: монохроматичностью, когерентностью, направленностью. Принцип индуцированного излучения основа работы лазеров.

Лазеры отличаются друг от друга характером активной среды. Используются твердые, жидкие, газообразные вещества. В твердотельных лазерах применяются аморфные и кристаллические диэлектрики, в жидких — растворы различных веществ. Бывают различные типы лазера, например, рубиновый, аргоновый, диодный.

Рассмотрим типы лазера и какие манипуляции ими можно выполнять.

Лазеркоагуляция. Используется для лечения периферических дистрофий сетчатки. Применяются лазеры коагулирующего действия. Используется свойство лазера оказывать дистанционное, строго дозированное, нагревающее действие на ткани сетчатки. В процессе лечения образуется микроожог, далее хориоретинальная спайка, которая как бы «приклеивает» сетчатку в участках ее истончения и вокруг разрывов. Такие разрывы не редкость у людей с близорукостью вследствие анатомического строения глазного яблока. Увеличение аксиальной длины глаза приводит к растяжению сетчатки по периферии. Периферические дистрофии часто не заметны для пациента, иногда могут проявлять себя «вспышками, молниями в глазу,

плавающими помутнениями». Если такую патологию не лечить — она может привести к грозным осложнениям таким как отслойка сетчатки, гемофтальм. Отдельного упоминания заслуживает лазеркоагуляция сетчатки как первый этап перед лазерной коррекцией зрения. Корректно проведенная процедура — это одно из условий сохранения хорошего зрения в долгосрочной перспективе. Процедура коагуляции имеет минимальный дискомфорт, обязательно применяется анестетик. Пациент ощущает касание линзы и вспышки зеленого цвета. На несколько дней назначаются противовоспалительные капли, ограничивается физическая нагрузка. Динамическое наблюдение проводится с интервалом один раз в год.

Фотодеструкция. Используется YAG лазер. Данный лазер обладает свойством дозированно рассекают ткани, вследствие высвобождения большого количества энергии в маленьком объеме. В месте нанесения воздействия образуется плазма, которая приводит к созданию ударной волны и микроразрыву ткани. Лазер широко применяется для таких процедур как «лазердисцизия вторичной пленчатой катаракты» (рассечение помутневшей капсулы хрусталика после имплантации интраокулярной линзы), «лазерная иридотомия» (формирование колесом в радужке для улучшения гидродинамических функций глаза). Данная процедура стабилизирует внутриглазное давление и входит в протокол профилактики приступа закрытоугольной глаукомы. Процедура проводится быстро, безболезненно, амбулаторно.

Фотоабляция. Способность эксимерного лазера дозированно удалять клетки широко используется для проведения рефракционных вмешательств на роговице. Благодаря расположению и анатомическому строению ее

ткани идеальный материал для формирования новой оптики глаза. Эксимерные лазеры последнего поколения позволяют значительно сократить время пребывания пациента в операционной и время восстановления зрительных функций. Результат сохраняется на долгие годы.

Лазерные операции в офтальмологии

Какие заболевания глаз лечатся лазером:

Заболевания сетчатки, связанные с сахарным диабетом, тромбозом вен сетчатки и другими сосудистыми глазными заболеваниями.

Периферическая дистрофия сетчатки при близорукости, угроза отслойки и разрыва сетчатки.

Возрастные изменения сетчатки (например, некоторые разновидности влажной макулодистрофии) глаукома.

ОСОБЕННОСТИ ЛАЗЕРНЫХ ОФТАЛЬМОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ:

Все лазерные офтальмологические операции проводятся амбулаторно, под местной анестезией. Во время процедуры пациент может видеть вспышки, которые, могут вызвать лёгкий дискомфорт. Наиболее ответственный аспект со стороны пациента – необходимость держать голову строго прижатой к специальной опоре. Продолжительность процедуры – 10-20 минут, в зависимости от объёма вмешательства. После операции пациент может вернуться домой. Необходимо учесть, что если во время процедуры проводилось расширение зрачка (закапыванием специальных глазных капель), то в течение 2 часов после операции ощущается снижение, затуманивание зрения (в этот период нельзя садиться за руль автомобиля).

ВИДЫ ЛАЗЕРНЫХ ОФТАЛЬМОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ:



Рис.9.2. Панретинальная лазеркоагуляция сетчатки (прак)

ПРАК выполняется при некоторых формах диабетической ретинопатии, посттромботической ретинопатии, а также других патологических процессах сетчатки, сопровождающихся так называемой ретиальной ишемией (т.е. недостаточным получением сетчаткой кислорода). В результате этих процессов происходит активный рост новообразованных сосудов на сетчатке, которые, в свою очередь, приводят к развитию кровоизлияний в стекловидное тело и отслойке сетчатки. На поверхность сетчатки, в строго обозначенных хирургом местах, наносятся ожоги (коагуляты) разного размера, в разном количестве (в зависимости от варианта и объема воздействия). Чаще всего ПРАК направлена на лечение и предупреждение осложнений со стороны глаза, а не на улучшение зрения. Процедура требует расширения зрачка (при помощи закапывания капель, после которого отмечается снижение зрения в течение 2 часов). Часто такая процедура сочетается с введением Луцентиса, Озурдекса, консервативным лечением и физиолечением.

Лазерное укрепление (коагуляция) сетчатки глаза является на сегодня одной из наиболее эффективных процедур, применяющихся для лечения дегенеративных

патологий сетчатки и профилактики развития тяжелых осложнений, в том числе полной потери зрения. Процедура также применяется в комплексной терапии сосудистых поражений сетчатки (у больных сахарным диабетом или артериальной гипертензией) и при некоторых видах опухолей.

Дегенеративные процессы в сетчатке наиболее часто выявляются у больных с миопией средней и высокой степени, что обусловлено изменением формы глазного яблока, перерастяжением сетчатой оболочки и нарушением её трофики. При помощи лазеркоагуляции удается избежать дальнейшего прогрессирования патологических изменений и развития отслоения сетчатки. Укрепление сетчатки может проводиться беременным женщинам, у которых на фоне миопии выявляются выраженные дегенеративные изменения сетчатки, и существует высокий риск отслоения сетчатки в процессе естественных родов (периферическая профилактическая лазерокоагуляция).

Лазерная коагуляция сетчатки является едва ли не единственным действенным методом лечения при диабетической ретинопатии, ангиоматозе, тромбозе центральной вены сетчатки, возрастной дистрофии макулы и некоторых других заболеваниях сетчатки.

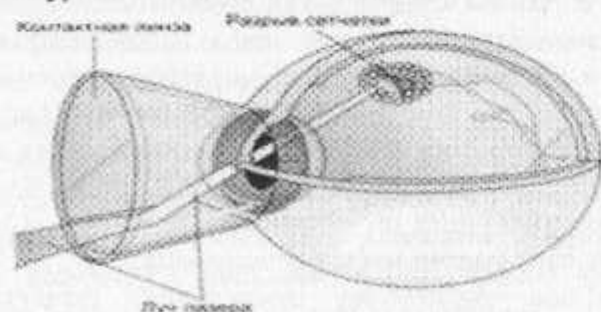


Рис. 9.2.1. Лазерное лечение глаукомы

Лазерная хирургия глаукомы направлена на устранение внутриглазных блоков, возникающих на пути оттока внутриглазной. Лазерное излучение в хирургии глаукомы стали широко использовать, начиная с 70-х годов прошлого века. С этой целью чаще всего применяют аргонные лазеры (длина волны 488 и 514 нм), неодимовые ИАГ-лазеры (длина волны 1060 нм) и полупроводниковые (диодные) лазеры (длина волны 810 нм).

Действие лазеров основано либо на нанесении на зону трабекулы локального ожога с последующей атрофией и рубцеванием ее ткани (лазеры-коагуляторы), либо на микровзрыве, который сопровождается разрывом ткани и ударной волной (лазеры-деструкторы).

Предложено много типов лазерных операций, из которых наибольшее распространение получили лазерная иридотомия (иридэктомия) и лазерная трабекулопластика.

У лазерных операций есть как свои преимущества, так и свои недостатки.

Преимущества:

- восстановление оттока внутриглазной жидкости (ВГЖ) по естественным путям;
- не требуется проведение общего обезболивания (достаточно закапывания местного анестетика);
- операция может быть проведена в амбулаторных условиях;
- минимальный период реабилитации;
- отсутствуют осложнения традиционной хирургии глаукомы;
- невысокая стоимость.

Недостатки:

-ограниченность эффекта операции, которая снижается по мере увеличения срока, прошедшего с постановки диагноза глаукома;

-возникновение реактивного синдрома, характеризующегося повышением внутриглазного давления (ВГД) в первые часы после лазерного вмешательства и развитием воспалительного процесса в дальнейшем;

-возможность повреждения клеток заднего эпителия роговицы, а также капсулы хрусталика и сосудов радужки;

-образование синехий (сращений) в области воздействия (угол передней камеры, зона иридотомии).

Лазерная иридэктомия (иридотомия) – заключается в формировании небольшого отверстия в периферическом отделе радужки.

Схема проведения лазерной иридэктомии

Операция показана при функциональном зрачковом блоке и приводит к выравниванию давления задней и передней камерах глаза, открытию угла передней камеры. Ее применяют при первичной и вторичной закрытоугольной глаукоме, а также при смешанной форме глаукомы. В ряде случаев проведение лазерной иридэктомии может потребоваться после выполнения хирургической операций по поводу глаукомы. Операцию лазерной иридэктомии проводят с профилактической целью на втором глазу при первичной закрытоугольной глаукоме.

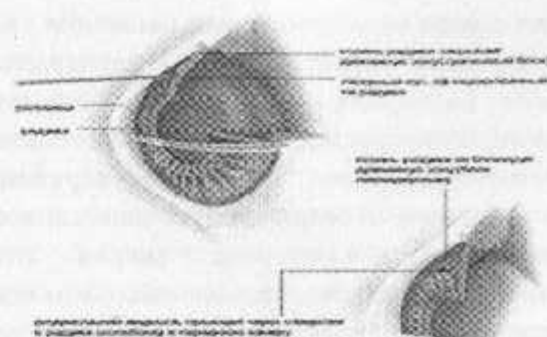


Рис.9.2.2. Схема проведения лазерной иридэктомии

Операцию проводят под местной анестезией (закапывание раствора лидокаина, ксилокаина, инокаина и др.). На глаз устанавливается специальная гониолинза, позволяющая сфокусировать лазерное излучение на выбранный участок радужки. Иридэктомию можно проводить в любом квадранте. Целесообразно выполнение нескольких иридэктомий в истонченных участках радужки в разных ее секторах.

Специальная гониолинза для проведения лазерной иридэктомии.

В отдельных случаях не удастся получить сквозное отверстие в радужке или оно вскоре закрывается из-за формирования синехий или отложения пигмента. В связи с этим может потребоваться повторное вмешательство.

§ 9.3. Лазерная сварка тканей

Лазерная сварка биотканей относится к бесшовным способам соединения тканей без их прокола и применения шовного и скобочного материала. Такие способы основаны на использовании, например, лейкопластырей, клеящих веществ, ультразвукового нагрева и т.п. и обеспечивают

герметичность раны при отсутствии сдавливания тканей и их краевого некроза. Важно также перекрытие пути проникновения бактериальной флоры в оперированную ткань. С помощью лейкопластыря обычно соединяют края небольших поверхностных или гранулирующих ран. Клеевыми композициями соединяют мягкие ткани и кости.

Ультразвуковая и лазерная сварка отличаются бесконтактным, наиболее безопасным способом соединения тканей, при попутной стерилизации раневой поверхности. Применение же контактных методов соединения тканей, в том числе с использованием клеящих составов, не исключает опасности внесения в рану токсичных составляющих и переноса вирусной инфекции. Важной особенностью лазерной сварки является локальность воздействия лазерного луча, при фокусировке которого легко достигаются миллиметровые и субмиллиметровые размеры засвечиваемой области ткани, а также адаптивная терморегуляция сварного шва и прилегающих тканей. Лазерная сварка трудно заменима при послеоперационном восстановлении сплошности мельчайших хирургических объектов, таких как нервные волокна, кровеносные капилляры, семяпроводящие протоки и т.п.

При осуществлении лазерной сварки для прочного и надежного соединения тканей применяются биоприпои, которые наносятся на область сваривания. В состав припоев, наряду с водной основой, входит белковая составляющая. Роль биоприпоев состоит в обеспечении локального поглощения лазерного излучения и нагрева прилегающего участка ткани. Помимо этого, биоприпой обеспечивает первичное склеивание краев раны. Нагрев его лазерным излучением вызывает термическую деформацию клеток облучаемой ткани (внутренних органов, кровеносных сосудов

и т.п.), с выходом клеточного матрикса, окончательно связующего края рассеченной биоткани в виде прочного лазерного шва.

В рамках нового направления в области нанотехнологии и лазерной медицины — лазерной наноинженерии. Разработаны новые лазерные методы наносварки рассеченных биологических тканей и органов (рис.9.3). Предложены и обоснованы новые способы получения объемных композитных материалов из водно-белковой дисперсии углеродных нанотрубок (УНТ). Выполнены теоретические и экспериментальные исследования процессов ограничения мощного лазерного излучения в нанодисперсных и наноконпозиционных средах.

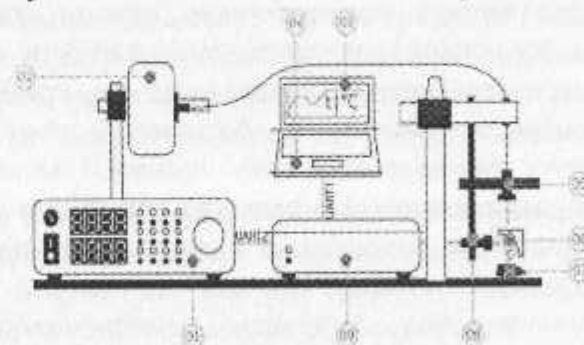


Рис.9.3. Установка лазерной сварки с адаптивной терморегуляцией биоткани

Разработанные новые способы изготовления нанобиоприпоя для лазерной сварки тканей предусматривают введение в водно-альбуминовую дисперсию концентрацией 20-30% небольшого количества (0,1-0,3 мас. %) однослойных или многослойных УНТ (рис. 9.3.1.).



Рис.9.3.1. Лазерные нанобиоприпрои

Взаимодействие лазерного излучения с ансамблем УНТ вызывает его структурирование в объеме шовного материала в виде скрепляющего нанотрубчатого каркаса. Это имеет следствием увеличение прочности и надежности сварного шва на месте соединения краев раны по сравнению с использованием обычных белковых биоприпоев. Применение нанокompозитного припоя способствует надежному соединению краев раны без поражения соседних тканей. При этом происходит регенерация клеточных структур пораженной ткани.

Образование под действием электрического поля лазерного излучения объемного нанотрубчатого каркаса было обнаружено при исследовании 3-D-нанокompозитов, изготавливаемых в процессе испарения жидкостной компоненты водно-альбуминовой дисперсии УНТ. При высокой твердости таких композиционных материалов (200-300 МПа) — на уровне и выше твердости металлов — они аномально легки, почти как вода. Причиной такой малой плотности ($1200-1300 \text{ кг/м}^3$) является высокая пористость наноматериалов.

Наличие каркаса в объеме нанокompозита создает условия для самоорганизации клеточного материала свариваемых биотканей, которая может осуществляться без человеческого вмешательства, поддерживаясь слабыми ван-дер-ваальсовыми связями при гидрофобном взаимодействии в тканях. Подобная самоорганизация биологических макромолекул в природе, например, реализуется в фосфолипидах — основных компонентах плазмы клеточных мембран. Указанный нанокompозиционный материал, по сути, представляет собой аналог естественной межклеточной матрицы.

Биологические эксперименты, проведенные с подопытными кроликами, показали возможность восстановления удаленной части хрящевой надкостницы животных при размещении в полости оперированного уха фрагментов вышеописанных нанокompозитов. Заживление проходило без отклонений и аллергических реакций. Введение исходной водно-белковой дисперсии УНТ под кожу кроликов также не вызывало аллергических реакций. Общий анализ крови до и после введения дисперсии не показал никаких отклонений. Все это позволяло сделать вывод о биосовместимости разработанных препаратов.

Результате лазерного облучения водно-альбуминовой дисперсии УНТ образуется объемный или пастообразный нанокompозит — безвредный для человека и хорошо приживающийся материал, что создает условия для самосборки и дальнейшего развития клеток биологических тканей. Его не нужно извлекать из организма: чужеродная часть просто постепенно осваивается (альбумин) и выводится (нанотрубки) из организма.

Созданы биосовместимые нанокompозиционные материалы, предназначенные для лазерной сварки

рассеченных органов и тканей, и биологического заполнения врожденных и послеоперационных полостей организма. Применение лазерных нанобиоприпоев способствует ускорению проведения хирургических операций, снижению болезненных ощущений пациентов и улучшению их качества жизни в послеоперационный период. Использование в качестве хирургических имплантатов объемных нанокмползитов, полученных лазерным методом, позволяет наиболее просто восстановить исходное состояние утраченной части органов человеческого организма.

ГЛАВА 10. ОБЗОР ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ПРИМЕНЕНИЯ ЛАЗЕРОВ В МЕДИЦИНЕ УЗБЕКИСТАНА

§ 10.1. Лазерная диагностика

§ 10.2. Лазерная терапия

§ 10.3. Фотодинамическая терапия

§10.4. Основные типы лазеров, применяющихся в медицине

§ 10.1. Лазерная диагностика

Лазерная технология охватывает практически все стороны применения лазеров и использует все их достоинства: высокую монохроматичность, значительную энергию и мощность, высокую направленность и когерентность излучения, возможность получения сверхкоротких длительностей импульсов и перестройки частоты во всем диапазоне от ультрафиолетового (УФ) до инфракрасного (ИК) света.

Охрана здоровья человека, защита окружающей среды, обеспечение человечества продовольствием — все эти глобальные проблемы нынешнего столетия, определяют значительный интерес к лазерной биотехнологии. Во всем мире интенсивно разрабатываются лазеры медицинского назначения, уникальные лазерные биомедицинские комплексы и технологические установки, лазерная терапевтическая и диагностическая аппаратура. Основой этих разработок являются достижения в области лазерной физики и техники, в изучении взаимодействия лазерного излучения с биосистемами, в создании волоконнооптических средств доставки излучения, измерительной и вычислительной техники. Экспертные оценки показывают, что одним из самых больших лазерных

рынков в мире является рынок лазерной медицинской аппаратуры.

Лазерная биотехнология может быть разделена на три главных направления: лазерная хирургия биотканей, клеток и биомолекул, лазерная терапия и фотобиохимия, лазерная микро и макродиагностика. В основе каждого из этих направлений лежат разнообразные эффекты взаимодействия лазерного излучения с биообъектом на микро и макроуровнях, определяемые свойствами лазерного излучения и структурой биообъекта. Наиболее полно свойства лазерного излучения реализуются в фотобиохимии и особенно в диагностике.

Лазерная диагностика в биологии и медицине — новое перспективное направление в фотобиологии, являющееся эффективным средством изучения биологических систем различной степени организации — от биомолекул до клеток, биотканей и отдельных органов животных и человека.

Методы лазерной диагностики обладают высокой чувствительностью, значительным пространственным разрешением и универсальностью. Они перспективны для ранней диагностики рака, катаракты, различных заболеваний крови. С их помощью изучают сверхбыстрые процессы фотосинтеза и фотобиохимических реакций, а также определяют малые скорости кровотока в сосудах, подвижность бактерий.

Несмотря на то, что лазерная медицинская диагностика — одно из самых эффективных направлений применения лазеров в биомедицине, она пока не получила должного развития. Это связано в основном со сложностью аппаратуры и высокими требованиями, предъявляемыми к выходным параметрам лазеров, и, конечно, со сложностью самих физических процессов, лежащих в основе методов лазерной диагностики. В ближайшие десятилетия прогнозируется предпочтитель-

ный рост лабораторно-диагностической лазерной техники по сравнению с лечебно-хирургической.

В число наиболее широко используемых и перспективных методов диагностики входят методы, основанные на анализе рассеяния света и флуоресценции, а также калориметрические, интерференционные, голографические.

К преимуществам лазерных методов диагностики относятся их быстрота, возможность получения результата при исследовании очень малых количеств биоматериала, что может послужить основой для создания методов массовой экспресс диагностики.

Использование лазерного излучения в диагностике

Лазерная диагностика представляет собой невозмущающее воздействие на биообъект, использующее когерентность лазерного излучения. Перечислим основные методы диагностики.

Интерферометрия. При отражении лазерного излучения от шероховатой поверхности образуются вторичные волны, которые интерферируют между собой. В результате образуется картина темных и светлых пятен (спеклов), расположение которых дает информацию о поверхности биообъекта (метод спеклоинтерферометрии).

Голография. С помощью лазерного излучения получают 3-мерное изображение объекта. В медицине этот метод позволяет получать объемные изображения внутренних полостей желудка, глаза и т. д. На основе гелий-неонового лазера с использованием волоконной оптики разработаны гастроскопы, которые позволяют голографически формировать объемное изображение внутренней полости желудка.

Рассеяние света. При прохождении остронаправленного лазерного пучка через прозрачный объект рассеивание света изменяет пространственное распределение интенсивности. Регистрация угловой зависимости интенсивности рассеянно-

го света (метод нефелометрии) позволяет определять размеры частиц среды (от 0,02 до 300 мкм) и степень их деформации.

При рассеянии может изменяться поляризация света, что также используется в диагностике (метод поляризационной нефелометрии).

Эффект Доплера. Этот метод основан на измерении доплеровского сдвига частоты ЛИ, который возникает при отражении даже от медленно движущихся частиц (метод анеометрии). Таким способом измеряется скорость кровотока в сосудах, подвижность бактерий и т. д.

Квазиупругое рассеяние. При таком рассеянии происходит незначительное изменение длины волны зондирующего ЛИ. Причина этого – изменение в процессе измерения рассеивающих свойств (конфигурации, конформации частиц). Временные изменения параметров рассеивающей поверхности проявляются в изменении спектра рассеяния по сравнению со спектром подающего излучения (спектр рассеяния либо уширяется, либо в нем появляются дополнительные максимумы). Изменения в спектре незначительны, поэтому они не различимы традиционными методами спектрометрии. Данный метод позволяет получать информацию о меняющихся характеристиках рассеивателей: коэффициент диффузии, скорость направленного транспорта, размеры. Так осуществляется диагностика макромолекул белков.

Лазерная масс-спектрометрия. Этот метод используют для исследования химического состава объекта. Мощные пучки лазерного излучения испаряют вещество с поверхности биообъекта. Микропробы испаренного вещества подвергают масс-спектральному анализу, по результатам которого судят о составе вещества.

Лазерный анализ крови. Лазерный луч, пропускаемый через узкий кварцевый капилляр, по которому прокачивается специально обработанная кровь, вызывает флуоресценцию клеток крови. Флуоресцентное свечение затем улавливается чувствительным датчиком. Это свечение специфично для каждого типа клеток, проходящих поодиночке через сечение лазерного луча. Подсчитывается общее число клеток в заданном объеме крови. Определяются точные количественные показатели по каждому типу клеток.

Метод фотопаразита. Его используют для исследования поверхностного состава объекта. Мощные пучки ЛИ позволяют брать микропробы с поверхности биообъектов путем испарения вещества и последующего масс-спектрального анализа этого пара.

ЛАЗЕРНЫЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ

Лазеры представляют собой источники света, работающие на базе процесса вынужденного испускания фотонов возбужденными атомами или молекулами под воздействием фотонов излучения, имеющих ту же частоту. Отличительной чертой этого процесса является то, что фотон, возникающий при вынужденном испускании, идентичен вызвавшему его появлению внешнему фотону по частоте, фазе, направлению и поляризации. Это определяет уникальные свойства квантовых генераторов: высокая когерентность излучения в пространстве и во времени, высокая монохроматичность, узкая направленность пучка излучения, огромная концентрация потока мощности и способность фокусироваться в очень малые объемы. Лазеры создаются на базе различных активных сред: газообразной, жидкой или твердой. Они могут давать излучение в весьма широком диапазоне длин волн – от 100 нм (ультрафиолетовый свет) до 1,2 мкм (инфракрасное излуче-

ние) - и могут работать как в непрерывном, так и в импульсном режимах.

Лазер состоит из трех принципиально важных узлов: излучателя, системы накачки и источника питания, работа которых обеспечивается с помощью специальных вспомогательных устройств. Упрощенная конструктивная схема гелий-неонового лазера показана на рисунке ниже.

Излучатель предназначен для преобразования энергии накачки (перевода гелий-неоновой смеси 3 в активное состояние) в лазерное излучение и содержит оптический резонатор, представляющий собой в общем случае систему тщательно изготовленных отражающих, преломляющих и фокусирующих элементов, во внутреннем пространстве которого возбуждается и поддерживается определенный тип электромагнитных колебаний оптического диапазона. Оптический резонатор должен иметь минимальные потери в рабочей части спектра, высокую точность изготовления узлов и их взаимной установки. В лазере, показанном на рисунке 10.1, оптический резонатор выполнен в виде двух параллельных зеркал 1 и 5, расположенных вне активной части среды 3, которая отделена от окружающей среды колбой 6 разрядной трубки и двумя окнами 2,4 с плоскопараллельными границами, образующими с осью излучения угол Брюстера. Внешние зеркала 1 и 5 обеспечивают многократное прохождение излучения через активную среду с нарастанием мощности потока лазерного излучения. Для выхода излучения одно из зеркал (5) делается с отверстием или полупрозрачным.

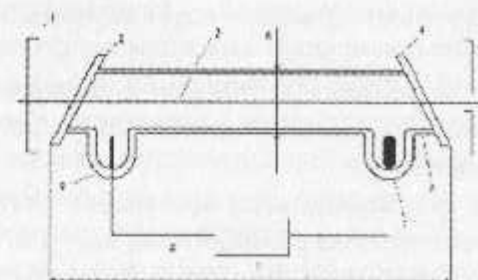


Рис.10.1. Система накачки

Система накачки предназначена для преобразования энергии источника электрического питания 8 в энергию ионизированной активной среды 3 лазера. Накачка осуществляется электрическим разрядом, для чего в нем устанавливаются два электрода - катод 7 и анод 9, между которыми подается напряжение от источника питания. В некоторых типах лазеров применяют фокусирующие магниты или обмотки и специальные отводные трубки для циркуляции активной среды.

ЛАЗЕРНАЯ ДИАГНОСТИКА В ОФТАЛЬМОЛОГИИ АНГИОГРАФИЯ

Исследование сосудистой системы и гемодинамики глазного дна является одним из важнейших средств ранней диагностики тяжелых патологических изменений органа зрения и, в конечном счете, профилактики преждевременной слепоты.

Наибольшее распространение для исследования гемодинамики в настоящее время получили флюоресцентная ангиография и ангиоскопия глазного дна. Эти методы обладают большой информационной емкостью.

Флюоресцентная ангиография (ФАГ) с фоторегистацией позволяет зафиксировать результаты исследования, но

нарушает целостность динамической картины кровообращения.

Работы над усовершенствованием и разработкой аппаратуры для исследования гемодинамики глазного дна, ставят следующие задачи:

1) выбор фотоприемника, имеющего достаточно высокую чувствительность как в видимом, так и в ближнем инфракрасном диапазоне и дающего возможность оперативно регистрировать и воспроизводить в реальном времени динамическую картину кровообращения глазного дна

2) выбор соответствующего источника освещения глазного дна, который излучает в диапазоне возбуждения применяемых контрастирующих красителей и позволяет достаточно простым способом изменять длину волны излучения.

Источник освещения в нужном диапазоне излучения имеет возможно более узкую ширину спектра, лучше всего излучение на одной линии максимального поглощения соответствующего красителя. Применение источника освещения с такой характеристикой исключает высокую общую засветку глаза.

Выбранный фотоприемник обладает как можно большей чувствительностью в рабочем диапазоне, что даёт возможность снизить уровень освещенности глазного дна.

Фотоприемник имеет разрешающую способность, достаточную для передачи мелких деталей глазного дна, и высокое отношение сигнал-шум для воспроизведения изображения глазного дна с необходимым контрастом.

Оптимальным с точки зрения всех требований, предъявляемых к фотоприемнику, является использование в качестве такового телевизионной передающей трубки. Телевизионный фотоприемник преобразует оптическое изображение на его мишени в последовательность электрических импульсов — телевизионный видеосигнал. Видеосигнал передается на

устройства отображения — телевизионные мониторы с экранами различного размера для непосредственной визуализации, и записывается на магнитную ленту с помощью видеомagnetofона. В видеосигнал чисто электронными методами может быть введена дополнительная информация. Наблюдение гемодинамической картины производилось в реальном масштабе времени, а регистрация сигнала на видеомagnetofоне позволяла многократно просматривать сделанную запись для детального диагностического анализа. При использовании соответствующего видеомagnetofона можно просматривать запись с пониженной скоростью воспроизведения и в обратном движении, а также возможна остановка изображения.

Необходимая разрешающая способность телевизионной трубки определяется величиной самых мелких деталей глазного дна, которые необходимо передать, и увеличением оптического канала, формирующего изображение. Принимая размер самых мелких деталей в 50 мкм, получают необходимую разрешающую способность телевизионного фотоприемника 8 мм. Изображение участка глазного дна, создаваемое фундус-камерой, представляет собой круг диаметром 20 мм. Если изображение занимает всю поверхность мишени, то требуется не более 200 строк разложения, чтобы обеспечить требуемое разрешение. Стандартная телевизионная развертка позволяет передавать детали мельче 50 мкм.

В структурной схеме телевизионной системы для ангиографических исследований в качестве источника освещения глазного дна используется перестраиваемый лазер, длина волны которого выбирается в полосе максимального поглощения используемого красителя. При помощи специального электронного блока оптимальным образом связывается модуляция лазерного луча и параметры развертки телевизионной системы. Вид зависимости выбирается исходя из необхо-

димости обеспечить минимальную паразитную засветку глазного дна, чтобы получить максимальное отношение сигнал-шум в тракте телесигнала. При этом на экране телевизионного дисплея получается наиболее контрастное изображение. Применение в качестве источника света лазера позволяет получить максимальную спектральную плотность излучения в нужном участке спектра и исключить засветку глазного дна на других длинах волн, при этом отпадает необходимость в применении узкополосного фильтра с низким коэффициентом пропускания. Для регистрации видеосигнал записывается на магнитную ленту. Параллельно видеосигнал поступает на спецвычислитель, при помощи которого непосредственно во время исследования или во время воспроизведения ранее сделанной записи определяются параметры: калибр сосудов в некотором выбранном сечении глазного дна; площадь, занимаемая сосудами на глазном дне; доля сосудов определенного заданного калибра; распределение сосудов по калибрам; скорость распространения красителя и др.

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ГОЛОГРАФИИ

Особый интерес для голографической диагностики представляет орган зрения. Глаз является органом, позволяющим получать изображение его внутренних сред обычным освещением извне, так как преломляющие среды глаза являются прозрачными для излучения, видимого и ближнего инфракрасного диапазона.

Системы объемного отображения в офтальмологии связаны с появлением лазеров, и потенциальных возможностей широкого использования голографического метода.

Для голографической записи изображения глазного дна использовалась стандартная фотографическая фундус-камера Цейса, в которой ксеноновый источник света был заменен лазерным источником излучения.

Недостатком являются низкое (100 мкм) разрешение и невысокий (2:1) контраст получаемых изображений.

Традиционные методы оптической голографии сталкиваются с принципиальными трудностями их практической реализации в офтальмологии, из-за низкого качества получаемых объемных изображений.

Существенного повышения качества объемных изображений можно ожидать лишь в случае использования однопроходной голографической регистрации, каковой является регистрация прозрачных микрообъектов методами голографии.

Метод флюоресцентной ангиографии, состоящий в возбуждении люминесценции красителя, введенного в кровь, и одновременной фото-регистрации изображения глазного дна.

В результате проведенных исследований был разработан способ получения однопроходной голограммы глазного дна. Данный способ позволяет существенно улучшить качество восстановленных изображений в результате устранения когерентного шума и паразитных бликов.

§ 10.2. Лазерная терапия

Что такое лазерная терапия?

Это терапевтический метод, используемый аллопатами и врачами натуристами. Лазер имеет множество применений, особенно в области хирургии, пластики и ревматологии.

Лазер, используемый в качестве бистури, отличается от того, который используется для лечения ревматических болей. Есть лазеры неоновые или инфракрасные, аргонные, используемые в основном в пластической хирургии и ангиологии, гелий-неоновые, используемые в Ревматологии, лазер Nd-Yag, используемый в эндоскопии пищеварительного трак-

та, бронхоскопии и хирургии и, СО₂-лазер, который является наиболее широко используемым, поскольку он является универсальным и лучше всех адаптируется в большинстве хирургических специальностей.

Вспышка света лампы выделяет множество фотонов, которые при прохождении через кристалл стимулируют электроны атомов хрома, таким образом мы получаем амплификацию света. Помимо получения другого качества этого пучка света, который является когерентным, что значит, что все лучи вибрируют в том же направлении, интенсивность концентрировалась в одном направлении. За их регулирование отвечают зеркала, которые направляют фотоны через свои концы. Одним из первых применений амплифицированного света была область обработки изображений. Потом пришли другие.

Энергия в виде тепла является основой для ее использования в хирургии.

Лазер доказал свою эффективность в области клиники боли (ревматология и в качестве обезболивающего средства: при хронической мигрени), в неврологии, при патологиях: опухоли, сосудистые, периферические или центральные, при инфекциях, при дегенеративных заболеваниях, в травматологии и реконструктивной хирургии.

Известно, что лазер воздействует на нейронные субстраты, достигая обезболивающего эффекта, потому что лазер направлен на пораженную часть, облегчая стимуляцию области, и дальнейшую её биохимическую нормализацию, из-за того, что было проведено облучение точек отдаленной трансмиссии болевой части, как при ушной иглотерапии или акупунктуре.

Лазер применяется в этих точках в форме иглы. Стимуляция осуществляется через нервные волокна, сначала через

кожную эктодерму к внутри-спинномозговому каналу проникая в спинной мозг. Но, при этом, важно проанализировать взаимодействие на спинномозговом уровне и передачу на уровне стволового мозга с его соединениями, ветвями, и распространение на дисцефальном уровне, а также наблюдать механизмы действия нервной системы.

Болевые рецепторы, из которых состоят свободные нервные окончания, это те, которые в основном будут задействованы и являются более чувствительными на болевое раздражение; хотя сегодня принято считать, что не существует индивидуального рецептора, и все они могут участвовать при получении стимуляции. Что касается механизма подавления боли, то можно достичь ингибирования через стимулы, исходящие от верхних слоев спинномозгового ствола или из-за стимуляции периферических нервов. Таким образом, экспериментально было доказано, как на уровне спинного мозга можно достичь ингибции путем стимуляции спинномозгового нейрона. Существует несколько различных механизмов ингибции. Стимуляция мозга вызывает анальгетический эффект.

Стимулирование, вызванное лазером, очевидно, вызывает некоторые биохимические эффекты, которые способствуют освобождению эндорфиновых веществ, и, следовательно, происходит ингибиторная реакция. Существуют экспериментальные работы, которые это доказывают. Применение лазера увеличивает выделение конкретной серии биогенных аминов, которые, в первую очередь, участвуют в синтезе незаменимых аминокислот, и составляют группу эндорфинов или нейромедиаторов, которые участвуют в передаче болевых стимулов.

В этом случае, эндорфины являются нейромедиаторами ответственными за прохождение болевых стимулов. Лазер

вырабатывает свои "минусы", которые отвечают за синтез или поглощение эндорфинов, таким образом болезненные ощущения исчезают.

Лазер используется в офтальмологии, в пластической и реконструктивной хирургии, а также, в травматологии и других видах хирургии. Он делает рану меньше, поскольку в момент разреза прижигает ткани. Поэтому, потеря крови уменьшается, раны являются более тонкими, восстановительный процесс более быстрый.

Под лазерной терапией понимают область медицины, использующую лазерное излучение для воздействия неопределенного характера на фотофизические и фотохимические процессы, происходящие в живом организме.

Клинический эффект лазерной терапии в дерматологии проявляется, в иммуностимулирующем и репаративном (заживляющем), противовоспалительном и противоотечном, противоаллергическом и обезболивающем действии.

Накоплен довольно обширный клинический опыт применения лазерной терапии в лечении кожных заболеваний. Максимальные результаты наблюдаются при комплексном применении лазерной терапии с медикаментозными средствами и другими физическими факторами (например, магнитное поле).

Толщина эпидермиса составляет от 0.02- 0.05 мм на лице и шее и до 0.5-2.4 мм на ладонях и подошвах.

Толщина дермы составляет от 0.5- 5 мм: на предплечье меньше 1 мм (у женщин), меньше 1.5 мм у мужчин, 2.5 мм у мужчин на спине.

Эффективность лазерной терапии зависит от глубины проникновения излучения. Глубина проникновения излуче-

ния – это величина, обратно пропорциональная коэффициенту поглощения биоткани.

На рисунке ниже представлена зависимость величины глубины проникновения излучения от длины волны излучения. Видно, что наибольшие глубины проникновения характерны для ближней ИК и красной области спектра.

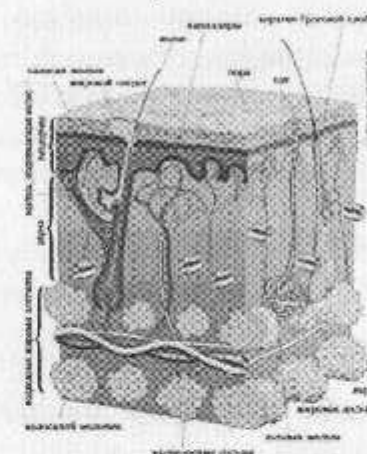


Рис.10.2. Строение кожи

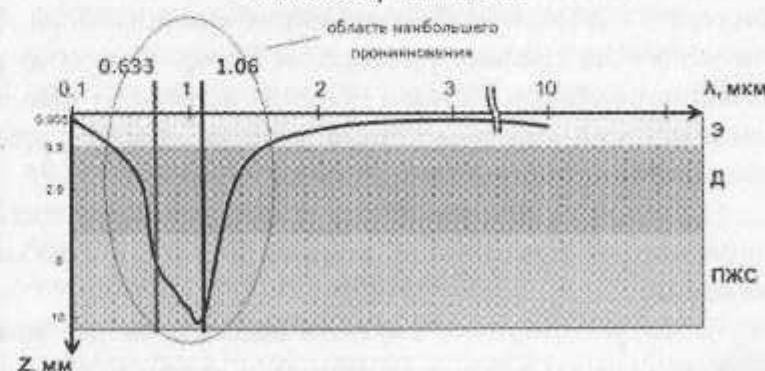


Рис.10.2.1. Зависимость глубины проникновения излучения по длинам волн спектрального диапазона (ось Z-глубина, Э - эпидермис, Д-дерма, ПЖС - подкожный жировой слой)

Лазерная терапия в дерматологии наиболее широко применяется для лечения следующих заболеваний:

- трофических язвенных поражений кожи;
- атопического дерматита и экземы;
- герпеса и псориагического артрита;
- васкулитов кожи;
- склеродермии;
- красного плоского лишая;
- гнойничковых заболеваний кожи (фурункулез, рожа, инфицированные раны);
- инфекций, передающихся половым путем и их осложнений;
- угревой болезни;
- грибка ногтей.

§ 10.3. Фотодинамическая терапия

Лазерная терапия - это метод лечения заболеваний. С использованием световой энергии.

Методику фотодинамической терапии (ФДТ) стали применять с приходом оборудования нового поколения. ФДТ сочетает в себе крайний радикализм (лазер полностью разрушает поражённые клетки и целиком истребляет заболевание) и максимальное милосердие (лечение действует крайне избирательно, не затрагивая здоровые зоны).

Применяют такую терапию в самых разных областях – от профилактики стоматита до лечения бесплодия и избавления от рака.

Чтобы всё сработало как надо, необходимы два компонента: чувствительный к свету фармакологический препарат-фотосенсибилизатор и лазер с определённой длиной волны.

Фотосенсибилизатор, содержащий взрывные на свету вещества, проскальзывает мимо здоровых клеток и накапли-

вается в чужеродных и патологических клетках. Это могут быть раковые или атипичные клетки, клетки, которые изменил вирус или бактерия, в которые проник грибок, а также точечные зоны воспаления. Доставка препарата в нужную область происходит внутривенно или нанесением на кожу вблизи сосудистых сплетений.

Лазерный свет определённого спектра и длины волны вызывает бурную биохимическую реакцию в клетке, проглотившей фотосенсибилизатор: энергия активирует кислород, который по умолчанию есть в каждой живой клетке, тот окисляет белковую структуру. Болезнь буквально сгорает и исчезает.

Перечислим особенности ФДТ:

- эффективность подтверждена клинически;
- безболезненна и бескровна;
- не требует наркоза;
- легко переносится пациентами любого возраста;
- не оставляет следов – шрамов, рубцов, ожогов;
- позволяет исключить медикаментозную нагрузку;
- не токсична, а наоборот – укрепляет иммунитет;
- видимый результат уже после первого применения, но...при необходимости можно повторять терапию

сколько

- ко уютно раз;
- не имеет побочных действий;
- не даёт осложнений;
- исключает рецидивы заболевания;
- не вызывает привыкания клеток;
- омолаживает и оздоравливает организм;
- заменяет хирургическую операцию;

Онкология

Лечение онкологических заболеваний – та сфера, где ФДТ показала свои возможности наиболее широко. Точнее, работает световая терапия одинаково хорошо с огромным количеством заболеваний, включая практически любые патологические, хронические, воспалительные процессы. Но рак – резонансная болезнь, опасная и трудноизлечимая очень распространённая в последнее десятилетие. Вот почему действенное лечение светом считается прорывом.

Световая энергия проникает внутрь и разрушает патологические раковые клетки. Действие можно сравнить с химиотерапией, только химия действует без разбора на все клетки, которые быстро делятся – а это, к примеру, костный мозг. К тому же химиотерапия при длительном использовании вызывает привыкание, а с ФДТ такого не происходит.

Рак кожи – тот вид рака, о котором теперь можно забыть. Опухоль сдвигается уже после первой процедуры нанесения геля-фотосенсибилизатора на поверхность и его освещения. Статистика отмечает полное излечение поражений размером до 2 сантиметров в 99% случаев. Лечение проходит бесследно – а это важно, когда злокачественное образование размещено на местах, которые трудно спрятать в повседневной жизни – на лице, веках, ушной раковине, кистях рук. Отсутствие шрамов и рубцов гарантировано.

Рак молочной железы – против которой ФДТ станет эффективным средством борьбы. Чтобы проникнуть внутрь опухоли, лазерный луч подводят через специальный световод. Если опухоль располагается близко к коже, можно воспользоваться возможностью луча проникать в толщу тканей на несколько сантиметров и обойтись без инъекционного прокола. Крупную опухоль метод не удалит, но сумеет её уменьшить так, чтобы при последующем удалении врачи смогли по максимуму сохранить здоровые ткани, а значит, не нарушить природную красоту женской груди.

Труднодоступный рак и предрак в местах, доступ к которым затруднён, – гортань, слизистая оболочка пищевода, кишечника, простаты, мочевого пузыря – тоже успешно лечится. Подобраться можно через естественные отверстия тела.

Отдельно скажем про рак шейки матки. После излечения заболевания методом ФДТ рожать можно столько раз, сколько захочется. И это подходит даже для ещё не рожавших женщин!

При раке лёгких (и некоторых других видов рака) освещение позволит провести паллиативное лечение: метастатические поражения, даже сопровождающиеся осложнениями, можно стабилизировать.

Терапию проводят в амбулаторных условиях без наркоза. Свет действует безболезненно, а введение тонкой иглы со световодом в ткани может доставлять неприятные ощущения. Длительность лечения – всего 15 минут. Может быть достаточно одного сеанса, и практически сразу можно вернуться домой.

Возможности фотодинамической терапии в лечении рака не являются преувеличением.

Гинекология

Современный образ жизни и экология ослабляют естественную защиту женского организма и позволяют бактериям и вирусам проникать в святая святых женщины. ФДТ работает прицельно – только с патогенной средой.

А ещё так можно вылечить неприятные болезни влагалища и вульвы. Лейкоплакия и крауроз становятся причиной тяжелейших интимных комплексов. Врачи предлагают не ложиться на операционный стол, а только получить всего одно освещение.

Маммология

Здоровье груди в приоритете каждой женщины. Проблемы с молочными железами вызывают. Болезненные набу-

хания, выделения из сосков, неудобства при выборе и ношении белья, ограничения в движении и невозможность радоваться жизни во всём её многообразии – как следствие, плохое настроение – вот чем чревата мастопатия.

Медицина располагает разнообразными методами лечения этого заболевания, среди которых превалирует гормональная терапия. В сложных случаях может быть рекомендовано хирургическое решение проблемы.

Всего одной процедуры ФДТ может быть достаточно, чтобы избавиться от фиброзно-кистозных образований. Лечение исключает осложнения и проводится безболезненно.

Дерматология

В отношении заболеваний кожи фотодинамическая терапия показывает неизменно высокие результаты.

Стереть, словно ластиком, – сказано точно об этой методике. Терапию светом используют в качестве безрубцового удаления кондилом, папиллом, бородавок, а также в лечении кожных заболеваний: угревой болезни, розацеа, вирусных невусов, псориазов и дерматозов, витилиго и других. Лазерный луч неактивен на здоровых участках, но подчистую вычищает поражённые.

Косметология

Индустрия красоты сорвала джек-пот с приходом ФДТ, известной омолаживающими свойствами. Проникающий в кожу свет активизирует природный механизм оздоровления, выбеливает пигментные пятна и усиливает синтез коллагена. Теперь можно добиться подтягивания обвисающих щек (птоза) и разгладить морщины, обзаведясь нежной, молодой и упругой кожей.

По своему эффекту процедура освечивания сопоставима одновременно с пилингами, дермабразией и хирургическими подтяжками.

Стоматология

Патогенная микрофлора, живущая в полости рта, сдаётся под натиском светолечения. Пародонтиты, гингивиты, альвеолиты, стоматиты, хейлиты (трещинки на губах) – забудьте о них. Нетоксичные фотосенсибилизаторы и специальные лазеры, не нагревающие здоровые ткани, помогают процессу лечения быть безопасным и безболезненным.

ФДТ дарит заметное отбеливание. Причём, в отличие от других известных методов, такой свет не разрушает, а, наоборот, укрепляет ткани зуба и улучшает питание десны.

Терапия имеет выраженный антибактериальный эффект, что имеет значение при лечении корневых каналов. А в имплантологии пациента так готовят к установке штифтов, исключая риски отторжения.

Офтальмология

В мире стремительно растёт количество пациентов, которым удалось вернуть зрение при слепоте из-за макулодистрофии сетчатки (поражение, приводящее к нарушению центрального зрения). ФДТ также хорошо показывает себя при осложнённой миопии, которая может сопровождаться кровоизлиянием в сетчатку, и исправляет последствия воспалений сосудистой оболочки глаза (хориоретинитов).

Оториноларингология

Воспаления уха, горла, носа – эти болезни считаются обычными, но мало кто задумывается, что ЛОР-органы находятся в непосредственной близости от головного мозга.

Быстрое и эффективное лечение без каких-либо осложнений обеспечит фотодинамическая терапия. Так можно справиться с инфекциями носоглотки без антибиотиков. Тонзиллит, ларингит, гайморит, в том числе хронический, не

устоят перед мощным световым лучом, уничтожающим воспаления.

Пульмонология

Одно из лидирующих мест в структуре заболеваемости занимают патологии органов дыхания. Особенно остро люди страдают бронхитами и плевритами, рецидивами пневмоний и бронхиальной астмой.

Терапия с использованием энергии лазера позволяет взрослым и юным пациентам пульмонологу избавиться от заболевания, даже находящегося в стадии отёков и нагноения. Метод ФДТ прекрасно сочетается с любыми видами медикаментозного и немедикаментозного лечения.

Терапия крови

Эта область медицины тоже охвачена могуществом лазерных технологий. В условиях клиники — это экспресс-очистка, оказывающая на кровь бактерицидное и противовоспалительное действие, чрезвычайно важное при острых и хронических процессах (включая осложнения после операций, герпес, вирусные гепатиты), а также сепсисе.

Методом ФДТ пользуются мировые службы крови, чтобы быстро обеззараживать большие объёмы донорской плазмы и так спасти жизнь без страха за здоровье.

Освещение крови способствует лучшей заживляемости ран, ожогов и язв, в том числе трофических, повышает иммунитет, увеличивает текучесть и насыщенность крови кислородом и антиоксидантами.

Есть мнение, что с помощью ФДТ можно будет лечить аллергию, воздействуя напрямую на состав крови пациента. Этот удивительный лазерный метод подарит человечеству ещё множество открытий, способных сделать жизнь более длинной, полноценной и здоровой.

§ 10.4. Основные типы лазеров, применяющихся в медицине

Большое разнообразие рассмотренных выше применений лазерных технологий в медицине, широких диапазон оптических и теплофизических свойств различных биологических тканей определяют разнообразие режимов, необходимых для обработки биотканей, и соответственно, большое разнообразие используемых лазеров. Отметим, что для биологических тканей свойственен резонансный характер поглощения излучения, что требует возможности обеспечения точного подбора требуемой длины волны лазерного излучения. Поэтому вопрос выбора лазера для конкретного медицинского приложения является весьма принципиальным.

В таблице 10.1 приведены основные типы лазеров, традиционно применяющихся в лазерной медицине.

Таблица 10.1.

Основные типы лазеров, традиционно используемых в лазерной медицине.

Тип лазера	Длина волны		Примечания
	Основная	Другие возможные	
Nd: YAG	1,06 мкм	0,53 мкм 0,355 мкм 0,266 мкм	
CO ₂	10,6 мкм	9,6 мкм	
He-Ne	633 нм	3,391 мкм – ИК 543 нм – зеленый 594 нм – желтый 604 нм – оранжевый 612 нм – оранжевый	P _{max} : 100 мВт
Ar	488 нм – голубой 515 нм – зеленый	Ряд дискретных линий в диапазоне 350 – 530 нм (УФ – зеленый)	P _{max} : 30 Вт
Kr	530 нм – зеленый 568 нм – желто-зеленый 676 нм – красный	Ряд дискретных линий в диапазоне 350 – 800 нм (УФ – ИК)	P _{max} : 10 Вт
На красн-	400 – 900 нм перестраиваемая в диапазоне шириной		

теле	500 – 100 нм для каждого лазера	
------	---------------------------------	--

В дальнейшем к перечисленным лазерам были добавлены также эксимерные лазеры (таблица 10.2), работающие в УФ диапазоне длин волн, а также импульсные твердотельные лазеры (таблица 10.3), работающие в среднем ИК диапазоне. В последние годы в лазерной медицине широко применяются полупроводниковые лазеры, технологически целесообразным оказалось применение волноводных лазеров.

Таблица 10.2.

Эксимерные лазеры.

Газовая смесь	Длина волны λ , нм	Типичная энергия в импульсе, мДж
F ₂	157	5
ArF	193	200
KrCl	223	35
KrF	248	250
XeCl	308	180
XeF	351	80

Таблица 10.3.

Импульсные твердотельные лазеры в среднем ИК диапазоне с добавками туллия, гольмия, эрбия.

Ион	Tu ³⁺	Ho ³⁺	Er ³⁺
λ , мкм	2,01	2,12	2,78; 2,94
Глубина проникновения в воде, мкм	200	4	5

Nd: YAG лазер — твердотельный лазер. В качестве активной среды используется алюмоиттриевый гранат («YAG», Y₃Al₅O₁₂), легированный ионами неодима (Nd).

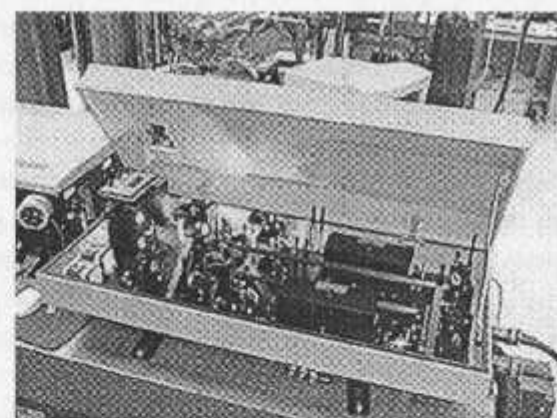


Рис.10.4. Nd: YAG лазер с открытой крышкой, показана генерация второй гармоники с длиной волны 532 нм, соответствующей зелёному цвету.

Генерация происходит на длине волны 1064 нм. Такие лазеры могут работать как в непрерывном, так и в импульсном режиме. Импульсные режимы отличаются характером генерации лазерного излучения. В свободной генерации длительность импульса обычно равна времени жизни верхнего лазерного уровня (около 250 мкс, зависит от концентрации неодима), импульс представляет собой набор пучков с длительностью до сотен наносекунд. В режиме модулированной добротности длительность может варьироваться от единиц наносекунд до микросекунд. Наибольшую импульсную мощность можно получить при работе в режиме модуляции добротности. Благодаря большой мощности, из импульса с длиной волны 1064 нм на нелинейном кристалле можно получить импульс с длиной волны вдвое, втрое, вчетверо (и т. д.) короче, например, 532 нм, 355 нм, 266 нм, 213 нм.

Принцип действия

В момент вспышки лампы накачки атомы активного элемента переходят в возбуждённое состояние и испускают

фотоны. Пока атом не перешёл из возбуждённого состояния, влетающий в него фотон выбивает другой фотон, при этом когерентность, длина волны, поляризация, фаза хода у этих фотонов будут одинаковыми.

Активный элемент усиливает свет, но это ещё не лазер: для того, чтобы получился лазер, необходима генерация. Чтобы запустить генерацию, необходимо обеспечить обратную связь. Это достигается применением зеркал. Глухое зеркало возвращает более 99 % излучения, выходное зеркало возвращает около 90 % излучения, при этом на выходе будет всего 10 % излучения, КПД получается низким; если возвращать меньше излучения, то генерации не будет.

Применение

Твердотельные Nd: YAG-лазеры используются для:

-Обработки материалов. При сварке материалов пучок импульсного лазера переносится на рабочую поверхность через оптическое волокно диаметром 0,5—2 мм с мощностью до 2 кВт.

-Применение в медицине. Используются непрерывные Nd: YAG лазеры с малой мощностью 50 Вт.

-Лазерной дальнометрии в военных целях — для лазерных видеоискателей и указателей цели.

-В научных целях.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте общую характеристику оптических излучений.
2. Опишите устройство и работу галогенной лампы.
3. Каковы особенности работы газоразрядных источников света?
4. Назовите основные функции пускорегулирующей аппаратуры газоразрядных источников света.

5. Перечислите преимущества газоразрядных источников света.

6. Объясните устройство и работу лазера.

7. Что такое когерентность излучения?

8. Спонтанные и вынужденные переходы в квантовых системах.

9. Что такое инверсная населенность? Способы ее получения.

10. Принцип действия, устройство лазеров и их отличие от обычных источников излучения.

11. Какие переходы могут происходить в двухуровневой квантовой системе под воздействием резонансного излучения?

12. От чего зависит количество поглощаемых системой в единицу времени квантов падающего излучения?

13. Какие переходы называются спонтанными?

14. Каковы их основные характеристики?

15. От чего зависит вероятность спонтанных переходов?

16. Какое излучение называется вынужденным?

17. Каковы его основные свойства?

18. От чего зависит вероятность вынужденных переходов?

19. При каких условиях возможно усиление электромагнитного излучения?

20. Что такое лазер? Каковы основные компоненты лазерных систем?

21. Каковы основные свойства лазерного излучения, чем они определяются?

22. Приведите классификацию лазеров по состоянию активной среды, режиму и способу накачки, длительности и мощности излучения.

23. Укажите области применения лазеров в медицине.

24. Какие типы лазеров применяются в дерматологии?

25. Для лечения каких заболеваний применяют высокоэнергетическое лазерное излучение?

26. Чем отличается лазерное излучение от обычного света?

27. Какие три фундаментальных явления, происходящих при взаимодействии электромагнитных волн с веществом используются при работе лазеров?

28. Объясните, что такое спонтанное излучение, вынужденное излучение, поглощение?

29. С помощью какого математического выражения описывается процесс вынужденного излучения?

30. Напишите формулу, описывающую физический процесс поглощения.

31. Расскажите, на чём основан принцип работы лазера?

32. Объясните, что означает термин «инверсия населённостей»?

33. Что такое твёрдотельный лазер?

34. Приведите схему устройства рубинового лазера.

35. В каком режиме обычно работает рубиновый лазер?

36. Опишите принцип работы газового лазера. Смеси каких лазеров обычно используются для работы этого типа лазеров?

37. Нарисуйте схему энергетических уровней гелий-неоновой смеси.

38. Представьте схему излучающей головки газового лазера с внешними зеркалами.

39. Опишите преимущества СО лазера.

40. Объясните, на чём основана работа жидкого лазера.

41. Поясните, какие существенные недостатки имеют жидкостные лазеры.

42. Объясните, на чём основан принцип работы жидкостного лазера?

43. Как уменьшить ширину запрещённой зоны в полупроводниковом лазере?

44. Как происходит модуляция излучения полупроводникового лазера?

45. Что такое фотодинамическая терапия? Объясните её механизм действия.

46. Поясните преимущества ФДТ, условие применения, недостатки ФДТ.

47. Объясните, что такое фотосенсибилизатор и каковы его характеристики.

48. Где применяется фотодинамическая терапия?

49. Какие источники света применяются для ФДТ?

50. Каковы основные требования, предъявляемые к ним?

51. Какие характеристики современных сенсибилизаторов вы знаете?

52. Расскажите о двух основных группах нелазерных источников света.

53. Двухфотонное возбуждение сенсибилизатора.

54. Фотосенсибилизаторы второго поколения.

55. Расскажите о механизме действия лазерного излучения на биологическую ткань.

56. Что такое фотоабляция? Поясните, что происходит при лазерном нагреве ткани в различных диапазонах температур.

57. Объясните, как происходит взаимодействие с кожей световых потоков от различных типов лазеров.

58. Какие тепловые эффекты на поверхности кожи вы знаете?

59. Дайте определение порога абляции для эрбиевого лазера и СО₂ - лазера.

60. Как зависит глубина зоны абляции, обугливания, коагуляции от продолжительности импульса и плотности энергии излучения?

ТЕСТОВЫЕ ВОПРОСЫ

1. При переходе атома с низшего энергетического уровня на высший...

- А) атомом поглощается фотон
- Б) атомом испускается фотон
- В) атомом испускается два когерентных фотона
- Г) происходит явление термоэлектронной эмиссии

2. На чем основана работа рубинового лазера с трехуровневой системой?

А) На том факте, что в различных возбужденных состояниях атом может находиться в течение неодинаковых промежутков времени

- Б) На явлении фотоэффекта
- В) На том, что в этом лазере используется не два зеркала (как в обычном), а три
- Г) Правильного ответа нет

3. Выберите, для чего могут применяться лазеры в науке и технике?

- А) Для резки металлов
- Б) Для истребления паразитов
- В) Для хранения информации
- Г) В медицине

4. На чем основана работа лазера

- А) На явлении фотоэффекта
- Б) На явлении индуцированного излучения
- В) На фотонах
- Г) На инфракрасном излучении

5. При переходе атома из высшего энергетического уровня на низший

- А) атомом поглощается фотон
- Б) атомом испускается фотон
- В) атомом испускается два когерентных фотона

Г) происходит явление термоэлектронной эмиссии

6. По типу активной среды лазеры подразделяются на

- А) аморфные
- Б) твердотельные
- В) жидкостные
- Г) газовые

7. Накачка в газовых лазерах может производиться вследствие

- А) химической реакции
- Б) воздействия мощного источника света
- В) электрического разряда
- Г) перехода электрона с одного типа полупроводника на

другой

8. Накачка в химических лазерах может производиться вследствие

- А) химической реакции
- Б) воздействия мощного источника света
- В) электрического разряда
- Г) перехода электрона с одного типа полупроводника на

другой

9. Накачка в оптических лазерах может производиться вследствие

- А) химической реакции
- Б) воздействия мощного источника света
- В) электрического разряда
- Г) перехода электрона с одного типа полупроводника на

другой

10. Какое свойство лазера используется при строительстве туннелей

- А) высокая монохромность
- Б) импульс короткой длительности
- В) узкий нерасходящийся луч

Г) возможность точной фокусировки

11. Чем характеризуется электромагнитное излучение?

А). Длиной волны

Б). Мощностью переносимой энергии

В). Частотой

Г). Дозой излучения

12. Лазерный свет имеет:

А). Определенный цвет

Б). Множество цветов

В). Не имеет цвета

Г). Селективный фототермолиз

13. Лазерный свет, в отличие от обычного:

А). Монохроматичный

Б). Полихроматичный

В). Коллимированный

Г). Когерентный

14. Какие условия необходимы для реализации селективного фототермолиза?

А). Высокий коэффициент поглощения излучения заданной длины волны

Б). Достаточная мощность излучения

В). Время воздействия больше времени термической релаксации мишени

Г). Время воздействия меньше времени термической релаксации мишени

15. Что не относится к хромофорам кожи, способным селективно поглощать оптическое излучение?

А). Вода

Б). Меланин

В). Коллаген

Г). Эластины

16. Какой основной эффект лежит в основе всех световых методов эпиляции?

А). Фракционная абляция

Б). Субнекротический нагрев

В). Селективный фототермолиз

Г) Оксигемоглобин

17. Какие виды эпиляции относятся к современным световым методам удаления волос?

А). Электроэпиляция

Б). Лазерная эпиляция

В). Фотоэпиляция

Г). Шугаринг

18. Какие структуры волоса являются биологической мишенью при проведении фото- и лазерной эпиляции?

А). Зона bulge

Б). Кератин

В). Мозговое вещество стержня волоса

Г). Дермальная папилла

19. Что не относится к особенностям IPL-технологий?

А). Относительно большой размер светового пятна

Б). Бесконтактный метод работы

В). Применение накожных телей

Г). Сменные светофильтры

20. На какую глубину способны проникать в ткани УФ-лучи?

А). 0,5–1,0 мм

Б). 1 см

В). 5 см

Г) Оксигемоглобин

21. Какому лазеру соответствует длина волны 755 нм?

А). Неодимовому

Б). Эрбиевому

В). Диодному

Г). Александритовому

22. Оптимальный диапазон длин волн для селективного фототермолиза меланина:

А). 400–600 нм

Б). 600–900 нм

В). 800–900 нм

Г). Инфекционные болезни

23. Какое явление лежит в основе методов лазерной диссекции и лазерной шлифовки?

А). Селективный фототермолиз

Б). Оптический пробой

В). Фотодинамическая терапия

Г). Неселективный фототермолиз

24. От чего зависит глубина рассечения мягких тканей лазерным скальпелем?

А). От типа лазера

Б). От плотности излучения

В). От скорости проведения луча по линии разреза

Г). Инфекционные болезни

25. Первая лазерная шлифовка была проведена с мощностью:

А). Эрбиевого лазера

Б). CO₂-лазера

В). Неодимового лазера

Г). Диодного лазера

26. Время термической релаксации фолликула с корнем волоса:

А). 10–30 мс

Б). 40–100 мс

В). 110–150 мс

Г) Шугаринг

27. Абсолютными противопоказаниями к проведению фото- и лазерного омоложения не являются:

А). Беременность и лактация

Б). Эпилепсия

В). Герпетическая инфекция в стадии обострения

Г). Солнечное лентиго

28. Для каких волос неэффективны методы фото- и лазерной эпиляции?

А). Для русых

Б). Для рыжих

В). Для седых

Г). Для пушковых

29. Для коагуляции доброкачественных образований используют:

А). CO₂-лазер

Б). Эрбиевый лазер

В). Диодный лазер

Г). Александритовый лазер

30. Какой из препаратов следует рекомендовать при кандидомикозе?

А). мономицин;

Б). сульфадимезин;

В). стрептомицин;

Г). нисагин;

31. Конструктивные элементы лазеров

А). Мазер

Б). Квантовый генератор,

В). Оптический квантовый генератор, ОКГ,

Г). Молекулярный генератор

32. На каком веществе работал первый мазер?

А). Неоне,

Б). Гелии,

В). Цезии,

Г). Метане.

33. Какой основной элемент обязательно присутствует в конструкции лазера любого типа?

А). Активная среда,

Б). Резонатор,

В). Система накачки.

Г). Зеркала резонатора.

34. Нестационарная генерация лазера при импульсной накачке или после включения лазера с нерерывной накачкой возникает при выполнении условия:

А). Равенства коэффициента усиления света, прошедшего через активную среду, сумме полезных и вредных потерь резонатора.

Б). Превышения коэффициента усиления активной среды сумме полезных и вредных потерь резонатора.

В). Равенства коэффициента усиления активной среды полезным потерям на зеркалах резонатора.

Г). Равенства коэффициента усиления света, дважды прошедшего через активную среду, сумме полезных и вредных потерь резонатора.

35. Пороговое условие стационарной генерации лазера пределяется:

А). Равенством коэффициента усиления света, прошедшего через активную среду, сумме полезных и вредных потерь резонатора.

Б). Равенством коэффициента усиления активной среды сумме полезных и вредных потерь резонатора.

В). Равенством коэффициента усиления активной среды полезным потерям на зеркалах резонатора.

Г). Равенством коэффициента усиления света, дважды прошедшего через активную среду, сумме полезных и вредных потерь резонатора.

ГЛОССАРИЙ

ЛАЗЕР (акроним) – Усиление света посредством индуцированного излучения (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation).

Поглощение – Поглощение тканями лазерной энергии, приводящее к определенной реакции.

Пики поглощения окси гемоглобина – Места на кривые поглощения с особенно интенсивным поглощением света.

Направленный луч – Обычно маломощный лазер, который обеспечивает воздействие на определенную мишень. Используется с ИК-спектром или невидимыми длинами волн.

Анатомическое строение волоса – Фолликул, луковица, расширение сосуда, сосуд, матрикс и стержень волоса.

Ангиома (вишневая, паукообразная) – Иначе - капиллярная гемангиома. Плоская или приподнятая опухоль размером 2-5 мм, которая состоит из массы крошечных капиллярных сосудов ярко-красного цвета.

ANS I– Американский национальный институт стандартов (American National Standards Institute) - добровольная организация, признанная государством; занимается учреждением стандартов по использованию оборудования.

Шарнирный манипулятор – Система подведения лазерного пучка, которая использует шарнирный рукав и зеркала.

Атрофия – Губительная прогрессирующая дегенерация или потеря функции любой частью тела.

Невус Бекера – Похож на пятна «кофе с молоком», но встречается реже, часто имеет большие размеры (5-40 см). На

пятнах обычно присутствуют грубые волосы, типичное место расположения пятен – область плеч.

«Кофе с молоком» – Пятна от светлого загара до темно-коричневого цвета, обычно имеют врожденный характер, затрагивают глубинную часть эпидермиса и имеют 1-20 см в размере.

Образование полости – Образование полости или эрозии.

Хлоазма/меланодермия – Меланодермия – окрашивание лица от светло- до средне-коричневого, обычно характерное для беременности; называют «маской беременных».

Хромофор – Мишень, которая поглощает свет.

Классы лазеров – Широкая классификация лазеров, в основе которой лежит их способность вызывать повреждения; существуют классы I-IV; класс IV – наиболее опасный и мощный.

Когерентность – Все длины волн лазерного пучка выровнены друг по отношению к другу по фазе, т.е. во времени и в пространстве.

Коллимация – Все волны в лазерном пучке параллельны друг другу и не сходятся/расходятся в сильной степени.

Врожденный невус – Невус, который имелся при рождении.

Врожденные васкулярные дефекты – Общий термин для васкулярных лезий, присутствующих при рождении, таких как капиллярная гемангиома, гемангиома и венозные дефекты.

Накладки на роговицу – Защитные накладки, которые устанавливают непосредственно на поверхность глаза.

DCD – Динамические охлаждающие устройства (Dynamic Cooling Device) – устройства для распыления крио-

генных или охлаждающих агентов на кожу непосредственно перед излучением лазерного импульса.

Системы подачи – Метод подведения лазерной энергии к пациенту, т.е. шарнирный манипулятор, оптическое волокно, наконечник.

Дерматит – Воспаление кожи.

Дермис – Более глубокий толстый слой кожи, содержащий кровеносные сосуды, нервы и волосы.

Датчик расстояния – Прокладка между линзой наконечника и местом обработки, которая при размещении на коже обеспечивает должное фокусное расстояние.

Эктазия – Растяжение полого органа или трубчатой структуры.

Отек – Опухание из-за скопления жидкости в интерстициальном пространстве.

EMLA – Топический анестезирующий крем, содержащий 2,5% лидокаина и 2,5% прилокаина.

Плотность энергии – Количество энергии, которое подводится к пятну заданного размера, см. «Джоули».

Эпидермис – Наружный тонкий слой кожи.

Эпиляция – Удаление волос и их корней.

Эритема – Покраснение кожи.

Оптическое волокно – Кварцевое или стекловолокно, используемое в системах подачи лазерной энергии.

Типы кожи по Фицпатрику – Система классификации кожи по степени загара и содержанию меланина (типы 1-6). Тип 1 – светлая, легко обгорающая кожа, тип 6 – очень темная, никогда не обгорающая кожа.

Возбуждающая импульсная лампа – Использование импульсных ламп с высокой интенсивностью света для возбуждения активного материала для лазеров с целью генерирования лазерной энергии.

Плотность энергии – Количество энергии, подведенное к тканям, в ваттах х ед. времени, деленное на размеры пятна в см².

Фокусное расстояние – Расстояние между линзой и фокусной точкой или расстояние от линзы, которая обеспечивает пучок должного размера.

Фокусирующая линза – Линза, используемая для фокусировки лазерного луча до пятна заданного размера.

Прерывистый импульс – Метод использования механического затвора для создания «импульсного» лазерного пучка.

Цикл роста волоса (анаген, катаген, телоген) – Фазы роста волос.

Гемангиома – Доброкачественная опухоль, состоящая из кровеносных сосудов.

Гирсутизм – Чрезмерный рост волос на щеках, подбородке, губах или груди, особенно у женщин.

Гиперпигментация – Чрезмерное содержание пигмента в определенных тканях или областях.

Гипертрофия – Увеличение органа или области из-за увеличения размеров клеток, входящих в их состав.

Гипопигментация – Уменьшение содержания пигментов в определенных тканях или областях.

Некогерентный – Белый свет, включающий многие длины волн, т.е. не имеющий свойств лазера.

Воспалительный отклик – Реакция тканей на раздражение, инфекцию или травму, выраженная в локальном повышении температуры, опухании, покраснении и болезненности.

Интраоперационный – Т.е. происходящий в ходе хирургической процедуры.

IPL – Интенсивный импульсный свет.

IPL – Метод IPL 3-го поколения.

Джоули (/см²) – Мера плотности энергии в пределах пятна заданных размеров.

Келоид – Узелковая масса рубцовых тканей, которая выросла за исходные границы шрама.

Параметры лазера – Характеристики лазерного пучка или настройки, используемые на лазерном устройстве. Они могут включать длину волны, размер пятна, энергию (джоули), повторение или частоту возбуждения.

Лентигиноз – Небольшие эпидермальные лезии от светло- до темно-коричневых или пятна, обычно появляющиеся под воздействием солнца и увеличивающиеся в численности с возрастом.

Среда (жидкость, твердое вещество, газ) – Вещество, вырабатывающее лазерную энергию.

Меланин – Пигмент, вырабатываемый меланоцитами кожи.

Меланоциты – Клетки кожи, вырабатывающие пигмент.

Меланоцитный невус – Пятна от средне- до темно-коричневого цвета на уровне дермиса, появляющиеся на туловище и конечностях. Размеры могут колебаться от 0,5 до нескольких сантиметров в диаметре; существует повышенный риск перерождения в злокачественные образования.

Меланосомы – Меланинсодержащие органеллы в пределах меланоцитов.

Микросекунда – 10⁻⁶ секунды или 0,000001 секунды.

Миллисекунда – 10⁻⁴ или 1/1000 секунды.

Монохроматический – Одноцветный.

Моделирование по методу Монте-Карло – Выполняемое на компьютере оптическое моделирование движения

фотонов через ткани, в основе которого лежат оптические свойства.

Нанометр – 10-9 метр или 0,000000001 метра.

Наносекунда – 10-9 секунда или 0,000000001 секунды.

Невус Оты – Сине-серые лезии на лице, наиболее часто распространены у жителей Азии. Располагаются на уровне дермиса, обычно встречается вокруг глаз, на висках и щеках.

Неионизирующее/ионизирующее излучение – К неионизирующим формам излучения относят свет, тепло и радиоволны. К ионизирующим формам излучения относят рентгеновское излучение и гамма-лучи. Ионизирующее излучение приводит к клеточным мутациям или смерти.

Оптическая плотность – Характеризует, насколько плотным или стойким является вещество по отношению к световой энергии.

OSHA – Управление охраны труда, США (Occupational Safety and Health Administration).

Перифолликулярный отек – Опухание из-за скопления жидкости в интерстециальном пространстве (области вокруг углублений в коже, из которых растут волосы). Положительный признак правильного подведения энергии для эпиляции.

Фотоакустический (механический) – Свет, который является причиной акустического удара в тканях.

Фотоабляция – Действие по удалению тканей путем их испарения под воздействием света.

Фотохимический – Действие света, приводящее к химической реакции.

Фотоны/молекулы света – Световая энергия, испускаемая возбужденными атомами.

Светочувствительность – Какой-либо агент (напр., лекарственное вещество), который повышает чувствительность к свету.

Фототермический (нагрев) – Действие по превращению световой энергии в тепло.

Пойкилодермия Сиватта – Хроническое изменение пигментации по бокам шеи и в верхней части груди, связанное с хроническим воздействием солнца. Может быть связана с пигментацией и телеангиэктазией.

Капиллярная гемангиома (PWS) – Крупная красная капиллярная гемангиома, напоминающая карту, непальпируемая, занимающая большие участки на лице и в верхней части туловища. Также называют невусом или «невусом огненным».

Поствоспалительная пигментация – Участки потемнения или повышенного содержания пигмента после воспаления.

Послеоперационный – Относящийся к периоду после хирургической процедуры.

Дооперационный – Относящийся к периоду до хирургической процедуры.

Протоны, нейтроны, электроны – Основные частицы, входящие в состав атомов.

Длительность импульса – Длительность лазерного импульса, обычно выражаемая в микро-, нано- или миллисекундах.

Частота импульсов – Частота повторения лазерных импульсов, обычно выражается в импульсах/секунду или в Герцах. Эта величина определяет в конечном счете скорость процедуры.

Лазер на красителях – Лазер, который вырабатывает импульсы света из органического красителя, присутствующего в растворе.

Импульсные и непрерывные лазеры – Есть лазеры, которые генерируют короткие импульсы или вспышки света в противоположность лазерам, которые излучают непрерывный световой пучок.

Пурпура – Багряная или сине-черная пигментация кожи после ее обработки лазером, иными словами – кровоподтек.

Электрооптический затвор – Использование электрооптического модулятора для генерирования очень мощного выхода за очень короткий период времени (длительность импульса), обычно в диапазоне наносекунд.

Отражение – «Отталкивание» света от поверхности.

Резонатор – Также известный как лазерная головка, резонатор лазера или разрядная трубка лазера. Это место, в котором находится среда, генерирующая лазерное излучение.

Морщины – Морщины, обычно присутствующие на лице и являющиеся результатом кумулятивного фотоповреждения.

Розовые угри – Расширенные капилляры на щеках, носу, лбу и подбородке.

Шрамы – Фиброзная ткань, образовавшаяся при заживлении ран.

Рассеивание – Процесс, при котором пучок света дробится и разделяется в разных направлениях после попадания на объект или ткани.

Склерозирующая терапия – Инъекция химиката в вену для ее разрушения.

Себоррейный кератоз – Доброкачественная пигментированная лезия – приподнятая, светло-коричневая, коричневая или черная, обычно располагающаяся на лице, спине и груди у пожилых людей; похожа на бородавку с маслянистой поверхностью.

Избирательный фототермолиз – Теория, лежащая в основе создания лазеров. Согласно этой теории, выбираются такие длины волн, которые сильно поглощаются мишенью в противоположность окружающим ее структурам, а время воздействия выбирают менее времени термической релаксации мишени.

Избирательность Поглощение определенной мишенью без воздействия на окружающие структуры.

Звездчатая гемангиома – Расширенная артериола на коже с отходящими от нее капиллярами (сосудистая звездочка).

Размер пятна – Обычно обозначает размер пятна обрабатываемого пучка; может выражаться как диаметр или в случае сканирующего наконечника иметь иную геометрическую конфигурацию.

Индукцированное излучение – Процесс, при котором молекула испускает два фотона света после поглощения одного фотона.

Мишень – Ткани или вещество, на которое воздействует лазерный пучок.

Телеангиоэктазия – Расширение группы капилляров, также называемое сосудистой звездочкой.

Термическое повреждение – Повреждение тканей под воздействием источника тепла или в результате фототермической реакции.

Топическая анестезия – Анестезия, нанесенная на поверхность кожи, обычно в виде крема, жидкости или геля.

Проходящий – кратковременный – Временный.

Пропускание – Прохождение энергии через среду.

TRT – Время термической релаксации (Thermal Relaxation Time) – время, требующееся мишени для высвобождения половины тепла, полученного при нагревании.

Изъязвление – Эрозированные или вдавленные участки на коже.

Бородавки – Небольшие ороговевшие выросты на коже, обычно вирусного происхождения.

Длина волны – Расстояние между двумя соседними пиками в световой волне. Обычно измеряется в микро- или нанометрах. Также определяет цвет света.

Болдырь – Округлое или гребневидное временное опухание кожи.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Москвин С.В., Буйлин В.А. Основы лазерной терапии. – М.-Тверь, ООО «Издательство «Триада», 2006. – 256 с.
2. Гейниц А.В., Москвин С.В., Азизов Г.А. Внутривенное лазерное облучение крови. – Тверь, ООО «Издательство «Триада», 2006. – 250 с.
3. Н. Д. Девятков, Лазеры в клинической медицине – М.: Медицина, 1981 г., 399 с.
4. Д. С. Плетнева. Лазеры в клинической медицине. – М., Медицина.
5. Гримблатов В. М. Современная аппаратура и проблемы низкоинтенсивной лазерной терапии // Применение лазеров в биологии и медицине (Сборник). – Киев, 1996, С. 123 – 127.
6. Улащик В.С., Луктомский И.В. Общая физиотерапия. – Минск Книжный дом, 2004. – 512с., ил.
7. ГОСТ 42-21-16-86 ССБТ. Отделения, кабинеты физиотерапии. Общие требования безопасности.
8. Ениг В. Вегетативная нервная система // Физиология человека / Под ред. Р. Шмидта и Г. Тевса. Т. 2. – М.: Мир, 1996. – С. 343–383.
9. Каплан М.А., Капинус В.Н., Горанская Е.В. Фотодинамическая терапия внутрикожных метастазов рака молочной железы // Опухоли женской репродуктивной системы. – 2011. – № 4. С. 28-31.
10. Трахтенберг А.Х., Соколов В.В., Филоненко Е.В., Пикин О.В., Вурсол Д.А. Эффективность внутриплевральной пролонгированной фотодинамической терапии у больных со злокачественным плевритом // Фотодинамическая терапия и фотодиагностика. – 2012. – № 1. С. 12-16.
11. Соколов В.В., Павлов П.В., Карпова Е.С., Пирогов С.С. Многокурсовая фотодинамическая терапия через саморас-

правляющийся стент при стенозирующем раке верхних отделов желудочно-кишечного тракта. Материалы III Всероссийской конференции «Фотодинамическая терапия и фотодиагностика» // Фотодинамическая терапия и фотодиагностика. – 2014. – № 1. С. 33-34.

12. Странадко Е.Ф. Основные этапы развития фотодинамической терапии в России // Фотодинамическая терапия и фотодиагностика. – 2015. – № 1. С. 3-10.

13. Чиссов В.И., Филоненко Е.В. Флюоресцентная диагностика и фотодинамическая терапия в клишической онкологии // М, 2012. С. 17-19.

14. Филоненко Е.В., Окушко А.Н., Сухин Д.Г., Яникова А.Г. Фотодинамическая терапия больных с внутрикожными метастазами меланомы // Онкология. Журнал им. П.А. Герцена. – 2012. – № 3. С. 52-54.

15. Филоненко Е.В. Флюоресцентная диагностика и фотодинамическая терапия – обоснование применения и воз. Журнал «Паллиативная медицина и реабилитация» № 3. 2018 г.

Бозоров Э.Х., Турсунов М.Р.

ОСНОВЫ МЕДИЦИНСКОЙ ЛАЗЕРНОЙ ФИЗИКИ

Редактор:

Г. Мурсалов

Технический редактор:

Г. Самиева

Верстник:

А. Каландаров

Разрешено к печати: 15.02.2022. Формат: 60/84 $\frac{1}{16}$.

Усл. печ. лист: 19,5. Заказ №20. Тираж 100.

Цена договорная.

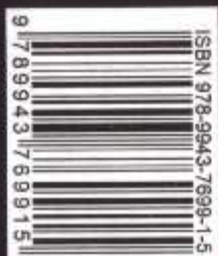


Издательство "ДУРДОНА", г. Бухара, ул. М.Икбод, 11.



Отпечатано в типографии ООО "Парк-Бухоро",
г. Бухара, ул. У'збекистон Мустақиллиги, 70/2.

Тел. (0365) 222-46-46



ISBN 978-9943-7699-1-5

9 789943 769915