



# МИР

## биологии и медицины

Р. БАГРАМОВ, М. АЛЕКСАНДРОВ,  
Ю. СЕРГЕЕВ

Лазеры  
в стоматологии,  
челюстно–лицевой  
и реконструктивно–  
пластической  
хирургии

ТЕХНОСФЕРА  
Москва  
2010

УДК 617  
ББК 54.5  
Б14

Баграмов Р.И., Александров М.Т., Сергеев Ю.Н.  
**Б14 Лазеры в стоматологии, челюстно-лицевой  
и реконструктивно-пластической хирургии**  
Под научной редакцией профессора, лауреата Государственной премии РФ  
М.Т. Александрова  
Москва:  
Техносфера, 2010. — 576 с. + 32 с. цв. вкл. ISBN 978-5-94836-249-6

В книге впервые в мире представлено экспериментально-теоретическое обоснование применения импульсно-периодического лазерного излучения и клинические методики его использования в реконструктивно-пластической хирургии и стоматологии. Подробно изложены основы лазерной хирургии, методы обследования, принципы планирования хирургического, консервативного лечения и реабилитации больных в реконструктивно-пластической хирургии, стоматологии и челюстно-лицевой хирургии. Отдельно представлены вопросы дерматокосметологии, особенности кожной, костной и пластики мягких тканей с применением импульсно-периодического СО<sub>2</sub>-лазерного излучения при дефектах и деформациях лица и шеи различной этиологии (нос, веки, брови, приротовая область). В заключительной главе представлены перспективные медицинские лазерные лечебно-диагностические биотехнологии.

Описанные в книге клинические методики и эффективные параметры применения импульсно-периодического СО<sub>2</sub>-лазерного излучения являются оригинальными и могут быть использованы в общей хирургии.

Книга адресована студентам, будущим и практикующим хирургам и клиницистам широкого профиля, работающим как в стационаре, так и в условиях поликлиники.

УДК 617  
ББК 54.5

© 2010, Баграмов Р.И., Александров М.Т., Сергеев Ю.Н.  
Все права защищены. Без письменного разрешения авторов никакая часть этой книги не может быть воспроизведена или передана в любой форме или любыми средствами, электронными или механическими, включая фотокопирование, запись или извлечение любой информации.

© 2010, ЗАО «РИЦ «Техносфера», оригинал-макет, оформление  
При оформлении первой страницы обложки использовано  
фото Р.И. Баграмова

ISBN 978-5-94836-249-6

## Содержание

<b>Глава 1. Основы лазерной медицины. М.Т. Александров, Р.И. Баграмов</b> .....	7
1.1. Характеристика лазеров и лазерного излучения, применяемых в медицинской практике .....	7
1.2. Структура применения низко- и высокоинтенсивного лазерного излучения в клинической практике .....	18
1.2.1. Применение высокоинтенсивного лазерного излучения в хирургии (общие принципы) .....	21
1.2.2. Применение НИЛИ в терапии (общие принципы) .....	24
1.3. Эффективность лечения и селективность применения спектрально-энергетических параметров лазерного излучения (общие принципы) .....	30
1.4. Применение НИЛИ в качестве биофотометрического фактора (лечебно-диагностического) – лазерная клиническая биофотометрия (общие принципы) .....	36
1.5. Особенности медицинских технологий применения лазерного излучения в различных областях медицины (актуальные и перспективные разработки) .....	39
1.5.1. Применение лазерного излучения в травматологии .....	42
1.5.2. Применение лазерного излучения в дерматологии и косметологии (актуальные направления) .....	46
1.5.3. Использование высокоинтенсивного лазерного излучения (ВИЛИ) (актуальные вопросы применения) .....	49
1.5.4. Применение лазерного излучения в онкологии .....	51
1.6. Техника безопасности при работе с лазерным излучением .....	51
<b>Глава 2. Методы обследования стоматологических больных (в хирургической стоматологии и челюстно-лицевой хирургии). М.Т. Александров, Р.И. Баграмов, С.Н. Попов</b> .....	54
2.1. Введение .....	54
2.2. Методика обследования стоматологического больного .....	55
2.3. Параклинические методы исследования (лабораторные и инструментальные методы обследования больных в хирургической стоматологии) .....	75
2.3.1. Рентгенологические методы в хирургической стоматологии .....	75
2.3.2. Инструментальные и функциональные методы обследования .....	90
2.4. Особенности обследования больных при различных заболеваниях челюстно-лицевой области .....	106
2.4.1. Особенности обследования больных с воспалительными заболеваниями .....	106
2.4.2. Особенности обследования больных с травмами челюстно-лицевой области .....	129
2.4.3. Особенности обследования больных с ожогами при поражениях тканей челюстно-лицевой области .....	139
2.4.4. Особенности обследования больных с заболеваниями слизистой оболочки полости рта и специфическими инфекциями (туберкулез, сифилис, актиномикоз, ВИЧ-инфекция) .....	143
2.4.5. Особенности обследования больных с доброкачественными и злокачественными новообразованиями челюстно-лицевой области .....	153
2.4.6. Особенности обследования больных с заболеваниями височно-нижнечелюстного сустава .....	156

2.4.7. Особенности обследования больных с дисфункцией височно-нижнечелюстного сустава .....	160
2.4.8. Особенности обследования больных с заболеваниями слюнных желез. <i>Р.И. Баграмов</i> .....	165
2.5. Профилактика хирургической патологии челюстно-лицевой области .....	171
<b>Глава 3.</b> Общие принципы планирования лечения и реабилитации хирургических больных с заболеваниями и повреждениями челюстно-лицевой области и их последствиями. <i>Ю.Н. Сергеев, М.Т. Александров, Р.И. Баграмов</i> .....	179
3.1. Введение .....	179
3.2. Планирование этапного лечения ожогов лица и шеи различной этиологии .....	183
3.3. Планирование лечения больных с онкологическими заболеваниями ЧЛЮ .....	185
3.3.1. Доброкачественные опухоли .....	189
3.3.2. Злокачественные опухоли ЧЛЮ .....	211
3.4. Планирование этапного хирургического лечения при травмах ЧЛЮ .....	218
3.5. Костная пластика нижней челюсти и височно-нижнечелюстного сустава при травмах и их последствиях .....	223
3.6. Хирургическое лечение аномалий и деформаций челюстей .....	240
<b>Глава 4.</b> Применение CO <sub>2</sub> -лазерного излучения в хирургической стоматологии и реконструктивно-пластической челюстно-лицевой хирургии (обоснование применения CO <sub>2</sub> -лазера, медицинские технологии). <i>Р.И. Баграмов, М.Т. Александров</i> .....	251
4.1. Экспериментальное обоснование клинического применения импульсно-периодического лазерного излучения в хирургии челюстно-лицевой области («Радуга-1-Ф») .....	251
4.2. Реконструктивные операции у больных при деформации лицевого скелета с помощью CO <sub>2</sub> -лазерного скальпеля .....	273
4.2.1. Общая характеристика больных .....	273
4.2.2. Методы обследования .....	275
4.2.3. Методики реконструктивных операций у больных при деформации лицевого скелета с помощью CO <sub>2</sub> -лазерного скальпеля .....	280
4.3. Применение CO <sub>2</sub> -лазерного скальпеля при травмах лицевого скелета .....	295
4.4. Дискуссионные аспекты имплантологии. <i>Г.В. Асирова</i> .....	313
4.5. Использование импульсного CO <sub>2</sub> -лазерного скальпеля при ряде воспалительных заболеваний челюстно-лицевой области (флегмоны, остеомиелит, гайморит, парадонтит, периодонтит, ретенированные зубы) .....	320
4.6. Применение импульсно-периодического CO <sub>2</sub> -лазерного скальпеля для оперативного лечения больных с опухолевыми процессами лицевого скелета .....	327
4.7. Применение функциональных методов диагностики для оценки процессов реабилитации больных при костных и костнопластических операциях на лицевом скелете .....	342
<b>Глава 5.</b> Клинические особенности кожной пластики при дефектах и деформациях лица и шеи различной этиологии (нос, веки, брови, приротовая область, сочетанные деформации, рубцы). <i>Ю.Н. Сергеев, М.Т. Александров</i> .....	346
5.1. Клинико-диагностическое планирование хирургического лечения .....	346
5.2. Подготовка к операциям .....	348
5.3. Методики кожнопластических операций в нижней зоне лица .....	350

5.3.1. Поражение поверхностных слоев эпителия кожи рубцами .....	350
5.3.2. Поражение рубцами кожи и слизистой полости рта во всю толщу .....	351
5.3.3. Глубокое поражение кожи и частично подлежащих слоев .....	354
5.4. Пластика век .....	358
5.5. Пластика бровей .....	362
5.6. Устранение обширных и глубоких сочетанных рубцовых поражений нижней зоны лица .....	363
5.6.1. Формирование стебельчатого лоскута на двух питающих ножках .....	366
5.6.2. Формирование острого стебельчатого лоскута (по Л.Р. Балону) .....	367
5.6.3. Пластика нижней зоны лица круглым стебельчатым лоскутом В.П. Филатова по методу Ф.М. Хитрова .....	369
5.6.4. Пластика дельтопекторальным лоскутом .....	371
5.7. Комбинация рубцовой деформации и сквозного дефекта в области нижней зоны лица и прилежащих участков .....	374
5.8. Особенности устранения последствий травм и заболеваний наружного носа и его перегородки .....	376
5.9. Замещение дефектов носа с пластикой местными тканями, свободными сложными и стебельчатыми лоскутами .....	377
5.10. Лечебно-профилактические мероприятия в ближайшие и отдаленные сроки послеоперационного периода .....	384
5.11. Заключение .....	387
<b>Глава 6. Фотодинамическая терапия опухолей челюстно-лицевой области.</b> <i>М.Т. Александров</i> .....	388
6.1. Сущность метода ФДТ рака .....	389
6.2. Методики лечения .....	396
<b>Глава 7. Применение лазеров и лазерного излучения в дерматокосметологии.</b> <i>М.Т. Александров, Р.И. Баграмов, Г.М. Шаманаева</i> .....	403
<b>Глава 8. Применение лазерного излучения в амбулаторной практике и клинической реабилитации больных.</b> <i>М.Т. Александров, Ю.Н. Сергеев</i> .....	417
8.1. Принципы применения низкоинтенсивного лазерного излучения (НИЛИ) на основе использования биофотометрии .....	418
8.2. Применение НИЛИ и ВИЛИ для лечения гнойно-воспалительных заболеваний мягких тканей челюстно-лицевой области. <i>Л.Д. Арашвили</i> .....	422
8.3. Применение лазерного излучения (ВИЛИ и НИЛИ) при лечении дистопии и ретенции зубов .....	431
8.4. Хирургическое лечение заболеваний пародонта .....	450
8.5. Использование лазерных технологий НИЛИ в комплексном лечении пародонтита .....	456
8.6. Применение НИЛИ для лечения переломов нижней и верхней челюсти .....	459
8.7. Применение новых биологически активных материалов и НИЛИ в комплексном лечении ран челюстно-лицевой области .....	461
8.8. Применение НИЛИ и гидрофильных коллагенсодержащих препаратов в дерматокосметологии .....	466
8.8.1. Введение .....	466
8.8.2. Клинико-экспериментальное обоснование эффективности коллагенсодержащих препаратов .....	467
8.8.3. Показания к использованию медицинской технологии .....	469
8.8.4. Противопоказания к использованию медицинской технологии .....	469

8.8.5. Описание метода .....	470
8.8.6. Лечение рубцов и рубцовых деформаций .....	471
8.8.7. Результаты клинического применения метода в условиях поликлиники .....	472
8.8.8. Дополнительные клинические методики применения различных композиций натурального коллагена гидрофильного Q5-26. <i>М.Т. Александров, А.В. Жуков, Т.И. Еницкая</i> .....	472
8.8.9. Общая характеристика капсульного аминокислотного комплекса из рыбьего коллагена (эндокорпоральное воздействие препарата). <i>М.Т. Александров, А.В. Жуков, Т.И. Еницкая</i> .....	475
8.8.10. Практические рекомендации .....	476
8.9. Применение бактерицидного ультрафиолетового лазерного излучения для лечения гнойных ран челюстно-лицевой области .....	476
8.10. Экспресс-способы определения гигиены полости рта лазерно-флуоресцентным методом по М.Т. Александрову .....	482
8.11. Перспективы применения лазеров в хирургической стоматологии и челюстно-лицевой хирургии .....	489
<b>Глава 9. Современные перспективные медицинские лазерные биотехнологии.</b> <i>М.Т. Александров, Ю.Н. Сергеев</i> .....	493
9.1. Экспресс-выбор предпочтительного антимикробного препарата методом лазерной флуоресцентной диагностики .....	493
9.2. Применение оксида азота для лечения больных с гнойной инфекцией .....	522
9.2.1. Введение .....	522
9.2.2. Материально-техническое обеспечение метода .....	523
9.2.3. Алгоритм проведения исследования по обоснованию методики .....	524
9.2.4. Применение оксигенотерапии и лазерного излучения для лечения гнойной хирургической инфекции .....	530
9.2.5. Алгоритм клинической методики .....	531
9.3. Мультисубстратная лазерно-флуоресцентная экспресс-диагностика таксономической принадлежности и физиологического состояния микроорганизмов. <i>М.Т. Александров, В.Н. Лазарев, А.С. Терехов,</i> <i>Е.Н. Васильев</i> .....	531
9.3.1. Введение .....	531
9.3.2. Объекты и методы .....	533
9.3.3. Результаты и обсуждение .....	535
9.3.4. Мониторинг и коррекция систем в задачах эндоэкологической реабилитации (применительно к заболеваниям и процессам микробной природы, стресс-дистрессовым нагрузкам у больных, нуждающихся в хирургическом лечении) .....	538
9.3.5. Система иммунологической экспресс-диагностики на основе лазерно-флуоресцентных технологий идентификации микробов и сложных органических веществ (антитела) .....	544
9.4. Психофизическая реабилитация больных на этапах реконструктивно-пластического хирургического лечения .....	546
<b>Глава 10. Заключение</b> .....	553
<b>Приложение. Коллаген. Новая стратегия сохранения здоровья и продления молодости</b> .....	560

# ГЛАВА I

## ОСНОВЫ ЛАЗЕРНОЙ МЕДИЦИНЫ

### 1.1. Характеристика лазеров и лазерного излучения, применяемых в медицинской практике

**Источники оптического когерентного излучения** — лазеры — созданы более 40 лет назад. В лазерах используется новый метод усиления и генерации электромагнитных колебаний при помощи вынужденного излучения квантовых систем. Само слово лазер (laser) является аббревиатурой английской фразы: «Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation», что означает «усиление света с помощью вынужденного излучения». В создании лазеров определяющую роль сыграли работы русских ученых под руководством Н.Г. Басова и А.М. Прохорова и американских под руководством Ч. Таунса. Признанием этого факта является присуждение Нобелевской премии по физике за 1964 год этим ученым за основополагающие работы в области квантовой физики.

С момента создания лазеров в технике и науке наметился процесс внедрения их в новые методы исследований и применения в хозяйственно-экономической и социальной практике, в том числе в медицине.

#### *Классификация лазеров*

С практической точки зрения, особенно для использования в медицине, лазеры классифицируют по типу активного материала, по способу питания, длине волны и мощности генерируемого излучения.

Активной средой может быть газ, жидкость или твердое тело. Формы активной среды также могут быть различными. Чаще всего для газовых лазеров используются стеклянные или металлические цилиндры, заполненные одним или несколькими газами. Примерно так же обстоит дело и с жидкими активными средами, хотя часто встречаются прямоугольные кюветы из стекла или кварца. Жидкостные лазеры — это лазеры, в которых активной средой являются растворы определенных соединений органических красителей в жидком растворителе (воде, этиловом или метиловом спиртах и т.п.).

В газовых лазерах активной средой являются различные газы, их смеси или пары металлов. Эти лазеры разделяются на газоразрядные, газодинамические и химические. В газоразрядных лазерах возбуждение осуществляется электрическим разрядом в газе, в газодинамических — используется быстрое охлаждение при расширении предварительно нагретой газовой смеси, а в химических — активная среда возбуждается за счет энергии, освобождающейся при химических реакциях компонентов среды. Спектральный диапазон газовых лазеров значительно шире, чем у всех остальных типов лазеров. Он перекрывает область от 150 нм до 600 мкм.

Эти лазеры имеют высокую стабильность параметров излучения по сравнению с другими типами лазеров.

Лазеры на твердых телах имеют активную среду в форме цилиндрического или прямоугольного стержня. Таким стержнем чаще всего является специальный синтетический кристалл, например рубин, alexandrit, гранат или стекло с примесями соответствующего элемента, например эрбия, гольмия, неодима. Первый действующий лазер работал на кристалле рубина.

Разновидностью активного материала в виде твердого тела являются также полупроводники. В последнее время благодаря своей малогабаритности и экономичности полупроводниковая промышленность очень бурно развивается. Поэтому полупроводниковые лазеры выделяют в отдельную группу.

Итак, соответственно типу активного материала выделяют следующие типы лазеров:

- газовые;
- жидкостные;
- на твердом теле (твердотельные);
- полупроводниковые.

Тип активного материала определяет длину волны генерируемого излучения. Различные химические элементы в разных матрицах позволяют выделить сегодня более 6000 разновидностей лазеров. Они генерируют излучение от области так называемого вакуумного ультрафиолета (157 нм), включая видимую область (385–760 нм), до дальнего инфракрасного (> 300 мкм) диапазона. Все чаще понятие «лазер», вначале данное для видимой области спектра, переносится также на другие области спектра.

**Таблица 1.1.** Характеристика основных типов лазеров, использующихся в медицинской практике

Тип лазера	Агрегатное состояние активного вещества	Длина волны, нм	Диапазон излучения
CO <sub>2</sub>	Газ	10600	Инфракрасный
YAG:Er YSGG:Er YAG:Ho YAG:Nd	Твердое тело	2940 2790 2140 1064/1320	Инфракрасный
Полупроводниковый, например арсенид галлия	Твердое тело (полупроводник)	635–1500 904	От видимого до инфракрасного
Рубиновый	Твердое тело	694	Видимый
Гелий-неоновый (He-Ne)	Газ	540 632,8 1150	Зеленый, ярко-красный, инфракрасный
На красителях	Жидкость	350–950 (перестраиваемая)	Ультрафиолет – инфракрасный
На парах золота	Газ	628,3	Красный
На парах меди	Газ	511/578	Зеленый/желтый
Аргоновый	Газ	488 515	Голубой,зеленый
Эксимерный: ArF KrF XeCl XeF	Газ	193 249 308 351	Ультрафиолет



**Таблица 1.2.** Некоторые характеристики лазеров на редкоземельных элементах (по А.П. Кузнецову)

Ион	Tt <sup>3+</sup>	Ho <sup>3+</sup>	Er <sup>3+</sup>
Длина волны излучения, мкм	2,01	2,12	2,64; 2,78; 2,94
Глубина проникновения в воде, мкм	200	4	5

Например, для более коротковолнового излучения, чем инфракрасное, используется понятие «рентгеновские лазеры», а для более длинноволнового, чем ультрафиолетовое, – понятие «лазеры, генерирующие миллиметровые волны» (см. табл. 1.1, 1.2, 1.3, рис. 1.1).

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 632,8 нм ( $\text{нм} = 10^{-9} \text{ м}$ ) видимого красного цвета. Впервые такой лазер был разработан в 1961 году и стал предвестником целого семейства газовых лазеров. Все газовые лазеры довольно похожи по конструкции и свойствам.

Например, CO<sub>2</sub>-газовый лазер излучает длину волны 10,6 мкм в дальней инфракрасной области спектра. Аргоновый и криптоновый газовые лазеры работают с кратной частотой, излучая преимущественно в видимой части спектра (см. рис. 1.1). Основные длины волн излучения аргонового лазера – 488 и 514 нм.

Твердотельные лазеры используют лазерное вещество, распределенное в твердой матрице. Одним из примеров является неодим (Nd)-лазер. Термин АИГ является сокращением для кристалла – алюмоиттриевый гранат, который служит как носитель для ионов неодима. Этот лазер излучает инфракрасный луч с длиной волны 1,064 мкм. Вспомогательные устройства, которые могут быть как внутренними, так и внешними по отношению к резонатору, могут использоваться для преобразования выходного луча в видимый или ультрафиолетовый диапазон. В качестве лазерных сред могут использоваться различные кристаллы с разными концентрациями ионов-активаторов: эрбия (Er<sup>3+</sup>), гольмия (Ho<sup>3+</sup>), тулия (Tt<sup>3+</sup>).

Выберем из этой классификации лазеры, наиболее пригодные и безопасные для медицинского использования (табл. 1.1). К более известным газовым лазерам,

**Таблица 1.3.** Основные рабочие характеристики лазерных хирургических аппаратов на основе CO<sub>2</sub>-лазеров (по А.П. Кузнецову)

Фирма, страна/модель	Средняя мощность, Вт	Радиус операционного поля, м	Минимальный размер пятна на ткани, мкм	Потребляемая мощность, Вт
Coherent. США/ Ultrapulse 5000с	0,05–100	1,8	300	3500
Sharplan. Израиль/40С	1–40	1,2	160	960
DEKA. Италия/Smartoffice	1–20	1,2	300	1000
Mattioli. Италия/Eagle 20	1–20	1,3	200	750
Lasering. Италия/Slim	0,2–20	1,3	200	600
КБП. Россия/Ланцет-2	0,1–20	1,2	200	600
НИС. Япония/НИС 15	1–15	0,4	100	480

используемым в стоматологии, относятся  $\text{CO}_2$ -лазеры, He-Ne-лазеры (гелий-неоновые лазеры). Представляют интерес также газовые эксимерные и аргоновые лазеры. Из твердотельных лазеров наиболее популярным в медицине является лазер на YAG:Er, имеющий в кристалле эрбиевые активные центры. Все чаще обращаются к лазеру на YAG:Ho (с гольмиевыми центрами). Для диагностического и терапевтического применения используется большая группа как газовых, так и полупроводниковых лазеров. В настоящее время в производстве лазеров в качестве активной среды используется свыше 200 видов полупроводниковых материалов.

Лазеры можно классифицировать по виду питания и режиму работы. Здесь выделяются устройства непрерывного или импульсного действия. Лазер непрерывного действия генерирует излучение, выходная мощность которого измеряется в ваттах или милливаттах.

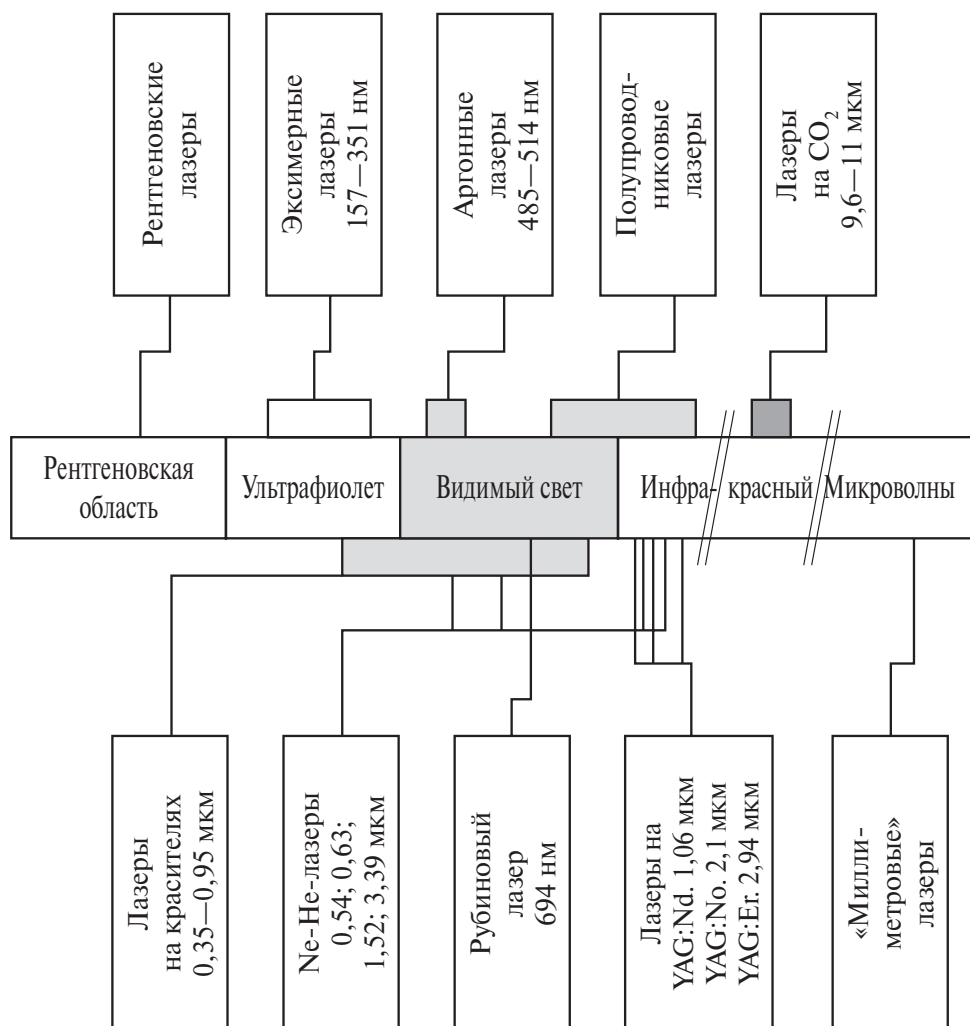


Рис. 1.1. Основные типы лазеров на шкале длин волн генерируемого излучения



При этом степень энергетического воздействия на биоткань характеризуется:

- **плотностью мощности** – отношение мощности излучения  $[P]$  к площади сечения лазерного пучка  $[p = P/s]$ .  
Единицы измерения в лазерной медицине –  $[Вт/см^2]$ ,  $[мВт/см^2]$ ;
- **дозой излучения**  $[D]$ , равной отношению произведения мощности излучения  $[P]$  и времени облучения к площади сечения лазерного пучка. Выражается в  $[Вт \cdot с/см^2]$ ;
- **энергией**  $[E = P \cdot t]$  – произведение мощности на время. Единицы измерения –  $[Дж]$ , т.е.  $[Вт \cdot с]$ .

С точки зрения мощности излучения (непрерывной или средней) медицинские лазеры делятся на:

- лазеры малой мощности: от 1 до 5 мВт;
- лазеры средней мощности: от 6 до 500 мВт;
- лазеры большой мощности (высокоинтенсивные): более 500 мВт.

Лазеры малой и средней мощности причисляют к группе так называемых биостимулирующих лазеров (низкоинтенсивных). Биостимулирующие лазеры находят все более широкое терапевтическое и диагностическое использование в экспериментальной и клинической медицине.

С точки зрения режима работы лазеры делятся на:

- режим излучения непрерывный (волновые газовые лазеры);
- режим излучения смешанный (твердотельные и полупроводниковые лазеры);
- режим с модуляцией добротности (возможен для всех типов лазеров).

### **Основные свойства и категории взаимодействия лазерного излучения с тканями** (табл. 1.4, 1.5)

Из многих уникальных свойств излучения лазера для использования в медицине наибольшее значение имеют следующие:

- монохроматичность;
- большая интенсивность, отнесенная к единице длины волны;
- когерентность;
- поляризация;
- направленность пучка.

**Монохроматичность.** В простейшем понимании это означает генерацию лазерного излучения с одной длиной волны. Вся мощность излучения для типичного источника света расположена в широкой области спектра. При воздействии такого «многофакторного» света на биологическую ткань большая его часть интенсивно нагревает ткань, вызывая ряд нежелательных тепловых эффектов, в том числе испарение ткани. Воздействие монохроматического излучения лазерного источника «монофакторно» и в зависимости от параметров излучения ( $E$ ,  $P$ ,  $t$ )<sup>1</sup> может выборочно проникать в небольшую точно определенную локальную область ткани как с нагревом, так и без ее нагрева. Очень **большие плотности** энергии лазерного излучения, сфокусированного оптическими системами, могут стать и являются эффективными, точными лазерными скальпелями. Низкоинтенсив-

<sup>1</sup>  $E$  – Дж,  $P$  – Вт,  $t$  – с.

ное лазерное излучение применяют для диагностики и в качестве физиотерапевтического лечебного воздействия.

Применительно к волновым и колебательным процессам **когерентность** означает «согласованность», «корреляция». Так, когерентность лазерного излучения означает постоянную разность фаз между волнами как во времени, так и в пространстве. Когерентность излучения лазеров определяет постоянство фазы и частоты (длины волны) на протяжении работы лазера, т.е. это свойство, обуславливающее исключительную способность к концентрации световой энергии по разным параметрам: в спектре – очень узкая спектральная линия излучения; во времени – возможность получения сверхкоротких импульсов света; в пространстве и по направлению – возможность получения направленного пучка с минимальной расходимостью и фокусированием всего излучения в малой области с размерами порядка длины волны. Все эти параметры позволяют осуществлять локальные воздействия, вплоть до клеточного уровня, а также эффективно передавать излучение по волоконным световодам для дистанционного воздействия.

**Поляризация** — проявление поперечности электромагнитной волны, т.е. сохранение постоянного ортогонального положения взаимно перпендикулярных векторов напряженности электрического и магнитного полей по отношению к скорости распространения волнового фронта.

**Высокая направленность** пучка лазерного излучения (пространственная когерентность) определяет возможность распространения излучения с малой расходимостью на значительных расстояниях, обеспечивает фокусирование светового лазерного пучка на объект до размеров, соизмеримых с длиной волны лазерного излучения. Часто говорят, что лазерное излучение характеризуется малой угловой расходимостью. Обычно расходимость лазерного пучка составляет величину порядка

Таблица 1.4. Категории взаимодействия

Эффекты	Взаимодействие
<b>Фотобиохимическое влияние</b> Фотоактивизация, фоторадикация, фоторезонанс	Биостимулирование
<b>Фотохимиотерапия</b>	Фотодинамическая терапия
<b>Фототермическое влияние</b> Фототермолиз (разложение под воздействием тепла)	Термическо-динамическое воздействие, перегрев в микромасштабе
<b>Фотогипертермия</b> (чрезмерный перегрев под воздействием света)	(37–43) °С – не наступают необратимые изменения нормальной ткани, (43–60)°С – ослабление оболочек, отеки, припаривание тканей, денатурация энзимов
<b>Фотокоагуляция</b>	(60–100) °С – коагуляция, омертвление
<b>Фотокарбонизация</b> (обугливание)	(100–300) °С – осушение, испарение воды, обугливание
<b>Фотоиспарение</b>	> 300 °С – пиролиз (термическое разложение), испарение главных составляющих постоянной ткани
<b>Фотоионизация</b> Фотоабляция (процесс разрыва связей под воздействием света)	Быстрая «микроэксплозия»
<b>Фотораздробление</b>	Ударная волна, вызванная импульсом света

Таблица 1.5. Основные характеристики лазерных систем медицинского назначения

Тип лазера	Длина волны, мкм	Режим/ длит. импульса	Время экспозиции	Мощность, Вт/ энергия импульса, Дж	Механизм взаимодействия	Вид воздействия на биоткань
<i>«Термически» воздействующие лазерные системы</i>						
Ar <sup>+</sup>	0,488–0,514	Непрерывный	От 0,01 с до непрерывного	0,3–10 Вт	Поглощение гемоглобином и меланином	Коагуляция (эпипластика, дерматология)
Na красители с накачкой аргоновым лазером	0,488–0,960	Непрерывный	От 0,02 с до непрерывного	0,2–3 Вт	Поглощение естественным и синтетическими хромофорами	Коагуляция, фотохимический эффект (фотодинамическая терапия в онкологии)
Nd: YAG	1,06	Непрерывный/ импульсный 14–30 мс	От 0,01 с до непрерывного	1–120/2–60 до 300 Вт пиковой мощности	Объемное поглощение	Испарение, коагуляция (офтальмология, хирургия)
Er: YAG	2,64/2,94	Импульсный 100–500 мкс	Частота повторения 1–100 Гц	5–2000 мДж	Поглощение в воде	Испарение, коагуляция (офтальмология, хирургия)
CO <sub>2</sub>	10,6	Непрерывный/ импульсный 5–50 мс	От 0,05 с до непрерывного	0,03–60/1–20 до 300 Вт пиковой мощности	Поглощение в воде	Сварка, испарение (хирургия, дерматология)
<i>«Нетермически» воздействующие лазерные системы</i>						
Эксимерный	0,193	Импульсы длительностью 10 нс	Частота повторения 20 Гц	180 мДж	Ионизация, поглощение в воде	Фотоабляция (хирургия роговицы)
Эксимерный	0,308	Импульсы длительностью 100–250 нс	Частота повторения 1–200 Гц	5–200 мДж	Поглощение в воде	Фотоабляция (офтальмология, ангиопластика)
Na красители с ламповой накачкой	0,504	1,4–2 мкм	1–200 Гц	80–140 мДж	Поглощение в хромофорах	Фотоабляция (литотрипсия, ангиопластика)
Na красители с ламповой накачкой	0,585	500 мкм	0,5 Гц	4–6 Дж	Поглощение в сосудах	Фотоакустика (пластическая хирургия)
Nd: YAG с пассивной модуляцией	1,06	20–25 нс	1–20 Гц	10–100 мДж	Оптический пробой	Фотофрагментация (вторичная катаракта мембраны)
Полупроводниковые	0,64–1,5	Непрерывный	1 мин – 1 ч	0,1–100 мВт/см <sup>2</sup>	Поглощение	Фототерапия, биостимуляция
He-Ne	0,63	Непрерывный	1 мин – 1 ч	0,14–100 мВт/см <sup>2</sup>	Поглощение	Фототерапия, биостимуляция

1 миллирадиана (1 мрад). При этом радиан – это единица измерения угла, который обозначает соотношение длины дуги отрезка к его радиусу.

Высокая интенсивность лазерного излучения при малой расходимости пучка позволяет сконцентрировать в малом объеме значительную световую энергию, вызывающую различные процессы в биологической среде, в том числе локальный разогрев, быстрое испарение и т.п. (см. табл. 1.2).

Итак, лазерное излучение характеризуется следующими свойствами:

1. пространственная когерентность;
2. временная когерентность и высокая степень монохроматичности;
3. параллельность пучка;
4. высокая мощность.

### *Особенности взаимодействия лазерного излучения с тканью*

Воздействие лазерного излучения на биологические структуры зависит от длины волны излучаемой лазером энергии, плотности энергии луча и временных характеристик энергии луча (табл. 1.4). Когда лазерный луч ударяется о целевую ткань, лазерный свет поглощается, передается, отражается и рассеивается. Пропорции этих взаимодействий определяются конкретной длиной волны лазерного излучения и оптическими характеристиками целевой ткани. Только поглощение лазерной энергии производит заметный эффект на ткань. Эффект может быть результатом фотохимического, фототермического, фотомеханического или фотоэлектрического взаимодействия в зависимости от длины волны лазера, плотности энергии и времени воздействия лазерного луча. Во время использования лазера нужно соблюдать основное правило: чем больше энергии поглощается на единицу поверхности, тем больше эффект. Действие и эффективность лазера определяются параметрами лазера, размером облучаемой поверхности и скоростью, с которой врач передвигает луч вдоль ткани.

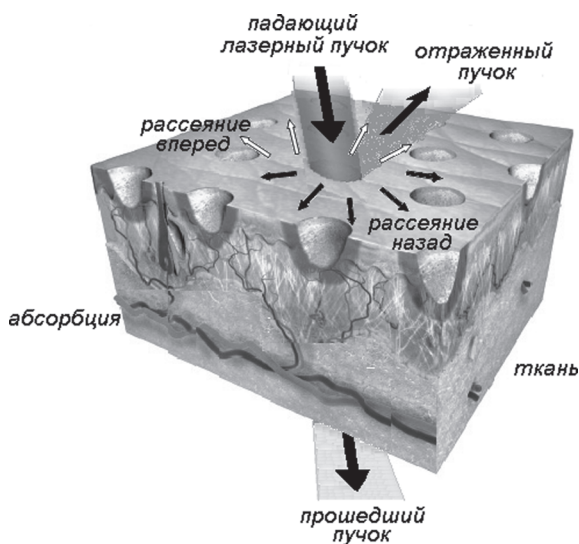


Рис. 1.2. Взаимодействие лазерного излучения с БО

Каждая длина волны лазерного света обладает специфическими характеристиками поглощения при прохождении света в ткань. Когда лазерный свет поглощается определенной тканью, что называется селективным поглощением, ткань нагревается и вызываются различные эффекты, зависящие от количества поглощенной энергии. Эти эффекты могут быть тепловыми, химическими или звуковыми. Пригодность лазера для выполнения определенных процедур сильно зависит от точной длины волны света. При применении лазерного излучения в биологии и медицине следует учитывать основные закономерности взаимодействия оптического излучения и ткани (рис. 1.2, табл. 1.4; рис. 1.3, 1.4).

#### *Поглощение лазерного света тканью*

Поглощенный лазерный свет трансформируется в тепловую энергию. На поглощение влияют длина волны, содержание воды, пигментация и тип ткани.

#### *Отражение лазерного света тканью*

Отраженный лазерный свет не влияет на ткань.

#### *Пропускание лазерного света тканью*

Проходящий лазерный свет не влияет на ткань. На пропускание влияют тип ткани и длина волны.

#### *Рассеивание лазерного света тканью*

Рассеянный лазерный свет излучается повторно в случайном направлении и в конечном счете поглощается в большом объеме с менее интенсивным тепловым эффектом. На рассеивание влияет длина волны.

#### *Поглощение лазерного света целевой тканью*

Коэффициент поглощения — это единица измерения того, как сильно свет поглощается в определенном веществе. Большое число означает сильное поглощение. Насколько мы знаем из опыта, существует большая разница между веществами. Вода прозрачна для видимого света, но непроницаема для средней инфракрасной области спектра. Меланин и гемоглобин хорошо поглощают видимый свет. Коэффициент поглощения определяет длину спектральной линии поглощения различных лазеров человеческими тканями. Длина спектральной линии поглощения — это расстояние, которое проходит лазерный свет в ткани до того, как поглотится на 63%. Глубина проникновения лазерного света в ткани коррелирует с коэффициентом поглощения. Чем выше поглощение в определенном хромофоре (пигменты, вода), тем ниже глубина проникновения.

#### *Эффекты лазерного поглощения*

- Фототермическое
- Фотохимическое
- Фотоакустическое

#### *Основные типы взаимодействия лазера с тканью*

##### *Фототермическое*

- Нагревание
- Коагуляция
- Денатурация

- Испарение
- Карбонизация

Фоторазрушительный/фотоакустический эффекты

- Образование плазмы
- Разрушение или раздробление ткани
- Флуоресценция
- Повторное излучение поглощенного лазерного света

Фотохимическое

- Запуск химических реакций – фотополимеризация
- Разрушение химических связей в молекулах, вызванное лазерным светом
- Фотодинамическая терапия: создание биохимических реактивных форм кислорода

Биостимуляция

- Обеспечивает избавление от боли
- Стимулирует заживление ран
- Видоизменяет биологический процесс

Степень того или иного воздействия зависит от лазерного излучения (длины волны, плотности энергии, длительности облучения и частоты повторения) и биологического материала (коэффициента поглощения, коэффициента рассеяния, плотности и т.д.).

Воздействие лазеров на биологические ткани зависит от:

- плотности энергии;
- продолжительности облучения, количества охлаждения;
- определенной длины волны, режима излучения;
- характеристик ткани.

Потери из-за тепловой проводимости малы, если длительность импульса очень коротка, но они могут быть существенны при более длинных импульсах. Этот эффект может стать значительным в результате поглощения излучения в плазме,

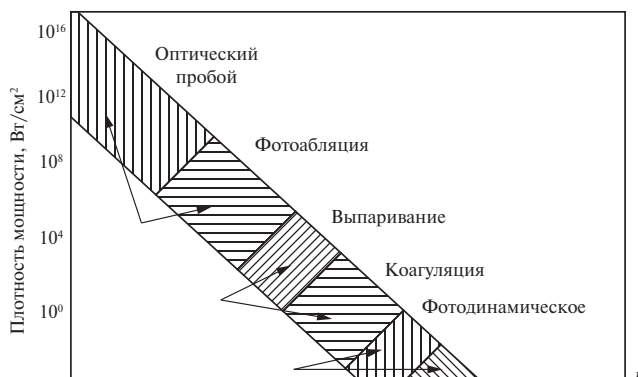


Рис. 1.3. Воздействие лазерного излучения на биоткань в зависимости от мощности и длительности экспозиции



образованной испаренным веществом на целевой поверхности. Переизлучение от целевой поверхности обычно незначительно.

Высокий коэффициент термодиффузии обычно дает возможность более глубокого проникновения фронта плавления без теплового удара или растрескивания. Высокое значение коэффициента термодиффузии может также вызывать проблемы, быстро отводя тепло от поверхности. Это может привести к уменьшению глубины плавления.

Неоднородная слоистая структура кожи, а также ее состав, в котором доминируют белки, вода и меланин, обуславливают сильное рассеяние и поглощение (рис. 1.6). Основное ослабление света происходит на глубине залегания трех слоев кожи. Наибольшей глубины проникновения достигает излучение в красной и ИК-области спектра. При этом только 5–20% поглощенной энергии приходится на подкожную клетчатку, остальная ее значительная часть отражается поверхностью кожи и/или слизистых оболочек (рис. 1.6).

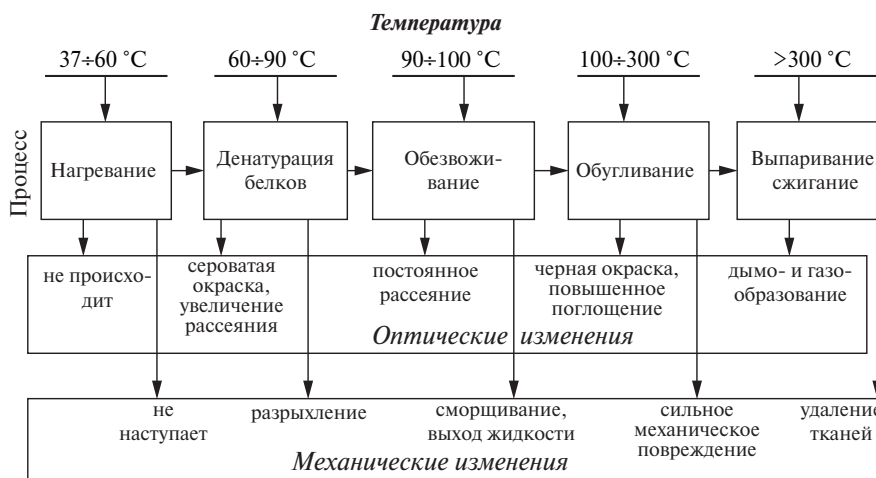


Рис. 1.4. Изменение оптических, термических и механических свойств тканей во время лазерного облучения

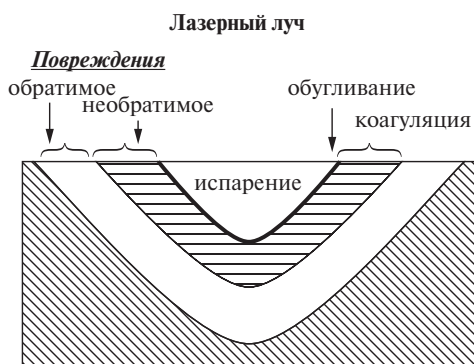
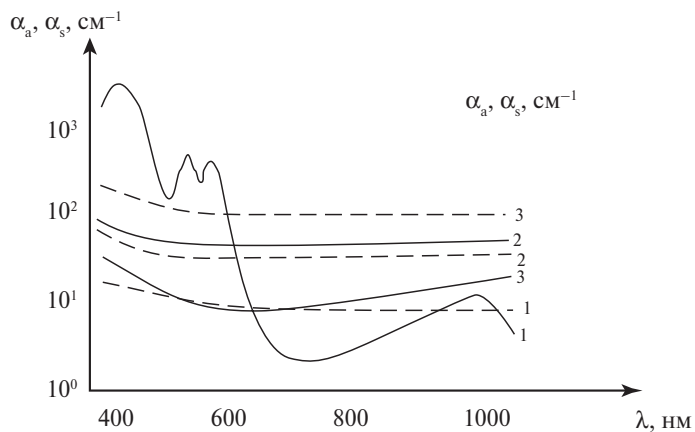


Рис. 1.5. Различные зоны воздействия при резании ткани



**Рис. 1.6.** Зависимость коэффициента поглощения и рассеяния от длины волны для крови (1), эпидермиса (2), дермы (3)

С одной стороны, все это обеспечивает возможность использования лазера как эффективного хирургического ножа или эффективного точного устройства для лечения отслоения сетчатки глаза, кариеса, доброкачественных и злокачественных новообразований (невусы, очаги меланомы, базилиома и другие опухоли и ткани). С другой стороны, в биостимуляции и лазерной акупунктуре применением лазера (низкоинтенсивного) можно результативно практически в реальном времени на принципе обратной связи (диагностика по месту лечения) диагностировать и стимулировать положительные энергетические и физиологические процессы (реабилитация). Сфокусированный свет лазера может быть опасен только для глаз и кожи (критические органы). Основные характеристики лазерных систем медицинского назначения представлены в табл. 1.5 (по А.П. Кузнецову, 2004).

## 1.2. Структура применения низко- и высокоинтенсивного лазерного излучения в клинической практике

Начиная с 60-х годов прошлого века и по сегодняшний день трудно назвать область человеческой деятельности, где бы не использовали лазеры и лазерное излучение. В медицинской практике лазеры впервые стали использоваться в дерматологии, офтальмологии и стоматологии.

Лазерную медицину по функциональному применению лазерной аппаратуры можно разделить на три основных направления:

- лазерная терапия (80% лазерных аппаратов);
- лазерная хирургия (15% лазерных аппаратов);
- лазерная диагностика (5% лазерных аппаратов).

Эффективность лазерной медицинской техники определяется ее основными характеристиками: длиной волны используемого излучения, его мощностью, режимом работы (непрерывный, импульсный и др.), продолжительностью воздействия

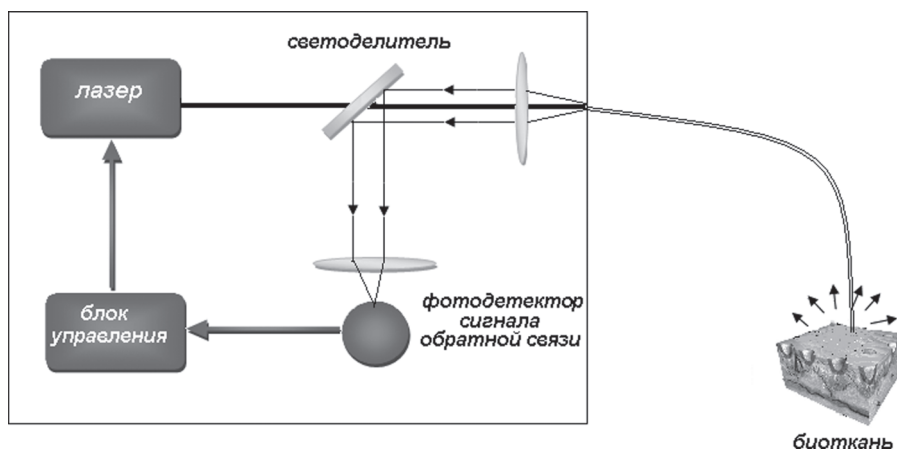


Рис. 1.7. Лазерная хирургическая система с регулируемой мощностью воздействия

излучения и др. Так, в хирургии (рис. 1.7) совокупность этих характеристик определяет возможность коагуляции (физика – слипание частиц в жидких или газообразных дисперсных системах с образованием более крупных агрегатов; биология – процесс нарушения нормальных свойств белков, их свертывание под действием различных факторов), степень карбонизации (обугливание) биоткани при разрезе, глубину теплового поражения и толщину разреза; в терапии – возникновение тех или иных физико-химических реакций в тканях, больший или меньший отклик в физиологических реакциях организма в целом и его функциональных систем, глубину проникновения излучения в тканях и т.д.; в диагностике – достоверность получаемой информации и, соответственно, правильность постановки диагноза, оценка эффективности лечения, выбор предпочтительного антимикробного препарата, мониторинг процесса лечения, объективное определение сроков реабилитации больного (М.Т. Александров. Лазерная клиническая биофотометрия, 2008).

В клиническом аспекте можно выделить четыре типа воздействий лазерного излучения на биологические объекты.

1. Воздействие на ткани импульсным или непрерывным лазерным излучением при плотности мощности, не достаточной для глубокого обезвоживания, испарений тканей и возникновения в них дефекта (применение лазерного излучения и лазерной техники в офтальмологии, дерматологии и онкологии для облучения патологических тканевых образований, которое приводит к коагуляции их клеточных и тканевых структур).
2. Рассечение тканей, когда под влиянием излучения лазера непрерывного или импульсно-периодического действия часть ткани испаряется и в ней возникает дефект. В этом случае плотность мощности излучения может превосходить используемую при коагуляции на два порядка и более (хирургическое применение лазерного излучения).
3. Влияние на ткани и органы низкоэнергетического излучения, обычно не вызывающего явных морфологических изменений, но приводящего к определенным биохимическим и физиологическим сдвигам в организме.

4. Использование показателей отражения, поглощения, пропускания и конверсии лазерного излучения в тканях и органах для диагностических целей (М.Т. Александров. Лазерная клиническая биофотометрия, 2008).

Систематизируя указанные направления применения лазерного излучения и лазерной техники, можно отметить, что:

- пункты 1, 2 – это деструктивное воздействие на биологические ткани и патологические процессы – коагуляция (в офтальмологии, онкологии, дерматовенерологии) и рассечение тканей (в хирургии), испарение тканей (хирургия, стоматология, офтальмология и др.);
- пункт 3 – это биостимуляция (в физиотерапии);
- пункт 4 – это диагностика – изучение биологических структур и процессов (доплеровская спектроскопия, проточная цитофотометрия, голография, лазерная микроскопия, лазерная клиническая биофотометрия и др.).

В терапевтических целях лазеры и лазерное излучение применяют для лечения различных заболеваний. Среди этих заболеваний встречаются патологические изменения на клеточном, тканевом, органном, системном и общеорганизменном уровнях. Выделим некоторые из них.

- Терапия: ишемическая болезнь сердца, стенокардия покоя и напряжения, постинфарктный кардиосклероз, гипертоническая болезнь, вегето-сосудистая дистония, заболевания органов желудочно-кишечного тракта, заболевания суставов.
- Хирургия: раны, ожоги, обморожения, переломы костей, травматические повреждения внутренних органов; инфильтраты, гнойные заболевания мягких тканей и костей, проктиты, парапроктиты, трещины прямой кишки, фурункулы, карбункулы, флегмоны; флебит, тромбофлебит, облитерирующий эндартериит, трофические язвы, геморрой, лимфадениты, пяточные шпоры.
- Эндокринология: тиреоидит, сахарный диабет, эндокринопатии.
- Неврология: остеохондроз, радикулиты, шейно-плечевой синдром; невриты и невралгии различной локализации; неврозы, болезнь Паркинсона, рассеянный склероз.
- Гастроэнтерология: гастриты, язвенная болезнь желудка и двенадцатиперстной кишки; панкреатиты, диффузные поражения печени, цирроз печени, дискинезия желчевыводящих путей, острые и хронические холециститы, колиты.
- Пульмонология: бронхиты, бронхиальная астма, острая и хроническая пневмония, туберкулез легких, пневмосклероз, плевриты.
- Стоматология: хирургическая стоматология и челюстно-лицевая хирургия, терапевтическая и ортопедическая стоматология, включая стоматологию детского возраста (кариес и его осложнения, пародонтит, воспалительные и опухолевые заболевания ЧЛЮ, травмы, невриты и невралгии, стоматиты, имплантология и др.).

Таким образом, **фотохимические процессы** применяются в основном в низкоинтенсивной лазеротерапии (НИЛТ), а **термические процессы и нелинейные**

**эффекты** — тепловое воздействие — в лазерной хирургии, **конверсия лазерного излучения в биологическом объекте и нелинейные эффекты** — низкоинтенсивные параметры — в диагностике заболеваний и процессов микробной и неопластической природы, травматологии, пластической хирургии, дерматологии и других нозологиях.

### 1.2.1. Применение высокоинтенсивного лазерного излучения в хирургии (общие принципы)

Основной метод лечения хирургических болезней — операции, связанные с расчленением биотканей. Воздействие сильноконцентрированной световой энергии на биоткань приводит к ее сильному нагреву с последующим испарением межтканевой и внутриклеточной жидкости, уплотнению и коагуляции тканевых структур. При малых экспозициях разрушению подвергаются поверхностные слои биоткани. С ростом экспозиции увеличиваются глубина и объем деструкции.

Хирургические лазеры бывают как непрерывные, так и импульсные, в зависимости от типа активной среды. Условно их можно разделить на три группы по уровню мощности:

- 1) коагулирующие: 1–5 Вт;
- 2) испаряющие и неглубоко режущие: 5–20 Вт;
- 3) глубоко режущие: 20–100 Вт.

Конечно, это деление в значительной степени условно, так как длина волны излучения и режим работы очень сильно влияют на требования по выходной мощности хирургического лазера (рис. 1.8, 1.9).

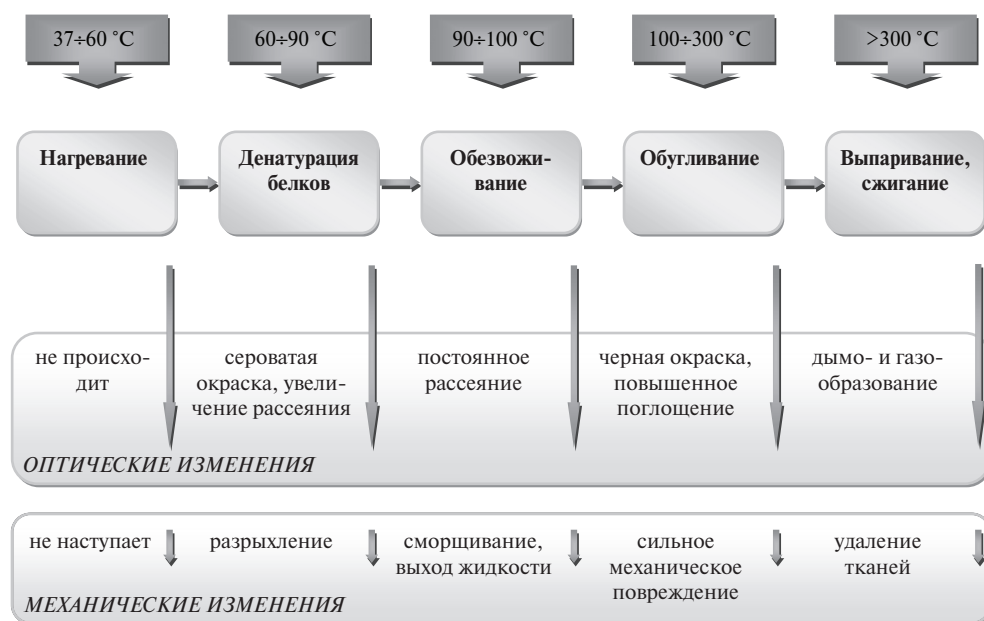
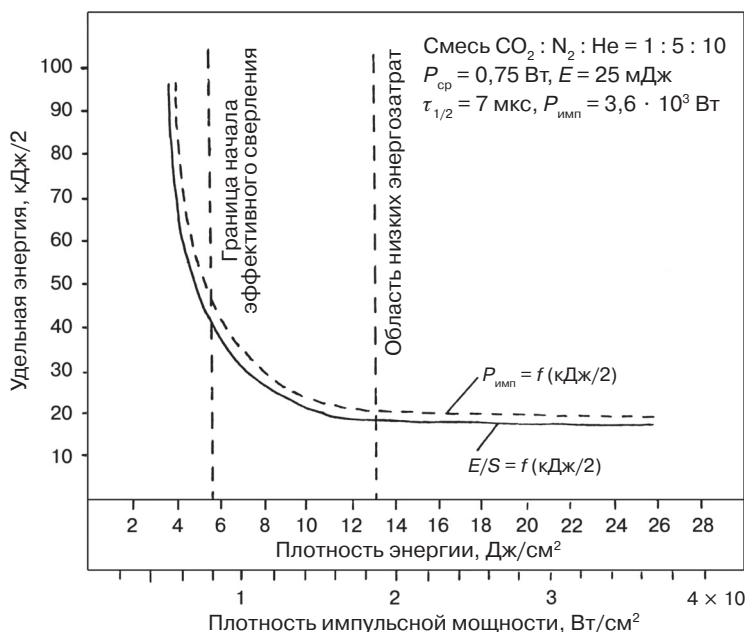


Рис. 1.8. Влияние температуры на необратимое разрушение ткани



**Рис. 1.9.** Энергетические характеристики  $\text{CO}_2$ -лазерного излучения, влияющие на обработку кости

### *Преимущества и особенности лазерных операций перед традиционными методами лечения*

- При использовании лазерного излучения большой мощности происходит очень быстрое повышение температуры ткани в месте контакта лазерного луча с биотканью. Это приводит к эффекту обратимой денатурации белка (40–53 °С), дальнейшее повышение температур (55–63 °С) к необратимой деструкции белковых структур. Повышение температуры от 63 до 100 °С приводит к коагуляции, а от 100 °С и более к испарению и карбонизации биоткани.
- Операция, проводимая бесконтактным методом, обеспечивает ярко выраженное гемостатическое действие. Воздействие осуществляется практически бескровно или с минимальной кровопотерей, что упрощает ее выполнение и сопровождается незначительной травматизацией окружающих тканей.
- Глубина проникновения излучения лазера в ткани зависит от времени воздействия и степени гидратации ткани. Чем выше гидрофильность, тем глубина проникновения меньше, и наоборот, чем меньше степень гидратации ткани, тем глубже проникает излучение. При импульсном лазерном излучении биоткань не прогревается на необходимую глубину в результате значительного поверхностного поглощения, и поэтому испарения не происходит, а имеет место только коагуляция. При длительном воздействии после обугливания изменяются параметры поглощения ткани и начинается испарение.

В лазерной хирургии используется высокоинтенсивное лазерное излучение (ВИЛИ), которое получают с помощью  $\text{CO}_2$ , Ег:YAG-лазера и аргонового лазера.

Лазерные хирургические инструменты обладают высокой точностью и аккуратностью производимого деструктивного действия на оперируемые органы и ткани. Это актуально и подчас является всегда недостающим звеном в ключевых этапах операций, особенно операций, производимых на тканях и органах с интенсивным кровоснабжением, для того чтобы вызывать коагуляцию фронта деструкции и избегать кровоизлияния. Также применение лазерного скальпеля обеспечивает абсолютную стерильность операции. Здесь можно привести медицинские комплексы «Скальпель-1», «Калина», «Разбор», «Ланцет-1» – модели CO<sub>2</sub>-лазера, предназначенные для проведения хирургических операций в различных областях медицинской практики. Лазерные хирургические аппараты являются универсальным режущим средством и могут быть использованы на ключевых этапах хирургических вмешательств. Показаниями к применению лазерного излучения во время операции служат: необходимость проведения операций на обильно кровоснабжаемых органах, когда требуется полный гемостаз, а его выполнение обычными способами сопровождается большой кровопотерей; необходимость стерилизации гнойных ран и профилактики возможного микробного загрязнения чистых операционных ран (это обстоятельство чрезвычайно важно в регионах с тропическим климатом); необходимость прецизионной техники оперативных вмешательств; оперативные вмешательства у больных с нарушением свертывания крови.

Универсальных режимов лазерного воздействия на различные ткани не существует. Поэтому подбор оптимальных параметров и режимов воздействия осуществляется хирургом самостоятельно на основе базовых методик применения лазерных хирургических установок в медицинской практике. Для хирургической обработки указанные методики разработаны сотрудниками Российского государственного научного центра лазерной медицины и ММА им. И.М. Сеченова, Тверской медицинской академии на основе обобщения клинического опыта в различных областях медицины: в хирургической стоматологии и челюстно-лицевой хирургии, абдоминальной хирургии, хирургии легких и плевры, пластической хирургии, косметологии, гнойной хирургии, ожоговой хирургии, хирургии аноректальной области, гинекологии, урологии, отоларингологии.

Характер взаимодействия лазерного излучения с биологической тканью зависит от плотности мощности лазерного излучения и от времени взаимодействия. Скорость разреза тканей лазерным лучом на разных этапах операции подбирается хирургом опытным путем в зависимости от вида ткани и желаемого качества разреза при выбранных параметрах лазерного излучения. Замедление скорости разреза может привести к увеличению карбонизации тканей и образованию глубокой зоны коагуляции. В суперимпульсном режиме и особенно в импульсно-периодическом режиме карбонизация и некроз, связанные с перегревом окружающих тканей, практически исключены при любой скорости движения лазерного луча. Приведем основные характеристики используемых в медицинской практике аппаратов. Длина волны излучения – 10,6 мкм. Выходная мощность излучения (регулируемая) – 0,1–50 Вт. Мощность в режиме «медимпульс» – 50 Вт. Плотность мощности лазерного облучения сверху ограничена условно величиной 50–150 Вт/см<sup>2</sup> для импульсных лазеров и величиной 10 Вт/см<sup>2</sup> для лазеров непрерывного действия. Диаметр лазерного луча на ткани (переключаемый) – 200; 300; 500 мкм. Наведение основно-

го излучения лучом диодного лазера – 2 мВт, 635 нм. Режимы излучения (переключаемые) – непрерывный, импульсно-периодический, медимпульс. Время экспозиции излучения (регулируемое) – 0,1–25 мин. Длительность импульса излучения в импульсно-периодическом режиме (регулируемая) – 0,05–1,0 с. Длительность паузы между импульсами – 0,05–1,0 с. Пульт управления выносной. Включение и выключение излучения – ножная педаль. Удаление продуктов сгорания – система эвакуации дыма. Радиус операционного пространства – до 1200 мм. Система охлаждения – автономная, воздушно-жидкостного типа. Размещение в операционной напольное или настольное. Электропитание (переменный ток) – 220 В, 50 Гц, 600 Вт. Габаритные размеры, масса варьируют. Как можно заметить, основным отличием лазера для хирургии от остальных медицинских лазеров является высокая мощность излучения, особенно в импульсе. Это необходимо, чтобы за время действия импульса тканевое вещество успело поглотить излучение, разогреться и испариться в окружающее воздушное пространство. В основном все хирургические лазеры работают в средней инфракрасной области оптического диапазона.

Для проведения операций в мобильном варианте подходит ЛМ-10 – лазерный хирургический аппарат «Лазермед» – последнее достижение в области лазерной техники. Построенный на основе полупроводниковых лазеров, излучающих на длине волны 1,06 мкм, аппарат отличается высокой надежностью, малыми габаритными размерами и весом. Выходная мощность излучения – 0–7(10) Вт, габариты в упакованном состоянии 470 × 350 × 120 мм, масса не более 8 кг. Этот аппарат выполнен в виде чемодана, который в случае необходимости можно трансформировать в рабочее положение.

Также среди продукции других отечественных фирм-производителей можно указать следующие хирургические комплексы: АЛОД-01-АЛКОМ «Хирург» (хирургический лазерный аппарат ближнего ИК-диапазона с регулируемой мощностью излучения). Предлагается 5 модификаций, отличающихся максимальной мощностью лазерного излучения, – 6 Вт, 9 Вт, 12 Вт, 15 Вт, 30 Вт. Используются для ПТТ-терапии (коагуляции, удаления новообразований, разрезания тканей), установки на основе углекислотного, YAG-неодимового (общая хирургия) и аргонового (офтальмология) лазера компании, а также многие другие на основе как газовых, так и твердотельных и полупроводниковых активных сред.

Существуют многие зарубежные и отечественные аналоги, принципы использования которых аналогичны вышеизложенным.

## ***1.2.2. Применение НИЛИ в терапии (общие принципы)<sup>1</sup>***

### ***1.2.2.1. Применение НИЛИ в качестве физиотерапевтического фактора***

В результате кропотливого труда ученых описаны биологические эффекты низкоинтенсивного лазерного излучения (НИЛИ), которые имеют большое значение в практической медицине, так как в отличие от лазерного излучения высокой

<sup>1</sup> Подробнее см.: Александров М.Т. Лазерная клиническая биофотометрия (теория, эксперимент, практика). М.: Техносфера, 2008. – 584 с.



мощности НИЛИ не повреждает ткани организма. Оно эффективно применяется для лечения нескольких сот наименований болезней и клинических синдромов в виде монотерапии или в качестве одного из важных компонентов комплексной терапии. Не менее значительна роль этой технологии для профилактических целей. Возможности ее в этом направлении неисчерпаемы. Широта терапевтического и профилактического спектра объясняется уникальной способностью низких, «субпороговых» доз лазерного излучения инициировать угнетенные биохимические процессы с последующей их мягкой и плавной коррекцией. Вторым уникальным свойством является вызванная НЛТ взаимосвязь местных и интегральных эффектов: при локальном облучении идентичные изменения отмечаются в отдаленных от места воздействия участках и, наоборот, при общем облучении (например, через кровь) возможна коррекция локальных изменений.

НЛТ совместима со всеми методами лечения, потенцируя при этом их действие. Комплексное применение НЛТ с медикаментозной терапией снижает потребление медикаментов в 2–3 раза за счет активации рецепторного аппарата. В настоящее время НЛТ используется практически во всех областях медицины.

**Основное показание — целесообразность применения**, в частности:

- болевые синдромы нейрогенного и органического характера;
- нарушение микроциркуляции;
- нарушение иммунного статуса;
- сенсбилизация организма к лекарствам, аллергические проявления;
- заболевания воспалительного характера;
- необходимость стимулирования репаративных и регенеративных процессов в тканях;
- необходимость стимулирования систем регуляции гомеостаза;
- использование в качестве симптоматического, триггерного, патогенетического и этиотропного фактора воздействия.

**Терапия, в том числе терапевтическая стоматология:** ишемическая болезнь сердца, стенокардия покоя и напряжения, постинфарктный кардиосклероз. Гипертоническая болезнь, вегето-сосудистая дистония, заболевания органов желудочно-кишечного тракта, заболевания суставов, пародонтит, стоматиты.

**Хирургия, в том числе хирургическая стоматология:** раны, ожоги, обморожения, переломы костей, травматические повреждения внутренних органов; инфильтраты, гнойные заболевания мягких тканей и костей, проктиты, парапроктиты, трещины прямой кишки, фурункулы, карбункулы, флегмоны; флебит, тромбоз, облитерирующий эндартериит, трофические язвы, геморрой, лимфадениты, пяточные шпоры.

**Эндокринология:** тиреоидит, сахарный диабет, эндокринопатии.

**Неврология, в том числе нейростоматология:** остеохондроз, радикулиты, шейно-плечевой синдром; невриты и невралгии различной локализации; неврозы, болезнь Паркинсона, рассеянный склероз.

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 (местные и общие, специфические и неспецифические факторы иммунитета). Важное значение придается воздействию на систему микроциркуляции и свертывающую систему крови, клеточную пролиферацию, триггерным рефлекторным реакциям.

#### 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 (препятствует размножению микроорганизмов в ране) и фунгицидное действие. По литературным данным, 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 абсцессы, флегмоны, артриты, дерматозы и др.

#### 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. Как показали исследования Г.Е. Брилли и соавторов, 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

В последнее время доказано, что при различных острых и хронических 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.

Лазерное излучение воспринимают фотоакцепторы или, проще говоря, особые чувствительные молекулы, участвующие в поддержании равновесия внутри каждой клетки человека. После взаимодействия лазерного излучения и чувствительной молекулы в клетке активизируется обмен веществ и энергии, что дает ей возможность полноценно выполнять свои функции, а на определенном этапе развития делиться с образованием здорового потомства. Важность этих процессов переоценить невозможно, так как клетки являются строительным материалом организма и его основными функциональными единицами.

Ярким примером влияния низкоинтенсивного лазерного излучения на патологический процесс является его противовоспалительный эффект. При этом запускаются и процессы «починки» поврежденных клеточных структур, поэтому поврежденная ткань может раньше вернуться к выполнению своих функций.

Последнее обстоятельство объясняет положительное влияние НИЛИ на заживление язвенных дефектов, травматических и ожоговых повреждений кожи и слизистых оболочек. В настоящее время описанные эффекты широко используются в медицинской практике в лечении трофических язв, язвенной болезни желудка и двенадцатиперстной кишки, ожогов, гнойных ран, пиодермии (фолликулиты, фурункулы, импетиго, угревая болезнь, стрептостафилодермии, шанкриформная пиодермия), аллергодерматозов (истинная экзема, микробная экзема, атопический дерматит, крапивница). Также НИЛИ используется при дерматитах, 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.).

Ни для кого не секрет, насколько важна функция нервной системы как центрального координатора работы всех внутренних органов. Нарушение центральной регуляции играет важную роль в развитии таких широко распространенных заболеваний, как бронхиальная астма, псориаз, нейродермит, язвенная болезнь желудка и двенадцатиперстной кишки, вегето-сосудистая дистония.

НИЛИ за счет рефлекторного воздействия на нервные окончания и активации синтеза биологически активных веществ (триггерное воздействие) восстанавливает равновесие внутри нервной и эндокринной систем и способствует восста-

новлению их функции, что благоприятно отражается на течении хронических заболеваний.

Одним из опаснейших моментов в течении хронических воспалительных заболеваний является изменение структуры пораженной ткани, или дисплазия. В очаге хронического воспаления повышается количество неполноценных клеток, на каком-то этапе организм теряет контроль над их размножением и формируются предпосылки злокачественного заболевания. НИЛИ предотвращает прогрессирование процесса и в большом проценте случаев способствует нормализации изменений в тканях на фоне хронического воспаления, что с успехом применяется при лечении предраковых заболеваний женской половой сферы, желудочно-кишечного тракта и дыхательных путей.

В настоящее время накоплен большой фактический материал о практическом отсутствии токсического и канцерогенного действия НИЛИ (при соблюдении правил онкологической осторожности и учете признаков озлокачествления и развития опухолей), более того, стало известно о его способности защищать организм от вредных факторов, например от ионизирующей радиации. НИЛИ повышает эффективность действия таких лекарств, как антибиотики, анальгетики, успокаивающие и снотворные препараты.

Несмотря на большое количество полезных эффектов, онкологические заболевания долгое время являлись противопоказанием к использованию НИЛИ. Это объяснялось недостаточным количеством данных о влиянии НИЛИ на опухолевый рост.

Необходимо подчеркнуть, что воздействие НИЛИ непосредственно на опухоль до настоящего времени допускается только в опытах на животных, в клинической медицине оно не применяется. Однако результаты большого количества исследований свидетельствуют, что при правильном применении НИЛИ не только не ухудшает результаты лекарственного, лучевого и оперативного лечения онкологических больных, но в определенных случаях способствует увеличению числа выздоровевших.

Одним из основных свойств опухоли является быстрый неконтролируемый рост, поэтому для лечения злокачественных новообразований применяются лекарственные средства, подавляющие размножение клеток. К сожалению, эти препараты не обладают избирательным действием и поражают также нормальные структуры организма (слизистую желудочно-кишечного тракта, волосяные фолликулы, клетки кроветворения и иммунитета, репродуктивной системы), которые обновляются в течение короткого промежутка времени.

Пример: в настоящее время в НИИ детской онкологии и гематологии широко применяется низкоинтенсивная лазерная терапия в лечении стоматитов, воспалительных процессов в носоглотке, флебитов, длительно незаживающих послеоперационных ран. Повреждение слизистой оболочки полости рта и желудочно-кишечного тракта — серьезная проблема для детей, получающих химиотерапевтическое лечение. Слизистая оболочка полости рта при стоматите болезненна, на ней образуются дефекты разных размеров и глубины, что ограничивает или делает совсем невозможным прием пищи. В тяжелых случаях требуется перерыв в противоопухолевой терапии. В лечении стоматитов применялись и применяются по-

лоскания из отваров трав, растворов лекарственных препаратов, однако эти средства не решают проблему в достаточной степени. Как правило, эффект от такого вида лечения отмечается на 7–10-й день. На это время противоопухолевое лечение прекращается.

При использовании НИЛИ отмечается хороший эффект уже после 3–4 сеансов лечения: стихает боль, уменьшается отек, исчезают признаки инфекционного процесса, улучшается самочувствие.

Как и при лечении стоматитов, быстрое улучшение наблюдается и в случаях использования НИЛИ при флебитах после введения химиопрепаратов, отеке и гибели тканей при попадании лекарств под кожу. При немедленном обращении достаточно 2–3 процедур, чтобы полностью снять боль, отек, местное повышение температуры. Большое значение имеет возможность использования НИЛИ с целью ускорения заживления послеоперационных ран. Сроки полного заживления ран сокращаются практически в два раза, рана очищается от гноя после 3–4 сеансов лазеротерапии. Своевременное и быстрое лечение осложнений с помощью НИЛИ позволяет точно соблюдать режим лекарственного и хирургического лечения, в большем числе случаев избегать назначения противовоспалительных лекарственных препаратов и анальгетиков, улучшает качество жизни пациентов в процессе лечения.

Большой интерес представляет взаимодействие лазерного излучения и лучевой терапии, также используемой при лечении злокачественных заболеваний. Помимо борьбы с осложнениями, требующими зачастую уменьшения дозы лучевой терапии или даже перерыва в лечении, НИЛИ повышает эффективность лучевой терапии. В последнее время появились наблюдения, в которых отмечено, что при сочетанном применении этих методов сокращаются сроки уменьшения размеров новообразования.

Одно из новых перспективных направлений – использование НИЛИ с целью стимуляции кровотока, лечения токсических поражений печени в процессе химиотерапии, коррекции иммунитета методом чрескожного лазерного облучения крови. Внутрисосудистое лазерное облучение крови уже показало высокую эффективность в лечении панкреатитов, перитонитов, генерализованных инфекционных процессов.

К сожалению, это достаточно трудоемкий метод. Он заключается в подведении лазерного излучения через специальный световод в просвет поверхностно расположенных вен, например в области локтевого сгиба. Методика требует использования одноразовых световодов, работы в стерильных условиях с целью предотвращения распространения инфекций, что повышает стоимость лечения. Вместе с тем глубина проникновения НИЛИ в ткани позволяет производить облучение крови, устанавливая излучатель над крупными венозными сосудами, т.е. через кожу.

Имеющиеся данные позволяют надеяться, что со временем этот метод займет прочное место в профилактике одного из самых тяжелых осложнений химиотерапии – ухудшения показателей крови.

В зависимости от нозологии эффективность НЛТ такова.

**Высокий эффект** – реактивный кардит, тонзиллокардиальный синдром, аллергический ринит, реактивный артрит, компенсированный тонзиллит, язвенная

болезнь двенадцатиперстной кишки, бронхиты, стенокардия напряжения I–II ФК, хронические некалькулезные холециститы, панкреатит и др.

**Хороший эффект** – гипертоническая болезнь, стенокардия напряжения III ФК, бронхиальная астма, остеохондроз, артрозы, псориаз, невриты, трофические язвы, осложнения сахарного диабета, хронический гайморит, неспецифический язвенный колит, тиреоидит.

**Удовлетворительный эффект** – эндартериит, артрозо-артрит, хронический колит, стенокардия напряжения III–IV ФК, герпес.

**Без эффекта** – декомпенсированная стадия заболеваний.

В заключение необходимо заметить, что низкоинтенсивная лазерная терапия является самостоятельным, альтернативным способом лечения или используется в комплексном лечении. Несмотря на большое разнообразие клинических эффектов и отсутствие абсолютных противопоказаний, НИЛИ не рассматривается как метод, заменяющий другие лечебные мероприятия. Задача состоит в том, чтобы на основании современных медико-биологических и технических разработок и достижений медицинской науки и практики повысить эффективность лечения основного заболевания и снизить до минимума побочные эффекты. И одним из эффективных вариантов решения этой задачи является использование низкоинтенсивного лазерного излучения.

### 1.3. Эффективность лечения и селективность применения спектрально-энергетических параметров лазерного излучения (общие принципы)

Основными факторами, обеспечивающими эффективное лечение, являются возможность пространственной локализации при низкой интенсивности апплицируемого света и селективность субстанций для воздействия, выбираемые подбором длины волны данного монохроматического излучения и системой фокусировки. Лечение терапевтическими лазерами методологически поддержано концепцией селективного фототермолиза, предложенной Р. Андерсоном (R.R. Anderson) и Дж. Пэрришем (J.A. Parrish) в 1981 году. Эта концепция на сегодняшний день является общепринятой. Согласно концепции селективного фототермолиза, если лазерное излучение обладает определенными характеристиками, то оно способно воздействовать на компоненты ткани избирательно. Это воздействие является точным, как в микрохирургии. В качестве примера можно привести аппаратуру для терапии фирмы «Биотон»: «Яхрома-Мед» (хирургический лазер для косметологии). Это медицинская установка на основе лазера на парах меди. Излучает две волны – зеленую и желтую. Излучение импульсное – лазерный свет излучается импульсами по 20 нс ( $20 \times 10^9$  с), между импульсами интервалы порядка 100 мкс ( $100 \times 10^6$  с). Человеческий глаз воспринимает такое излучение как непрерывное, однако микроструктуры биологических тканей воспринимают такое излучение как импульсное. «Яхрома-Мед» имеет механический затвор, перекрывающий лазерный луч, так что экспозиция может быть выбрана 100, 200, 300 и т.д. мс ( $100 \times 10^3$  с). Используя

светофильтры, можно работать желтой длиной волны, зеленой или обеими вместе. Лазерный луч фокусируется в световое пятно диаметром 1 мм. Для работы применяется насадка, обеспечивающая фиксацию кожи (в дерматологии и эстетической хирургии), а также постоянство плотности мощности лазерного излучения. «Яхрома-Мед» управляется ножной педалью. Технические характеристики лазера: длина волны 511 и 578 нм, мощность излучения > 3 Вт, частота импульсов 16 кГц, длительность импульсов 15 нс, выбор времени экспозиции 0,1...9,9 с, время выхода на рабочий режим 30 мин, питание 220 В/50 Гц/1,6 кВт, охлаждение воздушное.

Особенности:

- Лазерное излучение с такими параметрами способно проникать под эпидермис, не разрушая его.
- Желтая длина волны (578 нм) совпадает с пиком поглощения гемоглобина, поэтому сильно поглощается гемоглобином и заметно меньше поглощается другими тканями.
- Зеленая длина волны (511 нм) хорошо поглощается меланином.
- Излучение лазера на парах меди почти не поглощается водой.
- Фокусировка лазерного луча в маленькое пятно позволяет ограничивать область воздействия патологическим участком, избегая облучения нормальной ткани.
- Импульсный характер излучения и лазерный затвор позволяют дозировать поглощенную энергию и избегать перегрева.

Таким образом, «Яхрома-Мед» позволяет выполнять селективное удаление патологий кожи без повреждения окружающей ткани, что чрезвычайно важно, например, для операций, проводимых на лице.

Другим примером лазерной медицинской установки терапевтического назначения является комплекс «Мультилайн» фирмы LinLine GmbH. Он представлен переносным корпусом напольного монтажа со сменными лазерными насадками. В зависимости от типа лазера и активной среды комплекс может быть использован в косметологии, эстетической медицине, сосудистой и эндокорпоральной хирургии. Технические характеристики для разных активных сред (активная среда: длина волны излучения, плотность энергии): Nd:YAP/KTP Q-Sw (540/1079 нм, 0,1–62 Дж/см<sup>2</sup>), RUBY (694 нм, 3–62 Дж/см<sup>2</sup>), Alex (755 нм, 0,3–250 Дж/см<sup>2</sup>), Nd:YAP long pulse (1079 нм, до 142 Дж/см<sup>2</sup>) и т.д. Этот аппарат является революционным с точки зрения функциональности и эргономичности. В данном приборе реализовано новое решение проблемы передачи излучения с высокими плотностями энергии к оперируемому участку тканей, заключающееся в размещении компактных твердотельных лазерных излучателей внутри наконечника самого манипулятора, что обеспечивает малые потери, высокую точность и длительную эксплуатацию прибора.

Для оказания терапевтического действия достаточна доза лазерного излучения 50–100 Дж/см<sup>2</sup>. Эта доза должна достигаться с помощью пучка сравнительно небольшой интенсивности – 1–200 мВт/см<sup>2</sup> (1–25 мВт/см<sup>2</sup> – хронические воспалительные процессы, 100–200 мВт/см<sup>2</sup> – острые). Все импульсные и импульсно-

периодические терапевтические лазеры должны быть рассчитаны (исходя из средней мощности излучения) на такую плотность мощности, для терапевтических лазеров непрерывного действия допускается плотность мощности на порядок меньше.

В последнее время все шире применяются полупроводниковые (диодные) лазеры. Активной средой этих лазеров чаще всего является кристалл арсенида галлия (GaAs) с добавками алюминия и других элементов. Малые габариты, низкие напряжения, широкий диапазон длин волн излучения и мощностей, возможность прямой модуляции излучения — все это позволяет говорить о том, что диодные лазеры вне конкуренции среди других типов, в частности газовых. При ряде патологических процессов оказывается эффективнее воздействие лазерным излучением в видимом (красный, зеленый, синий) спектральном диапазоне, а иногда в ближнем инфракрасном диапазоне (от 0,78 до 1,3 мкм). Импульсные диодные лазеры с различными длинами волн излучения генерируют наносекундные импульсы пиковой мощностью 1–100 Вт и показывают лучшую эффективность лечения, чем непрерывные лазеры. Именно диодные лазеры (импульсные и непрерывные) позволили создать систему выносных излучающих головок и реализовать в полной мере блочный принцип построения аппаратуры для лазерной терапии. Перечень таких аппаратов довольно широк, например аппараты лазерные терапевтические «Матрикс» фирмы «Биотон». Аппараты лазерные терапии нового поколения «Матрикс» имеют следующие технические характеристики: 2 или 4 независимых канала для подключения лазерных и светодиодных излучающих головок, возможность измерения импульсной и средней мощности излучения лазерных головок с длиной волны от 0,63 до 0,96 мкм, высокая эффективность лечения благодаря более точному обеспечению параметров воздействия, возможность внешней модуляции излучения, в том числе БИО, соответствие европейским стандартам, наличие защиты от несанкционированного использования; возможность работы непрерывных излучателей и в модулированном режиме позволяет работать с непрерывным, импульсным и модулированным лазерным излучением в широком диапазоне длин волн, а также в режиме внешней модуляции. Также можно привести аппарат лазерный терапевтический «Муравей» той же фирмы. АЛТ «Муравей» — портативный аппарат с автономным питанием. Используется, как правило, персонально пациентом или врачом в полевых условиях. Аппарат лазерный терапевтический «Матрикс-ВЛОК» для внутривенного лазерного облучения крови — специализированный аппарат, предназначенный для внутривенного лазерного облучения крови (ВЛОК). К АЛТ «Матрикс-ВЛОК» также можно подключить излучающую головку, имеющую аналогичное назначение (КЛ-ВЛОК), и проводить ВЛОК. Применение стерильных одноразовых световодов с иглой ОС-2 (КИВЛ-01) делает процедуру ВЛОК комфортной и абсолютно безопасной.

Для лазеров, имеющих селективное воздействие на определенные участки кожных тканей, были разработаны методы терапии послехирургических рубцов и эритем. Одним из аппаратурных решений явилась установка FRAXEL SR 1500 компании Reliant. Метод терапии на основе подобных терапевтических комплексов получил название фракционного фототермолиза. Длина волны 1550 нм, ис-



пользуемая в методе фракционного фототермолиза, настроена на воду, содержащуюся в тканях, а не на меланин. Поэтому метод может применяться на пациентах с любым цветом кожи. Поскольку фракционный фототермолиз формирует микро-термальные лечебные зоны или зоны фотокоагуляции, окруженные неповрежденными тканями, эпидермальное восстановление происходит благодаря малому объему повреждения и короткому расстоянию миграции кератиноцитов [24]. Более того, во время воздействия лазером с длиной волны 1550 нм роговой слой остается неповрежденным, поскольку в нем содержится относительно меньшее количество воды, и это значительно сокращает риск инфекции. Длина волны в 1550 нм позволяет проникнуть свету в кожу приблизительно на 100 мкм ( $\mu a \approx 9,6 \text{ см}^{-1}$  в воде и в крови), что делает возможным проведение фототермолиза в глубоко расположенных кровеносных сосудах и дает потенциальное преимущество по сравнению с импульсным лазером на красителе, луч которого не может проникать на достаточную глубину. Кроме того, «фракционный» лазер или лазер, подающий микролучи, позволяет избежать массового нагревания дермы, что является обычным явлением для традиционного импульсного лазера, работающего в средней ИК-области спектра. При импульсе в 8 мДж и плотности в 2000 МЛЗ/см<sup>2</sup> нагревается всего около 15% обрабатываемой зоны. Это сокращает риск необратимого неспецифического термического повреждения дермы, которое может ухудшить рубцевание. Размеры кровеносных сосудов в гипертрофических рубцах варьируют от 3,3 до 14,6 мкм, в то время как средний размер испускаемого из лазера микролуча при фракционном фототермолизе имеет диаметр 100 мкм. Поэтому микролуч имеет достаточную ширину для разрушения отдельных кровеносных сосудов в гипертрофических рубцах. Последнее является уникальной особенностью фракционного фототермолиза в лечении гипертрофических рубцов: с одной стороны, термическое повреждение мало, поэтому восстановление нормальной ткани идет очень быстро; с другой стороны, термическое повреждение достаточно для полного разрушения отдельных кровеносных сосудов. Эта особенность продемонстрирована гистологическими результатами последних клинических исследований, в которых изучалось прямое повреждение сосудов дермы под действием фракционного фототермолиза. Таким образом, правильный выбор длины волны терапевтического излучения позволяет достичь желаемых результатов без существенных побочных эффектов. Регулируя длину оптической фокусировки и/или энергию луча, можно достичь высокой экспозиции энергии. Следовательно, различные компоненты кожи (например, кровеносные сосуды, дермальный меланин и сальные железы) могут произвольно выбираться в качестве целей для воздействия фототермолиза в кожу на различной глубине. При соответствующей плотности лазерного зайчика может быть достигнуто эффективное макроскопическое лечение.

Последние клинические исследования фракционного фототермолиза хирургических рубцов показывают, что улучшение текстуры кожи может быть достигнуто при проведении от 4 до 5 лечебных сеансов. В данном исследовании более 75% положительного клинического эффекта было получено после одного сеанса лечения. Это позволяет предложить фракционный фототермолиз в качестве потенциально эффективного и безопасного метода лечения хирургических рубцов.

Среди других комплексов для проведения фракционного фототермолиза можно указать следующий, называемый Multiline (технология Realfractional™). Он при терапии создает настолько маленькие микроканалы, что кожа визуально остается неповрежденной — человеческий глаз не замечает такие точки. При этом в процесс регенерации вовлекается большая часть кожи, так как точек огромное количество и расстояние между ними очень маленькое.

Известно много зарубежных компаний, производящих полупроводниковые лазерные установки для проведения низкоинтенсивной лазерной терапии: Guilin Kangxing Medical Instrument Co., Ltd., USAF's Philips Laboratory, ATC — semiconductor devices, Quintessence Photonics Corporation и т.д. Кроме того, в продукции данных компаний присутствуют лазерные аппараты для хирургического применения с более высокими плотностями энергии в импульсах.

Показаниями для применения установок для лазерной терапии дополнительно являются: телеангиэктазии лица и ног, «винные пятна», гемангиомы, лентиги, «кофейные пятна», цветные татуировки, послеоперационные телеангиэктазии, шрамы с сосудистой составляющей, послеоперационные гиперпигментации, ВПЧ, бородавки, другие пигментные и неокрашенные патологии, акне, морщины.

Крупным направлением в лазерной терапии является комплекс разработок низкоинтенсивных лазерных установок в сочетании со светочувствительными и фотоактивными препаратами, называемыми фотосенсибилизаторами. Фотодинамическая терапия (ФДТ) злокачественных опухолей переживает сегодня в мире бурное развитие, являясь принципиально новым методом в их лечении, основанным на способности фотосенсибилизаторов селективно накапливаться в ткани опухолей и при локальном воздействии лазерного облучения определенной волны генерировать синглетный кислород или кислородсодержащие свободные радикалы, которые вызывают гибель опухолевых клеток. Метод ФДТ выгодно отличается от традиционной лучевой и лекарственной терапии рака высокой избирательностью поражения опухолевой ткани, отсутствием тяжелых местных и системных осложнений и возможностью повторения лечебной процедуры. Также достоинство метода — возможность сочетания в одной процедуре лечения и флуоресцентной диагностики (ФД) опухолевого процесса. ФДТ — одно из немногих направлений в медицине, где российская наука является конкурентоспособной. Диапазон лазерных установок, применяемых для проведения ФДТ по характеристикам генерируемого излучения широк.

Основным требованием для лазерного излучения аппаратов фотодинамической терапии является непрерывный режим работы и более длительная экспозиция с большей дозой радиации по сравнению с терапевтическими лазерами иного назначения.

Уникальными и результативными по своей сути являются терапевтические ультрафиолетовые лазерные установки для лечения тяжелых заболевания микробной этиологии. Применение для лечения жесткого излучения позволяет добиться существенных результатов. Для примера можно привести следующие. Установка для лазерной терапии кавернозных форм туберкулеза «Альмицин». Для лечения больных хроническим прогрессирующим фиброзно-кавернозным туберкулезом легких был применен метод местного воздействия на каверну, который заключается в транс-

торакальной пункции или дренировании каверны с последующим эндокавитарным облучением с помощью специально созданной для этих целей ультрафиолетовой установки «Альмицин» с длиной волны 0,34 мкм. Основным показанием для применения этой методики является прогрессирующий ограниченный или распространенный фиброзно-кавернозный туберкулез при наличии большой или гигантской каверны, которая является основным звеном процесса. В результате проведенного лечения установлено, что у 77,4% больных отмечена положительная клинико-рентгенологическая динамика. Положительная клиническая и лабораторная динамика у указанных больных заключалась в быстрой (1,52 нед.) нормализации температурной реакции организма, прекращении или уменьшении интенсивности кашля, уменьшении количества выделяемой мокроты, улучшении показателей гемограммы и белков крови, стимуляции клеточного иммунитета, улучшении капиллярного кровотока в легких, что способствует лучшему транспорту химиопрепаратов в очаг туберкулезного поражения. Также существует установка, работающая на другой длине волны жесткого излучения, — лазерная медицинская установка «Мария» с длиной волны 248 нм, предназначенная для лечения кавернозных и фиброзно-кавернозных форм туберкулеза и других заболеваний легких и бронхов. Уникальной особенностью лазерной технологии лечения туберкулеза является эффективное подавление жизнедеятельности различных микроорганизмов — возбудителей заболеваний (включая *Mycobacterium tuberculosis*), в том числе устойчивых к антибактериальным препаратам. Комплексное воздействие лазерного облучения в ультрафиолетовом спектре и лекарственных препаратов позволяет достичь хороших результатов в случаях, когда лекарственная терапия неэффективна. Использование ультрафиолетового эксимерного лазера «Мария» для эндобронхиальной санации делает возможным эффективное лечение неспецифических эндобронхитов, сопровождающих разнообразные заболевания легких, наиболее распространенными из которых являются хронический обструктивный бронхит, хронический необструктивный бронхит, хроническая пневмония, туберкулез легких. Эффективным является и применение этой установки для лечения туберкулеза бронхов. Также хорошие результаты были получены при использовании этих установок в дерматокосметологии.

Нормами дозировки для ультрафиолетовой лазерной терапии сейчас являются необщепринятые пока цифры 0,1–5 Вт/см<sup>2</sup>. Мощность установок такая же, что и для лазеров и инфракрасного диапазона, — не более 10 Вт/см<sup>2</sup>.

Кроме установок для острого терапевтического или хирургического назначения, можно еще выделить группу аппаратных лазерных комплексов для лечения и оздоровления биостимулирующим эффектом. Эти лазеры оказывают так называемое биостимулирующее действие на органы и ткани. Например, такое воздействие при помощи He-Ne-лазера при оптимизированных дозах приводит к увеличению скорости заживления ран в 2 или большее число раз. Молекулярный механизм такого воздействия еще не до конца изучен, но перспективы применения этого эффекта весьма заманчивы. Так, на рынке сейчас представлена серия биостимулирующих лазеров Medio Laser фирмы Iskra Medical. Прототип серии представляет собой биостимулирующий лазер непрерывного действия GaAlAs. Он имеет несколько излучателей лазерного света различной длины — 650 нм, 780 нм,

810 нм; различной исходной мощности — 10 мВт, 20 мВт, 30 мВт, 50 мВт, 100 мВт или 200 мВт. В комплексе с установкой возможно применение лазерного душа и/или лазерного сканера на одном аппарате. Он предназначен для лечения заболеваний на поверхности кожи или терапии более глубоко пораженных тканей и существенно сокращает продолжительность обычной терапии.

#### **1.4. Применение НИЛИ в качестве биофотометрического фактора (лечебно-диагностического) – лазерная клиническая биофотометрия (общие принципы)<sup>1</sup>**

Клинические методы контроля являются хотя определяющими, но субъективными. Поэтому на практике все более широкое применение находят современные методы лабораторной и инструментальной диагностики, которые в то же время не конкурируют с традиционной клинической диагностикой, а дополняют и активизируют ее. Эти методы делают возможной объективизацию клинических наблюдений, что обеспечивает их сопоставимость.

С разработкой оптических квантовых генераторов-лазеров они широко начали использоваться в медицине не только в лечении, но и для диагностики.

В настоящее время в хирургической стоматологической практике используется метод биофотометрической диагностики, который основан на измерении потока поглощения отраженной энергии лазерного излучения в биологической ткани и его конверсии в ней. Метод достаточно информативен и позволяет исходя из оптических характеристик тканей, подвергаемых лазерному воздействию, оценивать происходящие в них в процессе лечения динамические структурно-функциональные изменения в реальном масштабе времени. Кроме того, этот метод позволяет в процессе лазеротерапии строго дозировать используемое излучение.

Необходимо заметить, что существующие в настоящее время методы регистрации отраженного от биологического объекта сигнала, как правило, не учитывают того, что рассеивание излучения происходит в некотором объеме биологических тканей.

Возможность использования биофотометрической информации в качестве диагностики определяется следующими характерными для биологического объекта особенностями человеческого организма:

- принцип симметрии позволяет в норме и патологии для оценки состояния любой из симметричных областей в качестве эталона использовать одну из них;
- живой организм во всем его многообразии непрерывно изменяет свои оптические характеристики, например вследствие изменения кровообращения, дыхания, воздействия температуры и других внешних и внутренних факторов. Поэтому проведение измерений в абсолютных величинах дает значительную величину вариабельности исследуемых показателей и погрешности измерений, что существенно затрудняет, а зачастую исключает выявление

<sup>1</sup> Подробнее см.: Александров М.Т. Лазерная клиническая биофотометрия (теория, эксперимент, практика). М.: Техносфера, 2008. — 584 с.

- общебиологических и индивидуальных особенностей биологического объекта в норме и при патологии;
- наличие патологических изменений исследуемого участка тканей влечет за собой изменение его оптических характеристик. В процессе выздоровления оптические характеристики постепенно восстанавливаются и при завершении процесса реабилитации становятся практически адекватными начальным, т.е. до заболевания;
  - поверхность биологического объекта, в том числе тканей человека, является диффузным отражателем.

Анализ оптических характеристик тканей человека при отсутствии патологических изменений и при наличии таковых позволяет выделить ряд полезных для клинической практики положений.

1. Оптические характеристики тканей различных анатомо-топографических областей неодинаковы.
2. Коэффициенты отражения тканей существенно зависят от длины волны источника излучения (в видимой области спектра).
3. Оптические характеристики интактных участков симметричных областей достоверно не различаются (с вероятностью 95%).
4. Нормированные оптические характеристики различных участков кожных покровов и слизистых оболочек, включая челюстно-лицевую область по отношению к реперу, являются стабильными, не зависят от длины волны лазерного излучения и в норме приближаются к единице, что позволяет использовать их в качестве эталона (объекта сравнения), т.е. сам пациент (вернее, его нормированные оптические характеристики для различных областей) является объектом сравнения по отношению к самому себе при возникновении в одной из симметричных областей патологического процесса (воспаление, неопластические процессы).
5. На основании изучения биофотометрических характеристик кожного покрова и слизистых оболочек человека в норме и при патологии и исходя из его анатомо-топографических и физиологических особенностей установлена закономерность, заключающаяся в том, что местный относительный показатель симметрии (например, оптический) для тканей, например, челюстно-лицевой области человека не зависит цвета кожи, пола, возраста, функционального состояния пациента при любых спектральных источниках излучения оптического диапазона, применяемых в биофотометрах, и в норме сохраняет свое постоянное значение, близкое к единице ( $0,96 \pm 0,05$ ), что, по-видимому, справедливо для всех людей до тех пор, пока не возникает патологический процесс в одной из симметричных областей (органов).
6. Лечение больного на основе представленной в пункте 5 концепции проводится до тех пор, пока измененный нормированный показатель симметрии (при патологии) не станет равным показателю  $0,96 \pm 0,05$ , что объективно характеризует индивидуально протекающий процесс реабилитации больного при использовании в комплексном лечении, например, низкоинтенсивного лазерного излучения.

7. Показатели обратного рассеивания биологического объекта (БО) характеризуют его плотность (концентрация частиц, например клеточная пролиферация) и степень кровенаполнения исследуемых тканей. Этот факт может быть использован в клинике для объективной характеристики функционального состояния БО в норме и при различных видах патологии (травма, воспаление, онкологические заболевания), в том числе для мониторинга, оценки эффективности лечения и выявления осложнений.
8. Разработанная биофотометрическая лечебно-диагностическая технология является универсальной, может найти применение в хирургии, терапии, дерматологии, стоматологии, онкологии и др., в том числе как для коррекции дозы облучения, так и для мониторинга и оценки течения и эффективности лечения указанной группы заболеваний, т.е. во всех тех случаях, когда по изменению оптических характеристик, наведенных каким-либо патологическим процессом и изменяющихся при мониторинге процесса реабилитации, возможно объективно оценить состояние больного, прогнозировать течение и оценивать эффективность лечения заболевания, т.е. процесс реабилитации в целом.
9. Актуальной задачей медицины и медицинского приборостроения является совершенствование представленных медицинских технологий, их освоение, сертификация и внедрение в широкую практику на благо здоровья населения и каждого больного в частности.

Основным **показанием** к лечебному и/или диагностическому применению лазерного излучения и лазерной медицинской техники является клиническая целесообразность стимуляции местных и общих, специфических и неспецифических реакций тканей организма и его систем с целью нормализации их гомеостатических характеристик на различном структурно-функциональном уровне, что в итоге обеспечивает объективный контроль реабилитации при различных заболеваниях, оценку течения и эффективности лечения, определение сроков выздоровления. В частности, к таким показаниям относят следующие.

1. Заболевания гнойно-воспалительного характера, требующие стимуляции репаративных процессов (травмы и воспалительные процессы вследствие воздействия различных физических, химических и биологических факторов), – противовоспалительное действие, стимуляция репаративных процессов.
2. Нарушение процессов эпителизации тканей – активация метаболизма клеток и повышение их функциональной активности.
3. Нарушение иммунного статуса (иммунокоррекция) – для повышения уровня трофического местного и общего иммунного статуса тканей органов и организма в целом.
4. Нарушение микроциркуляции – для повышения уровня трофического местного и общего уровня иммунного статуса тканей органов и организма в целом.
5. Необходимость предоперационной подготовки больных с целью повышения репаративных способностей тканей в послеоперационный период и профилактики осложнений.
6. Необходимость реабилитации тканей и органов с целью ускорения их органоспецифического и функционального восстановления (травмы, язвы, ожоги, дерматозы и др.) – стимуляция репаративных процессов.

7. Необходимость стимуляции триггерных механизмов нормализации гомеостатических показателей организма (рефлексотерапия) – рефлексогенное воздействие, направленное на активацию метаболической и функциональной активности различных клеток, тканей, органов и систем организма.

**Противопоказания** – общие для всех видов физиотерапевтического воздействия: онкологические заболевания, декомпенсированные состояния сердечно-сосудистой, дыхательной и эндокринной систем, лихорадочное состояние, активный туберкулез, некоторые заболевания крови, психиатрические заболевания (в отдельных случаях).

Относительным противопоказанием является отсутствие клинически и патогенетически выраженного эффекта воздействия лазерного излучения на больное (например, по данным регистрации микроциркуляции, биофотометрии, инфильтратометрии, иммунологии, флуоресцентной диагностики) или негативный эффект воздействия.

## 1.5. Особенности медицинских технологий применения лазерного излучения в различных областях медицины (актуальные и перспективные разработки)<sup>1</sup>

### *Лазеры в хирургии*

В основном операции выполняются с помощью лазера, следуя тем же процедурам, что и в операциях, выполняемых обычным методом, но с несколько большими преимуществами лазерной хирургии:

- почти бескровная операция, так что у хирурга есть великолепный обзор во время всей процедуры, за счет чего сокращается время операции. То, что раны остаются открытыми меньше времени, означает уменьшение риска инфицирования, что является одним из наиболее частых осложнений после хирургических процедур;
- отсутствие кровотечений означает отсутствие или уменьшение гематомы и отека после операции, что еще больше уменьшает опасность инфицирования;
- почти все пациенты сообщают об отсутствии или уменьшении боли после лазерной операции, по сравнению с пациентами, которые страдали от таких же заболеваний, но подвергались обычному хирургическому лечению;
- внутриротовые швы – это большой дискомфорт для пациента. Очень часто нет необходимости в наложении швов после лазерной операции, таким образом, в большой степени повышается комфорт пациента;

<sup>1</sup> Особенно в хирургической стоматологии, пластической челюстно-лицевой хирургии и косметологии.

- очень важным моментом, особенно в пластической хирургии, является расположение рубцов на видном месте. В результате лазерной операции рубцы или мало заметны, или их вообще нет.

Хирургия, проводимая при помощи лазера, строго следует рекомендациям по лазерной безопасности и золотым стандартам, разработанным в процессе многочисленных научных исследований и практических применений. Сегодня «лазерный скальпель» может использоваться так же безопасно и точно, как и стальной.

Лазерная хирургия больше не является экспериментальной областью, а является прочной основой для инноваций в следующих областях.

### *Хирургические процедуры*

- Френэктомия/френотомия.
- Биопсия.
- Косметическая гингиволастика.
- Коагуляция ткани.
- Вскрытие и дренирование абсцессов и флегмон.
- Лечение афтозных язв.
- Удаление фиброматозных очагов.
- Лейкоплакия на языке (удаление поражения лазером).
- Удаление очагов гиперплазии.
- Десневая гиперплазия (удаление).
- Гемангиома (удаление).

Лейкоплакии являются наиболее часто встречающимися предраковыми образованиями в полости рта. Так как они должны дифференцироваться от доброкачественного гиперкератоза до агрессивной чешуйчатой карциномы клеток, то для установления диагноза требуется биопсия.

Предпочтительным лечением является хирургическое удаление. Лазеры стали эффективным способом для лечения лейкоплакии. 77% коэффициент ремиссии, остальные случаи — из-за неполной резекции.

**Таблица 1.6.** Полный спектр стоматологических лазеров (сводная таблица)

Система	Производительность	Лазер	Энергия	Мощность	Импульс	Подача луча	Распыление
Fidelis ND	Высокая	Nd: YAG		E5Вт	fvsp	Волокно	
Fidelis ND II	Повышенная	Nd: YAG		15 Вт	vsp	Волокно	Внутреннее ESC
Fidelis E	Нормальная	Er: YAG	350 мДж	7 Вт	SP	Шарнирный световод	Внешнее
Fidelis Er	Высокая	Er: YAG	1000 мДж	15 Вт	VSP	Шарнирный световод	Внешнее
Fidelis Er II	Повышенная	Er: YAG	1500 мДж	20 Вт	SUPER VSP	Шарнирный световод	Внутреннее ESC
Fidelis Plus	Высокая	Nd:YAG Er: YAG	1000 мДж	15 Вт 15 Вт	VSP VSP	Волокно Шарнирный световод	Внешнее
Fidelis Plus II	Повышенная	Nd:YAG	1500 мДж Er: YAG	15 Вт 20 Вт	VSP SUPER	Волокно Шарнирный световод	Внутреннее ESC



Цели хирургического вмешательства достигаются при отсутствующем или небольшом кровотечении, при этом структуры соседних тканей травмируются минимально. Значительно уменьшается послеоперационный дискомфорт для пациента, а результаты заживления варьируются от хороших до отличных.

Когда живая ткань подвергается воздействию излучения очень большой плотности, в диапазоне 50–1000 Вт/см<sup>2</sup>, она может быть рассечена им, как скальпелем. Если плотность излучения лежит в области 500–850 Вт/см<sup>2</sup>, то происходит испарение мягких тканей. Если ткань подвергается воздействию излучения плотности от 50 до 150 Вт/см<sup>2</sup>, будет происходить коагуляция. Это биологическое взаимодействие с лазерной энергией, похоже, не зависит от типа лазера, поэтому применяется целый ряд различных лазеров для сшивания краев ран.

Выделяют три типа такого воздействия. К первому типу относится воздействие на ткани импульсным или непрерывным лазерным излучением при плотности мощности, недостаточной для глубокого обезвоживания, испарения тканей и возникновения в них дефекта. Этому типу воздействия соответствует применение лазеров в офтальмологии, дерматологии и онкологии для облучения патологических тканевых образований, которое приводит к их коагуляции.

Второй тип – рассечение тканей, когда под влиянием излучения лазера непрерывного или частотно-периодического действия часть ткани испаряется и в ней возникает дефект. В этом случае плотность мощности излучения может превосходить используемую при коагуляции на два порядка и более. Этому типу воздействия соответствует хирургическое применение лазеров.

К третьему типу относится влияние на ткани и органы низкоэнергетического излучения, обычно не вызывающего явных морфологических изменений, но приводящего к определенным биохимическим и физиологическим сдвигам в организме.

Успешное развитие лазерных медицинских технологий, создание и внедрение в клиническую практику новых диагностических и лечебных лазерных методик возможно только благодаря совместным усилиям физиков, биологов и врачей-исследователей и практикующих врачей.

#### **Механизм теплового процесса**

- Поглощение лазерного света
- Превращение в тепло
- Высушивание зуба
- Усиление поглощения
- Карбонизация
- Удаление ткани
- Повреждение окружающей ткани (карбонизация, некроз, трещины)

#### **Механизм термомеханического процесса**

- Поглощение лазерного света водой и гидрокислотами
- Быстрое нагревание воды
- Взрывное объемное расширение
- Механическое разрушение
- Небольшое остаточное тепловое повреждение

**Лазерная энергия вызывает:**

- высвобождение гидроксильной группы (ОН) в гидроксиапатите;
- мгновенное испарение воды в кристаллах;
- мгновенное испарение гидратной оболочки.

Эта гидратная оболочка состоит из слоя воды вокруг поверхности кристалла. В результате на поверхности кристалла образуется двухзарядный электрический слой, или дзета-напряжение, с мощным электрическим полем, которое связывает значительное количество воды. Это дзета-напряжение также играет важную роль в ионной проницаемости, особенно в дентине.

*Распыление воды*

Эффективное водное и воздушное охлаждение очень важно. Во время лазерной подготовки полости температура в пульпе увеличивается меньше, чем при использовании обычных методов лечения. Распыление удаляет фрагменты удаленной ткани и делает возможной установку более высоких значений энергии и частоты импульса. При одинаковых настройках действие абляции более эффективно, когда применяется распыление воды.

*Воздействие на пульпу*

По этой проблеме были опубликованы многочисленные исследования. Критической границей, превышение которой недопустимо, является повышение температуры более чем на 5 °С. В 1965 году Each и Cohen продемонстрировали, что повышение температуры на 6 °С вызывает раздражение центростремительных К-волокон. В результате выделяются нейропептиды и происходят гиперемические изменения в микроциркуляции. Это приводит к нейрогенному воспалению. При увеличении температуры до 7–8 °С происходит денатурация белков и необратимый некроз клеток и тканей. Выше 49 °С полностью прекращается кровообращение в пульпе и возникает полный некроз. Как уже упоминалось выше, лазер Er-YAG, в отличие от CO<sub>2</sub>- или эксимерного лазеров, не вызывает тепловой абляции. Исследования при помощи сканирующего электронного микроскопа показали отсутствие тепловых изменений, таких как расплавление или карбонизация. При правильном водяном охлаждении в прилегающих тканях отмечалось повышение температуры только на 5 °С. Это меньше, чем при подготовке полости классическими методами. Гистологические исследования в опытах над животными показали, что во время подготовки с использованием лазера вблизи пульпы и даже при открытой пульпе происходили только обратимые изменения, за которыми следовало образование восстановительного или третичного дентина (дентиновые мосты). Graber и Gutknecht обнаружили такие же результаты в опытах *in vivo* на человеческих зубах мудрости. В 1997 году FDA дала свое разрешение на подготовку полости с использованием лазера Er-YAG.

Небольшой тепловой эффект, отсутствие давления и трения, отсутствие вибрации и резкого шума позволяют в большинстве случаев выполнять подготовку полости без применения анестезии.

**1.5.1. Применение лазерного излучения в травматологии**

Разработан и внедрен в клиническую практику новый малотравматичный метод лечения различных форм остеомиелита с применением высокоинтенсивного ла-

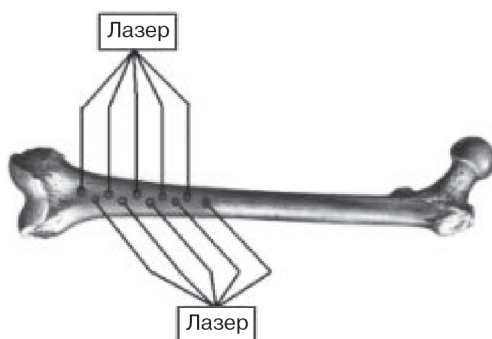


Рис. 1.10. Схема лазерной остеоперфорации при остеомиелите

зера. Метод отличается от известных на сегодняшний день малой травматичностью, хорошей переносимостью больными, способностью в короткие сроки купировать воспалительный процесс в тканях.

Метод лазерной остеоперфорации является наиболее щадящим методом, не требующим серьезного хирургического вмешательства. С помощью излучения лазера высокой оптической мощности, транспортируемого через тонкий кварцевый световод со специальным термостойким покрытием, в костной ткани в зоне воспаления перфорируется несколько отверстий. Не вынимая световода, производится термотерапия костномозгового канала на пониженной мощности. Никаких дополнительных разрезов, дренирования мягких тканей и костномозгового канала не производится.

При используемых режимах лазерного излучения не происходит глубоких термических поражений мягких тканей и костей.

*Виды воздействия на биологическую ткань:*

- Перфорация
- Термотерапия
- Коагуляция
- Вапоризация, абляция

Высокая мощность лазерного излучения, подаваемого по тонкому оптическому волокну, позволяет осуществить оптимальное воздействие на костные и хрящевые ткани, а также очаги воспаления. Лазерное излучение стимулирует процессы заживления и регенерацию биотканей.

Минимальную травматичность операции удастся обеспечить благодаря малому внешнему диаметру (400...1500 мкм) волоконного инструмента, а использование эндоскопической техники дает возможность проводить точные манипуляции с минимальным повреждением окружающих органов.

*Примеры применения*

**ЛАЗЕРНАЯ ОСТЕОПЕРФОРАЦИЯ В ЛЕЧЕНИИ ОСТЕОМИЕЛИТОВ**

- Острый гематогенный остеомиелит
- Первично-хронический остеомиелит (типа Гарре и Броне)
- Все формы хронических остеомиелитов без наличия секвестров

- Все виды хронических остеомиелитов с наличием секвестров в качестве подготовки к радикальной операции секвестрэктомии или корытообразной резекции кости
- Костные и костно-суставные панариции
- Контактные остеомиелиты на фоне сахарного диабета, облитерирующего атеросклероза нижних конечностей

Преимущества по сравнению с традиционными методами:

- быстро нормализуется внутрикостное давление и минеральный компонент костной ткани;
- оказывается мощное санирующее действие на костный мозг и окружающие ткани, вызывающее гибель патогенной флоры;
- улучшается микроциркуляция в очаге воспаления;
- стимулируются репаративные процессы.

ЛЕЧЕНИЕ ОСТЕОМИЕЛИТА МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ ОСТЕОПЕРФОРАЦИИ.  $\lambda = 0,97$  мкм  
В.А. Привалов с сотр., А.В. Лаппа с сотр., ММФЦ г. Челябинск

Патенты Российской Федерации: № 2209595 от 15.05.2001 «Способ хирургического лечения хронического остеомиелита» и № 2235522 от 14.01.2004 «Способ хирургического лечения костного и костно-суставного панариция».

#### *Клинические примеры*

Больной Ш., 14 лет. Хронический остеомиелит правого бедра (рис. 1.11, 1.12).



**Рис. 1.11.** До лечения

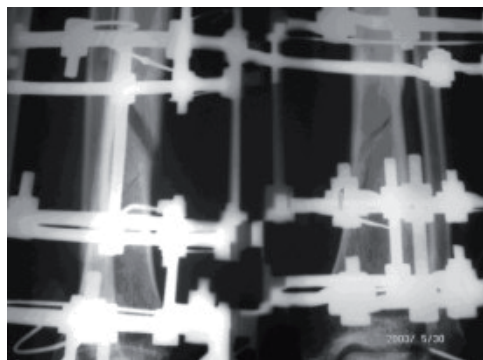
Бедренная кость в средней и нижней трети утолщена и деформирована за счет выраженных периостальных наслоений, частично ассимилированных. Значительная деструкция костной ткани по цилиндру кости в области диафиза и метафиза



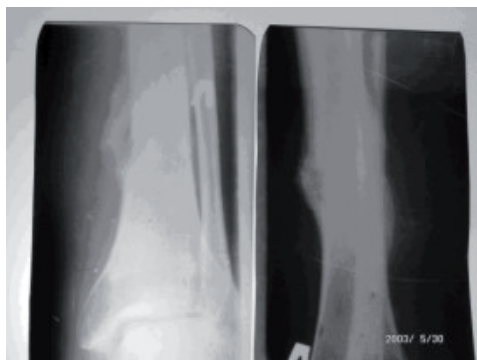
**Рис. 1.12.** 11 мес. после ЛОП

В средней и нижней трети правой бедренной кости имеется умеренное утолщение. Структура кости перестроена за счет остеосклероза. Участков деструкции и секвестров нет

**Больной М., 47 лет. Открытый винтообразный перелом большеберцовой кости справа на границе средней и нижней трети (рис. 1.13, 1.14).**

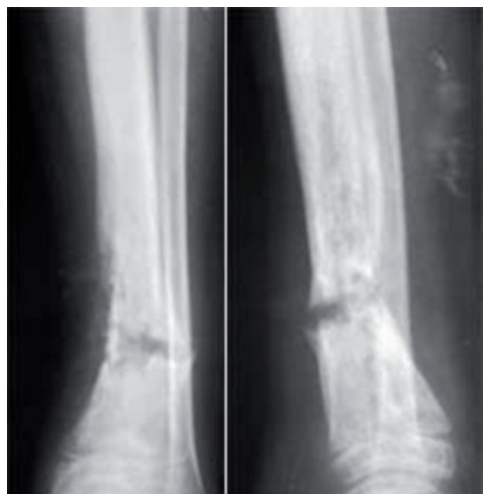


**Рис. 1.13.** Через 3 мес после наложения аппарата Илизарова – стояние отломков осевого, костная мозоль не определяется. В области перелома имеется свищ с гнойным отделяемым и с мелкими костными включениями



**Рис. 1.14.** Через 2 мес после лазерной остеоперфорации. Линия перелома четко не прослеживается. Костная мозоль циркулярная, средней плотности, очагов деструкции и секвестров нет

**Больной М., 11 лет. Хронический остеомиелит большеберцовой кости (рис. 1.15, 1.16).**



**Рис. 1.15.** В средней и нижней трети большеберцовой кости имеются множественные очаги деструкции, мелкие секвестры, периостальные наслоения. Костномозговой канал практически не прослеживается. На границе средней и нижней трети большеберцовой кости определяется линия перелома



**Рис. 1.16.** Через 9 мес после остеоперфорации. Очагов деструкции и секвестров нет. Периостальные наслоения не определяются. Костномозговой канал определяется практически на всем протяжении, кроме места патологического перелома. На месте перелома отмечается участок склероза по всему цилиндру кости

### Результаты

Динамические бактериологические исследования показали быструю санацию гнойного очага и снижение числа высеваемых микроорганизмов ниже критического уровня. У всех больных в результате проведенного лечения отмечен быстрый и стойкий положительный эффект. При остром гематогенном остеомиелите достигнуто полное выздоровление и отсутствие перехода в хроническую стадию; при хроническом остеомиелите более чем в 90% случаев получена стойкая ремиссия, больные в сроки до 2,5–4 лет чувствуют себя хорошо, не отмечено ни рецидивов заболеваний, ни обострения процесса. Гнойные свищи почти у всех пациентов закрылись самостоятельно. У двух больных, имеющих крупные секвестры и обширное поражение костей, не удалось ликвидировать гнойный процесс, но принятое лечение значительно улучшило их состояние, снизило интоксикацию, что позволило подготовиться к операции и успешно удалить костные секвестры. Необходимо отметить, что лечение остеомиелита методом лазерной остеоперфорации не требует применения антибиотиков. Эта перспективная разработка может быть с успехом применена в стоматологии, травматологии и ортопедии.

### ЛЕЧЕНИЕ ХРЯЩЕВЫХ ТКАНЕЙ

- Синовит коленного сустава

Преимущества по сравнению с традиционными методами:

- операция бескровна и выполняется без артротомии (вскрытия коленной сумки);
- отсутствие рецидивов, связанных со спаечными изменениями и тугоподвижностью сустава.

#### ***1.5.2. Применение лазерного излучения в дерматологии и косметологии (актуальные направления)***

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

#### *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 венепункции (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 10 000 Гц. Установлено, что колебания в 10 000 Гц 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.

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 см<sup>2</sup>, для остальных участков кожи — 20 см<sup>2</sup>. 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 см<sup>2</sup> пятно лазерного 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 облучении венозной крови с помощью НИЛИ у больных с аллергодерматозами добиваются всех вышеупомянутых эффектов 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 обычно инфракрасным (0,89 мкм, 3–5 Вт) или гелий-неоновым лазером (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 псориатических элементов и позволяет добиться выраженного противовоспалительного эффекта.

Показана эффективность лазерной терапии при псориатическом 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 (UVB) 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/см<sup>2</sup> и выше), что усиливает антипсориатическое 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.

**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 бактерицидного) 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, содержания 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 В.В. Кулага и соавторы предлагают 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 недели — 2–3 сеанса, курс лечения состоит из 10–12 сеансов. Другие авторы рекомендуют 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.

**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, фулорцин), после чего проводят локальное облучение расфокусированным лазерным лучом мощностью 1–1,5 мВт/см<sup>2</sup>. Продолжительность сеанса составляет 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.

Описанная выше техника лечения витилиго применяется также для лечения очагового облысения.

**Рубцы.** С помощью световой и электронной микроскопии изучались изменения, которые происходят в кожных рубцах в результате применения лазерного из-



лучения 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.

### **1.5.3. Использование высокоинтенсивного лазерного излучения (ВИЛИ) (актуальные вопросы применения)**

ВИЛИ получают с помощью  $\text{CO}_2$ -, Er:YAG-лазера и аргонового лазера.  $\text{CO}_2$ -лазер в основном используется для лазерного удаления (деструкции) папиллом, бородавок, кондилом, рубцов и дерматозов; Er:YAG-лазер – для лазерного омолаживания кожи. Существуют также комбинированные  $\text{CO}_2$ -, 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  $\text{CO}_2$ -лазеры. При применении  $\text{CO}_2$ -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-го 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  $\text{CO}_2$ -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 одной 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 раздражения 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.

Широкому распространению методов лазерной деструкции препятствует высокая стоимость качественного оборудования и необходимость подготовки опытного персонала.

**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 волосаных луковиц (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 экономичес-

ки выгодный способ эпиляции. Существенно снижает эффективность 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 мес 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 (в том числе у темнокожих пациентов). Аппараты позволяют проводить быстрое и равномерное сканирование кожи, а также выравнивать цветовые границы после обработки CO<sub>2</sub>-лазером.

#### 1.5.4. Применение лазерного излучения в онкологии<sup>1</sup>

Большой интерес представляет взаимодействие лазерного излучения и лучевой терапии, также используемой при лечении злокачественных заболеваний. Помимо борьбы с осложнениями, требующими зачастую уменьшения дозы лучевой терапии или даже перерыва в лечении, НИЛИ повышает эффективность лучевой терапии. В последнее время появились наблюдения, в которых отмечено, что при сочетанном применении этих методов сокращаются сроки уменьшения размеров новообразования.

## 1.6. Техника безопасности при работе с лазерным излучением<sup>2</sup>

### *Физические основы работы лазеров*

Лазер состоит из лазерной среды, системы «накачки» и оптического резонатора. Материал лазера должен находиться в метастабильном состоянии, при котором атомы или молекулы могут быть захвачены после получения энергии от системы накачки. Каждый из этих лазерных компонентов будет обсуждаться ниже.

#### **1. Системы накачки**

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

- При оптической накачке используются фотоны, обеспечиваемые источником, таким как ксеноновая газонаполненная импульсная лампа или другой лазер, для передачи энергии лазерному веществу. Оптический источник должен обеспечивать фотоны, которые соответствуют допустимым уровням перехода в лазерном веществе.

<sup>1</sup> Конкретные методики по пунктам 5.1–5.4 представлены в гл. 4–8.

<sup>2</sup> Подробнее см.: Александров М.Т. Лазерная клиническая биофотометрия (теория, эксперимент, практика). М.: Техносфера, 2008. — 584 с.

- 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. Обычно это выполняется при помощи электрического разряда в чистом газе или в смеси газов в трубке.
- Химические системы накачки используют энергию связи, высвобождаемую в результате химических реакций, для перехода лазерного вещества в метастабильное состояние.

## 2. Оптический резонатор

Оптический резонатор требуется для обеспечения нужного усиления в лазере и для отбора фотонов, которые перемещаются в нужном направлении. Когда первый атом или молекула в метастабильном состоянии инверсной заселенности разряжается, за счет вынужденного излучения он инициирует разряд других атомов или молекул, находящихся в метастабильном состоянии. Если фотоны перемещаются в направлении стенок лазерного вещества, обычно представляющего собой стержень или трубу, они теряются, а процесс усиления прерывается. Хотя они могут отразиться от стенок стержня или трубы, но рано или поздно они потеряются из системы и не будут способствовать созданию луча.

С другой стороны, 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. Пока этот процесс усиления продолжается, часть излучения всегда будет выходить через частично отражающее зеркало. Когда коэффициент усиления или прирост этого процесса превысит потери из резонатора, говорят, что началась лазерная генерация. Таким образом, 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.

## 3. Лазерная среда

Обычно лазеры обозначаются по типу используемого лазерного вещества. Существуют четыре таких типа: твердое вещество, газ, краситель и полупроводник. Основные характеристики каждого типа представлены ниже.

- В лазерах на красителе используется лазерная среда, которая обычно является сложным органическим красителем в жидком растворе или суспензии. Наиболее значительная особенность этих лазеров — это 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. Наиболее часто используемый лазер на красителе — это «Родами 6С», который обеспечивает настраиваемость в диапазоне частот шириной 200 нм в красной части спектра (620 нм).

- Полупроводниковые лазеры (иногда называемые диодными лазерами) нельзя путать с твердотельными лазерами. Полупроводниковые лазеры состоят из двух слоев полупроводникового материала, сложенных вместе. Эти лазеры обычно очень маленького размера и очень умеренной мощности. Однако они могут объединяться в большие системы. Наиболее распространенным диодным лазером является диодный лазер на арсениде галлия с основным излучением на 840 нм.

#### 4. Временные режимы работы

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

- Лазеры с непрерывным излучением (Continuous wave, CW) работают с постоянной средней мощностью луча. В наиболее мощных системах мощность луча можно регулировать. В маломощных газовых лазерах, таких как He-Ne, уровень мощности намеренно фиксируется, а производительность обычно ухудшается в процессе эксплуатации.
- У одноимпульсных (нормальный режим) лазеров длительность импульса обычно составляет от нескольких сотен наносекунд до нескольких миллисекунд. Этот режим работы обычно называется длинноимпульсным или нормальным режимом. Одноимпульсные лазеры с модуляцией добротности являются результатом внутрирезонаторного запаздывания (ячейка модуляции добротности), которое позволяет лазерной среде сохранять максимум потенциальной энергии. Затем, при максимально благоприятных условиях, происходит излучение одиночных импульсов, обычно с промежутком времени в  $10^{-8}$  с. Эти импульсы обладают высокой пиковой мощностью, часто в диапазоне от  $10^6$  до  $10^9$  Вт.
- Импульсные лазеры периодического действия или сканирующие лазеры работают в принципе так же, 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. Назначением лазера может быть быстрое сканирование с использованием оптических сканирующих систем для выдачи последовательности повторяющихся импульсов в заданном направлении.
- Работа лазеров с синхронизированными модами является результатом резонансных волн в оптическом резонаторе, которые могут влиять на характеристики выходного луча. Когда фазы различных частотных модов синхронизируются, т.е. замыкаются вместе, различные моды будут пересекаться друг с другом, производя колебательный эффект. Результатом этого является равномерно пульсирующая выходная мощность лазера. Лазеры, работающие в этом режиме с синхронизированными модами, обычно вырабатывают последовательность равномерно распределенных импульсов, каждый с длительностью от  $10^{-15}$  (фемто) до  $10^{-12}$  (пико) с. Лазер с синхронизированными модами может подавать энергию с гораздо более высокими пиковыми мощностями, чем такой же лазер, работающий в режиме модуляции добротности. Эти импульсы будут обладать огромной пиковой мощностью часто в пределах от  $10^{12}$  (тера) Вт.