

Рисунок 5.16 – Фотонный зонд «Барва – ГПУ»

В отличие от традиционного подхода – «АЛТ + оптическая насадка» (см. п. 5.4.2), в фотонном зонде «Барва-ГПУ» осуществляется непосредственное воздействие источниками излучения на соответствующую область. Такой подход позволяет повысить плотность излучения за счет отсутствия потерь в световоде и насадке, а также на переходах источник излучения – световод и световод – насадка. Основные технические данные фотонного зонда «Барва-ГПУ» приведены в табл. 5.8.

Таблица 5.8 – Технические данные фотонного зонда «Барва-ГПУ»

Наименование параметра	Ед. изм.	Значение
1	2	3
Длина волны излучения светодиодов:		
- красных	нм	630-660
- инфракрасных	нм	840-890
Мощность излучения каждого светодиода	мВт	5

Продолжение табл. 5.8

1	2	3
Напряжение питания	В	220 ± 22
Частота напряжение питания	Гц	50
Выходное напряжение блока питания	В	14
Габаритные размеры фотонного зонда, не более	мм	300×Ø54
Габаритные размеры активной части фотонного зонда	мм	160×Ø16
Наработка на отказ, не менее	ч	10000

Использование фотонного зонда «Барва-ГПУ» сокращает продолжительность лечения заболеваний в 2-3 раза.

## **5.5. ЛАЗЕРНАЯ ХИРУРГИЯ**

### **5.5.1.Основные разделы хирургии и показания к применению лазеров**

В лазерной терапии лазерное излучение не наносит повреждений тканям организма из-за относительно низкой мощности применяемых лазеров. При хирургических вмешательствах используются лазерные аппараты, способные генерировать ЭМИ с высокой энергией, необходимой для удаления, механического разрушения или термического некроза клеток, тканей или иных объектов, подлежащих ликвидации.

В настоящее время в развитых странах в области лазерной хирургии достигнут большой прогресс. Это относится и к числу показаний, и к разнообразию процедур, и к уровню теоретических и экспериментальных разработок, нацеленных на совершенствование методов соответствующих вмешательств.

Хирургия является сложной и многогранной областью медицины и может быть классифицирована по нескольким ключевым показателям. Прежде всего, различают ***неотложную* и *плановую хирургию*** [25].

Показаниями для неотложной хирургии являются любые крупные травмы, сопровождающиеся масштабными повреждениями: ампутация, закрытые и открытые переломы костей, вывихи суставов, размажжение тканей; любые массивные поверхностные или внутренние кровотечения (желудочные, кишечные, маточные и др.); крупные по площади ожоги третьей и четвертой степеней; большинство случаев военной и криминальной травмы; крупные химические ожоги и обморожения.

В остальных случаях пациента доставляют в клинику, уточняют первичный диагноз и проводят срочные или отсроченные лечебные мероприятия в стационаре или госпитале в зависимости от тяжести и характера повреждений.

В подавляющем большинстве современных клиник хирургические отделения специализированы. Специализация основана на разграничении отдельных видов патологии, общности хирургических манипуляций при них, а также принципах до- и послеоперационного ведения пациентов.

В отделениях общей хирургии, в первую очередь, проводится лечение по поводу наиболее часто встречающихся видов патологии органов брюшной полости, таких, как острый аппендицит, острый холецистит, острая кишечная непроходимость, грыжи брюшной стенки, язвенная болезнь желудка и 12-перстной кишки, кровотечения из различных отделов пищеварительного тракта, травматические повреждения печени, селезенки, почек, острый перитонит, острый панкреатит, спаечная болезнь и др.

Кроме перечисленных патологий в отделениях общей хирургии проводится лечение больных с острыми гнойными воспалениями, трофическими язвами и тромбофлебитом вен нижних конечностей. Хирурги, работающие в данной области, осуществляют также ампутации конечностей на всех уровнях.

Во всех перечисленных случаях хирургические лазеры применяются только для остановки и профилактики кровотечений, удаления желчного пузыря и отростка слепой кишки, для работы на паренхиматозных органах и для сварки стенок полых органов.

В сердечно-сосудистой хирургии лазерные операции проводят для восстановления просвета сосудов, ликвидации патологических очагов возбуждения в сердечной мышце, улучшения кровоснабжения миокарда кровью непосредственно из левого желудочка, соединение рассеченных сосудов путем их сварки.

Торакальная хирургия включает в себя различные виды патологии органов грудной полости. Здесь лазерные операции проводят для реканализации пищевода и бронха, удаления небольших опухолей.

Нейрохирургия – это патологии, включающие в себя травматические повреждения головного и спинного мозга, кровоизлияния в головной и спинной мозг, опухоли и паразиты головного и спинного мозга, спайки оболочек головного мозга, опухоли гипофиза или эпифиза. В нейрохирургии лазерные аппараты используют для удаления опухолей головного и спинного мозга, а также для сварки нервных стволов.

В оториноларингологии лазерные операции выполняют для удаления опухолей или рубцов путем прецизионных, проводимых под оптическим контролем вмешательств (микрохирургические операции) на гортани и в полости носа. Здесь лазеры используются также для остановки носовых кровотечений, тонзилэктомии, парacentеза, при формировании фистулы гайморовой пазухи.

Лазерные операции в офтальмологии проводят для рассечения глазодвигательных мышц, ликвидации некоторых опухолей области глаза, выполнения разрезов и проколов глазного яблока, коагуляции отдельных участков сетчатки при ретинопатиях, приваривания отслоившейся сетчатки, при создании фистулы между передней и задней камерами глаза в случае глаукомы, для удаления хрусталика при катаракте, а также для кератопластики.

Хирурги-урологи проводят лазерные операции для частичной нефрэктомии, остановки почечных кровотечений травматического происхождения, литотрипсии в любой области мочевыводящего тракта, простатэктомии в случае доброкачественных новообразований простаты, кастрации при раке простаты, для реканализации семявыводящих протоков и мочеис-

пускального канала, остановки кровотечений из поверхности мочевого пузыря и удаления опухолей в дистальных отделах мочеточника.

Хирургические вмешательства с помощью лазеров в акушерстве и гинекологии проводят для клиновидной резекции и коагуляции яичника, резекции шейки матки, а также при некоторых патологических изменениях эндометрия.

В стоматологии лазерные операции проводят для удаления кариозных масс, обработки пульпарной полости, удаления прикорневых кист, а на слизистой полости рта – для ликвидации доброкачественных новообразований.

Лазерные операции в травматологии и ортопедии проводят для обработки костной и хрящевой тканей, например, при разрыве менисков коленного сустава, манипуляциях на межпозвоночных дисках.

Методом лазерной хирургии в дерматологии удаляются злокачественные (рак, меланома), потенциально злокачественные (базилиома) и крупные доброкачественные (остроконечные кондиломы) новообразования на любых поверхностях кожных покровов. Кроме того, по желанию пациента с помощью лазера могут быть устраниены практически любые косметические дефекты, включая татуировки.

Онкологи проводят лазерные операции для ликвидации злокачественных опухолей на ранних стадиях, реканализации просвета полых органов у неизлечимых пациентов, лечения некоторых медленно прогрессирующих новообразований, в частности, рака мочевого пузыря и некоторых опухолей головного мозга, устранения метастазов, например, в печени, для лечения многих доброкачественных новообразований.

### **5.5.2. Организация лазерной операционной и мероприятия по защите от лазерного излучения**

Основной частью хирургического отделения является операционный блок, который в свою очередь, состоит из предоперационной ( помещение, где производится подготовка пациента и медицинского персонала к операции) и операционной, где производятся хирургические операции.

В некоторых случаях часть оборудования и аппаратуры размещается в смежных с операционной помещениях. ЭМИ от лазеров, расположенных в таких помещениях, вводится в операционную посредством гибких световодов.

При проведении операции под наркозом (общее обезболивание), его начинают еще в предоперационной (вводной внутривенный наркоз), а продолжают в помещении операционной (интубация – введение трубки соот-

ветствующего калибра в трахею с последующей принудительной подачей через наркозный аппарат газовой смеси, содержащей фторотан или иной агент).

При лазерных операциях на трахее или гортани наркозную газовую смесь следует подавать в легкие через металлический катетер, поскольку при случайном прожигании пластиковой трубы и выходе насыщенной кислородом газовой смеси за ее пределы в воздухоносных путях пациента может произойти взрыв с тяжелейшими последствиями.

При полостных и некоторых иных операциях внутривенно вводят так называемые миорелаксаторы, т.е. соединения, расслабляющие мускулатуру. Размещение пациента на операционном столе производится таким образом, чтобы обеспечить оптимальный доступ к месту операции.

При проведении хирургических операций лазеры в основном используют для удаления или коагуляции патологических образований на поверхности кожи и доступных слизистых оболочках. Применение лазера для послойного рассечения тканей и внутренних полых органов при типовых полостных операциях считается клинически нецелесообразным, поскольку в отличие от обычного скальпеля лазерный луч вызывает краевое повреждение структур, что при последующем шивании замедляет заживление.

Кроме того, выполнение крупных разрезов скальпелем намного быстрее и удобнее по сравнению с лазером. Резание лазерным лучом осуществляют на тканях паренхиматозных органов, при блочном удалении рака молочной железы и резекции яичника. При работе на полых органах (кишечнике, сосудах) лазер используется для сваривания стенок шивающихся объектов.

Развитие медицинской техники в ряде случаев позволяет достигать патологический объект без нарушения целостности экранирующих тканей. Такие операции называются **эндоскопическими**.

В ходе этих операций доступ к нужному месту осуществляется через естественные отверстия (пищевод, полость желудка или толстого кишечника, трахею, бронх, средние и задние отделы полости носа, воздухоносные пазухи головы, мочевой пузырь, влагалище или матку) или небольшие проколы (обычно в просвет артерии), в которые затем вводятся зонды для подведения хирургических инструментов.

В ходе эндоскопических операций может проводиться аппендектомия (удаление червеобразного отростка, как правило, при остром аппендиците); холецистэктомия (удаление желчного пузыря, главным образом при холецистите, новообразованиях и травмах); удаление камней и опухолей из различных отделов мочевыводящего тракта; различные манипуляции на толстом кишечнике (удаление полипов); санация разных отделов дыхательных путей (удаление опухолей из крупных бронхов, трахеи, гортани,

носоглотки и др.); извлечение инородных тел, остановка кровотечений в полости желудка, реканализация полых органов при неоперабельном раке.

Очень эффективны эндоскопические операции на артериях, в ходе которых удается оперативно и почти атравматично удалять или уничтожать тромбы, ликвидировать сдавливающие просвет сосудов атеросклеротические бляшки, разрушать небольшие участки ткани миокарда, которые генерируют патологический ритм сердечной мышцы.

В последнее время лазерные манипуляции все чаще используются при эндоскопических операциях для литотрипсии (дробление камней мочеточника и мочевого пузыря и последующее их удаление), остановки кровотечений, удаление доброкачественных новообразований, реканализации просветов полых органов, занятых опухолью, санации кровеносных сосудов.

Во всех этих случаях лазерное излучение с заданными параметрами подводится по катетеру через гибкий световод, а хирург выполняет соответствующую манипуляцию, нацеливая луч лазера на объект.

При проведении лазерных операций вопросам безопасности уделяется одно из центральных мест. Построение систем защиты медицинского персонала и пациентов должно осуществляться с учетом того, что повреждение тканей и органов человека ЭМИ лазеров может быть результатом непосредственного или косвенного (отраженного) воздействия.

В соответствие со стандартом Украины [26] лазерная безопасность – это совокупность технических, санитарно-гигиенических и организационных мероприятий, обеспечивающих безопасные условия труда персонала при использовании лазеров. При этом способы защиты от ЛИ принято разделять на **коллективные и индивидуальные**.

Коллективные средства защиты предполагают использование телевизионных систем для наблюдения за ходом операции, защитных экранов, систем блокировки и сигнализации, ограждений лазерно-опасной зоны. В качестве средств индивидуальной защиты используют специальные защитные очки, щитки, маски, перчатки и халаты.

Наибольшее влияние оказывает излучение лазера на глаза. Даже отраженный и рассеянный луч лазера может быть сфокусирован оптической системой глаза, что приведет к повреждению пигментных клеток сетчатки. Поражение глаз может быть вызвано ЭМИ с различной длиной волны, однако с наибольшей чувствительностью орган зрения человека воспринимает ЛИ в диапазоне от 400 до 500 нм.

Достаточно эффективным средством защиты глаз при использовании лазеров с модулированным излучением являются очки затворного типа. В таких очках высокоскоростные затворы соединены с модулятором лазерного аппарата и закрываются во время импульса. В течение всего осталь-

ного времени обеспечивается нормальное, не затрудненное цветными стеклами наблюдение объекта.

При проведении хирургических лазерных вмешательств на лице, когда вероятность поражения глаз особенно велика, глаза пациентов закрывают черной повязкой. В некоторых случаях применяются специальные защитные заслонки, вводимые под веко при местной анестезии.

От прямого попадания высокоэнергетического ЛИ (ВЭЛИ) должны быть защищены не только глаза пациента, но и его кожные покровы, поскольку такое излучение может вызвать значительное повреждение кожи, особенно ее пигментированных участков. Обычно для защиты кожных покровов пациента используются специальные плотные светопоглощающие ткани темно-синего или темно-зеленого цвета.

Под действием лазерного луча происходит испарение воды и термический распад органических молекул облучаемого биологического объекта, в том числе и опухолевых клеток. Указанное обстоятельство требует принятия специальных мер безопасности. В частности, достаточно эффективным является применение специальных ловушек, представляющих собой пластмассовые цилиндры с создаваемым внутри них пониженным давлением.

В систему защиты от воздействия ВЭЛИ включаются меры по уменьшению опасности облучения отраженным и рассеянным светом. В операционной должно быть минимум предметов, имеющих отражающие поверхности. Стены, пол и потолок следует окрашивать темной матовой краской, хорошо поглощающей ЭМИ видимой части спектра. На входной двери с наружной стороны должен быть установлен знак лазерной опасности (рис. 5.17), выполненный черным цветом на желтом фоне.



Рисунок 5.17 – Знак лазерной опасности

В ходе операции излучение лазера должно быть направлено на объект хирургического вмешательства. Существует несколько способов подведения и нацеливания лазерного луча, выбор которых, в зависимости от

вида излучения, характера патологии и других условий, обеспечивает оптимальную технику проведения хирургических манипуляций и позволяет добиваться наиболее благоприятного из возможных как немедленного, так и конечного клинического результата соответствующей операции.

### 5.5.3. Техника лазерных хирургических вмешательств

Для ArF ( $\lambda = 193$  нм) и Er:YAG ( $\lambda = 2940$  нм) лазеров используется способ подведения ЭМИ, при котором лазерный луч нацеливается на объект через систему диафрагм и линз, а изменение его направления осуществляется посредством полупроводникового зеркала (рис. 5.18,*а*). Луч СО<sub>2</sub> лазера подводится к объекту через подвижную систему зеркал и фокусирующую линзовую насадку (рис. 5.18,*б*).

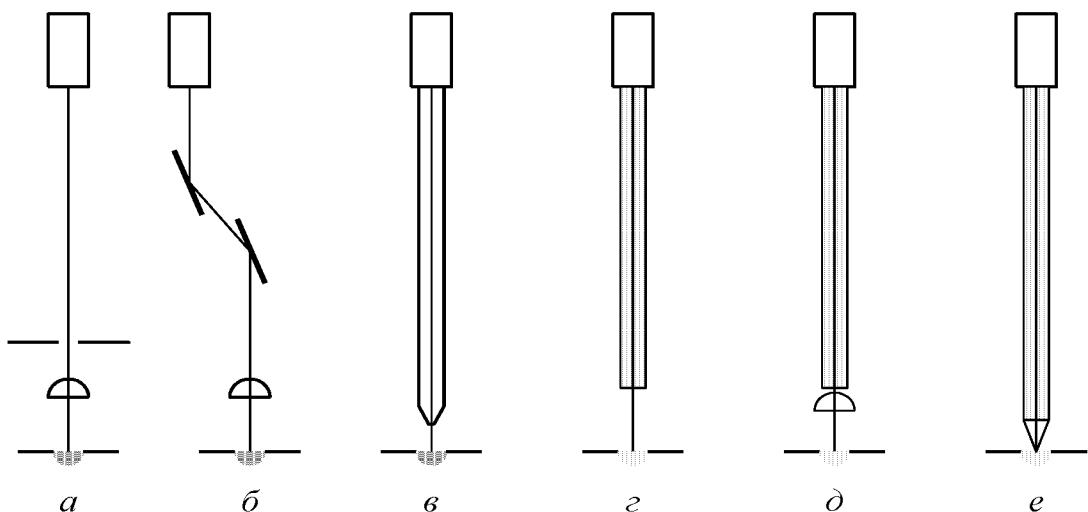


Рисунок 5.18 – Способы подведения ВЭЛИ к объекту

Для миниатюрных вмешательств такой подход оказывается, однако, не вполне приемлемым. Здесь наиболее целесообразно осуществлять подведение луча СО<sub>2</sub> лазера по пустотелому световоду с внутренней зеркальной поверхностью (рис. 5.18,*в*).

Для остальных типов лазеров воздействие на объект обычно оказывают через гибкие кварцевые световоды диаметром 50-1200 мкм с пластиковым покрытием. Поскольку потеря энергии через кварцевое волокно не превышает 2-5 % на один метр длины, возможно применение много-метровых световодов, что позволяет размещать лазерные аппараты на значительном удалении от операционного стола или даже в соседнем помещении.

Этот фактор целесообразен при наличии нескольких операционных в одном операционном блоке, поскольку при этом к одному аппарату возможно подключить несколько световодов для каждой операционной. Та-

кой подход целесообразен и в том случае, когда необходимо иметь подготовленный к работе лазер, чтобы при выходе из строя основного инструмента иметь возможность оперативно переключиться на запасной.

Подавать ЭМИ от световода на объект можно как с некоторого расстояния от торца световода (дистанционное воздействие, рис. 5.18,*г*), иногда с фокусирующей оптической насадкой (рис. 5.18,*д*), так и в прямом контакте с объектом (контактное воздействие, рис. 5.18,*е*). В большинстве случаев ЛИ подводится к объекту через одиночный световод.

Однако, в некоторых случаях, в частности при ангиопластике, луч лазера направляют по многожильному (50-200 тонких волокон диаметром 50 мкм) волоконному кабелю, кварцевые нити которого располагаются между наружной и внутренней оболочками сосудистого катетера, вводимого пациенту через кровеносные сосуды вплоть до патологического очага (рис. 5.19).

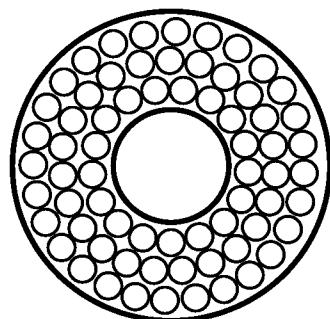


Рисунок 5.19 – Фронтальный разрез многожильного катетера для ангиопластики коронарных артерий

Центральная часть (полость) катетера является инструментальным каналом, который служит для размещения зонда, проводимого через сужение в артерии до начала процесса облучения.

В некоторых случаях к операционному полю подводят одновременно излучение от двух различных лазеров. При использовании пары CO<sub>2</sub> – Nd: YAG для одновременной подачи обоих излучений на ткань каждый из лучей проводят по своей оптической системе и лишь на выходе из системы лучи фокусируют в одной точке.

При работе с парой лазеров Nd:YAG – XeCl световоды 1 от каждого генератора впаиваются в общий оптический смеситель 2 с выходом на единое светопроводящее волокно 3, рабочий конец которого нацеливают на объект операции (рис. 5.20).

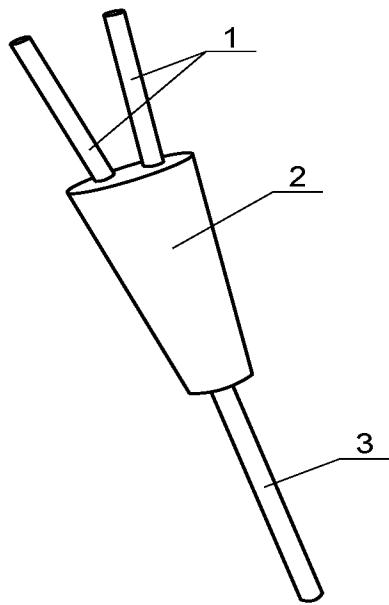


Рисунок 5.20 – Оптический смеситель

Для осуществления лазерных вмешательств на труднодоступных объектах, помимо световода используют специальные приспособления. Например, при интерстициальном лазировании, проводимом для коагуляции ткани некоторых злокачественных новообразований, в центр опухоли после ее локализации сначала вводится пустотелый зонд 2, по которому затем продвигают световод 1 до контакта с тканью 3 (рис. 5.21,*а*).

При эндоскопических операциях, выполняемых на участках тела, сообщающихся с его поверхностью естественными анатомическими каналами (органы пищеварительного и мочеиспускательного трактов, носовая полость, носоглотка, горло, трахея, крупные бронхи), световод 1 проводят через предварительно введенный до нужного места жесткий 3 или гибкий зонд 2 (рис. 5.21,*б*).

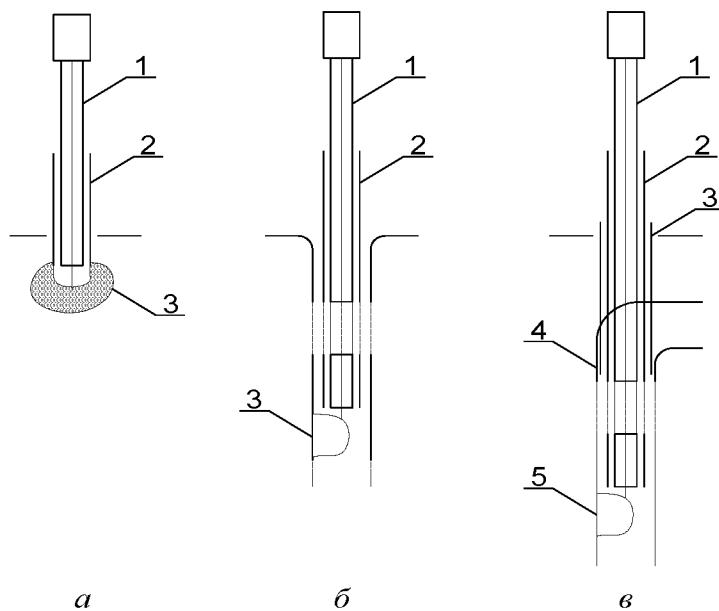


Рисунок 5.21 – Способы подведения световода к мишениям, расположенным в глубине органов и тканей

Для лазерного вмешательства при эндоскопических внутрисудистых операциях в просвет кровеносного сосуда 4 вводится пустотелая игла 3, через которую пропускают гибкий катетер 2 со световодом 1 до места 5 воздействия (рис. 5.21,в).

#### 5.5.4. Взаимодействие излучений хирургических лазеров с биологической тканью

Луч хирургического лазера вызывает повреждение или гибель живой ткани, а при достаточно высокой энергии – ее **абляцию**. Под абляцией принято понимать ликвидацию участка живой ткани непосредственно под действием на нее фотонов лазерного излучения.

Механизм и параметры абляции определяются свойствами облучаемого объекта (соотношение жидкого и плотного компонентов, их химические и физические свойства, характер внутри- и межмолекулярных связей, термическая чувствительность клеток и макромолекул, кровоснабжение ткани и т.д.); параметрами излучения (длина волны, характер облучения – непрерывный или импульсный, мощность, энергия в импульсе и т.д.); параметрами, связывающими свойства объекта и лазерного луча – коэффициентами отражения, поглощения и рассеяния данного вида излучения в данном виде ткани или ее отдельных составляющих.

Всего принято выделять четыре механизма абляции биологических объектов под действием лазерного излучения.

**Первый механизм** проявляется при облучении биологических объектов лучами Nd:YAG лазера (1064 нм), работающего в непрерывном ре-

жиме при мощностях до 60-100 Вт. При облучении тканей с высоким содержанием воды энергия лазера поглощается главным образом в неводном компоненте. Обычно проникновение излучения данного лазера в кровосодержащую ткань составляет 5-8 мм. При этом коэффициент поглощения существенно возрастает у белков, денатурированных вследствие нагревания облучаемой ткани, а при дальнейшем разогреве и возгорании этот показатель еще более увеличивается за счет обугливания (карбонизации) облучаемой поверхности.

Поэтому для данного вида излучения характер воздействия на ткань резко меняется во времени, причем коэффициент поглощения увеличивается, а скорость проникновения луча в ткань уменьшается.

На рис. 5.22 показано взаимодействие излучения Nd: YAG лазера с живой тканью. Вначале энергия фотонов лазерного излучения превращается только в тепловую, что приводит к локальному разогреву объекта в месте падения луча (рис. 5.22,*a*).

При температуре 43 °С термические повреждения ткани еще обратимы, однако при дальнейшем повышении температуры сначала отдельные, а затем и все макромолекулы изменяются необратимо (денатурируют), в результате чего облучаемый участок ткани погибает (подвергается некрозу) вследствие денатурации белков, которую также называют коагуляцией. Критическая температура начала коагуляции большинства тканевых компонентов составляет около 55 °С.

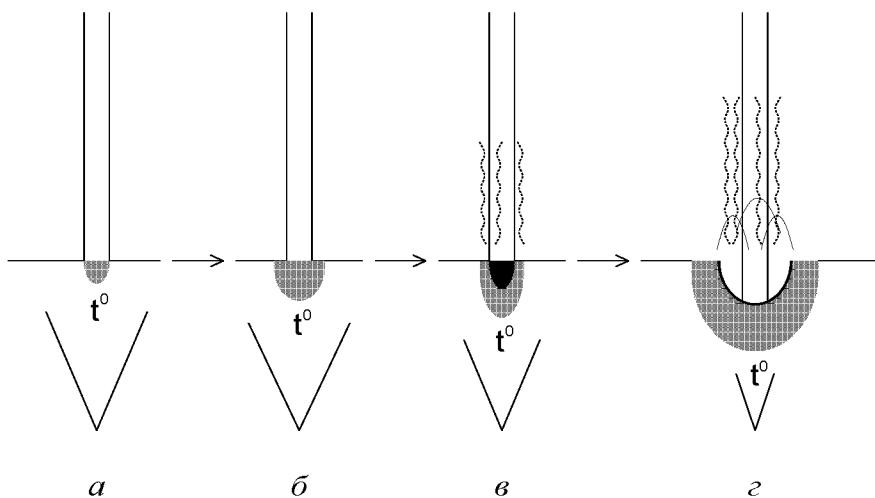


Рисунок 5.22 – Последовательные изменения в ткани  
в месте ее облучения Nd:YAG лазером

При продолжающемся облучении размер области некроза возрастает (рис. 5.22,*b*), температура увеличивается и при  $t > 100$  °С начинается интенсивное испарение воды, а затем следует термический распад органиче-

ских молекул (пиролиз). При  $t \approx 300^{\circ}\text{C}$  начинается горение поверхностных слоев с выделением дыма (продукты сгорания) и осаждением их на поверхности формирующегося абляционного кратера (рис. 5.22,*в-г*).

Повышение мощности излучения Nd:YAG лазера ускоряет все стадии взаимодействия луча с тканью, ведущие к абляции. При этом уменьшается и глубина термического некроза за счет экранирования глубоко расположенной и еще недостаточно прогретой ткани ее поверхностными слоями, поглощение света в которых резко возросло из-за их коагуляции и обугливания.

Действие *второго механизма* проявляется при облучении мягких водосодержащих тканей некоторыми инфракрасными лазерами, например, CO<sub>2</sub> лазером с длиной волны 10600 нм в непрерывном режиме. Его излучение в режиме абляции (плотность мощности порядка 50 кВт/см<sup>2</sup>) интенсивно поглощается молекулами тканевой воды. При этом имеет место очень быстрый разогрев воды, а от нее и неводных компонентов ткани. Следствием такого разогрева является стремительное (взрывное) испарение тканевой воды и извержение водяных паров вместе с фрагментами клеточных и тканевых структур за пределы ткани с формированием абляционного кратера. Вместе с перегретым материалом из ткани удаляется большая часть тепловой энергии, а ее незначительная оставшаяся доля приводит лишь к минимальным термическим повреждениям на глубину до 50-100 мкм за пределами абляционного кратера.

*Третий механизм* схожен со вторым, поскольку при этом также происходит расплавление облучаемого материала и его извержение под действием мощных, превышающих порог абляций, импульсов инфракрасных лазеров. Однако в данном случае воздействие лазерным излучением оказывают на твердые ткани – кость, эмаль и дентин зуба и т.д., что и определяет особенности данного механизма. Наиболее часто для воздействия на твердые ткани используют Er:YAG и Ho:YAG лазеры с длительностью импульсов 150-200 мкс. Выбор именно этих лазеров определяется высокими коэффициентами поглощения указанных излучений не только в воде, но и в некоторых минералах твердых тканей, а также возможностью генерации больших значений плотности мощности (десятки МВт/см<sup>2</sup>) в импульсе, необходимых для достижения абляционного эффекта.

Действие *четвертого механизма* проявляется при воздействии импульсными лазерами, работающими в ультрафиолетовой области. На практике в основном используются так называемые эксимерные лазеры ArF ( $\lambda = 193$  нм), XeCl ( $\lambda = 308$  нм), KrF ( $\lambda = 248$  нм), а также лазеры, УФ-излучение которых с длинами волн 211, 213, 263, 311 или 355 нм получают в качестве производных от исходно инфракрасных излучений Nd:YAG ( $\lambda = 1064$  нм) и Nd:YLF ( $\lambda = 1053$  нм) лазеров.

Излучение XeCl лазера интенсивно поглощается неводными компонентами как мягких, так и твердых тканей. Для ArF лазера характерны высокий коэффициент поглощения в белках и ДНК. Вода практически не поглощает излучений УФ-лазеров.

В экспериментальной и клинической практике диапазон плотности мощности в импульсе варьируют от нескольких МВт до единиц ГВт на  $\text{см}^2$ . Все это в существенной степени определяет особенность механизма взаимодействия излучений указанных лазеров с биологическими тканями. При взаимодействии луча эксимерного лазера с молекулами мишени энергия фотонов оказывается достаточной для разрыва ковалентных связей между отдельными атомами, распаду молекул на отдельные фрагменты и взрывообразному извержению этих фрагментов с образованием абляционного кратера. При этом извержение фрагментов из объекта происходит со сверхзвуковыми скоростями и заключенная в них тепловая энергия не успевает передаваться на стенки образующегося кратера, которые разогреваются лишь в незначительной степени.

### 5.5.5. Лазерные хирургические аппараты

Лазерные хирургические аппараты «Ланцет-1» и «Ланцет-2» были разработаны и выпускаются ГУП «КБ приборостроения» (г. Тула, Россия).

Эти аппараты обладают большой универсальностью и предназначены для применения: в хирургии (выпаривание абсцессов и остатков гнойной полости, операции на печени и селезенке, резекция внутренних органов, операции на желчных путях, операции на легких); урологии (хирургическое лечение гноино-воспалительных заболеваний, удаление опухолей); гинекологии (острый гнойный мастит, опухоли наружных половых органов, коагуляция эрозии, удаление остроконечных кондилом, полипы шейки матки); оториноларингологии (хирургия гортани, трахеи и голосовых связок); нейрохирургии (гемостаз, выпаривание опухолей); ожоговой хирургии (некрэктомия тканей при ожогах различной степени, обработка келоидных рубцов); стоматологии (хирургическая стоматология, челюстно-лицевая хирургия, лечение пародонтоза); онкологии (предраковые заболевания, вульвы, рак кожи, абдоминальная онкология); офтальмология (хирургия век, конъюктивиты, опухоли век и орбиты); дерматологии и косметологии (удаление гемангиом и татуировок, лечение гноино-воспалительных заболеваний и трафических язв, кожно-пластиическая хирургия, удаление бородавок, угрей и других новообразований). Основные технические данные этих аппаратов приведены в табл. 5.9.

Аппарат «Ланцет-1» имеет горизонтальную компоновку (рис. 5.23,*a*) и предназначен для размещения на столе.

Таблица 5.9 – Технические данные лазерных хирургических аппаратов «Ланцет-1» и «Ланцет-2»

Параметры	Ед. изм.	Значение	
		«Ланцет-1»	«Ланцет-2»
Длина волны излучения	нм	10600	
Диапазон регулирования мощности излучения на биоткани	Вт	0,1-20	
Диаметр пятна на биоткани	мм	0,2; 0,3; 0,5	
Радиус операционного пространства	мм	1000	1200
Напряжение питания	В	220	
Частота напряжения питания	Гц	50	
Потребляемая мощность	ВА	700	
Габаритные размеры в сложенном состоянии	мм	555×410×225	955×305×270
Масса	кг	25	26

Аппарат «Ланцет-2» имеет вертикальную компоновку (рис. 5.23,б), хорошо вписывается в оборудование любой операционной и имеет увеличенный радиус операционного пространства.

Аппараты «Ланцет-1» и «Ланцет-2» реализованы по технологии сверхкомпактного цельнометаллического волноводного СО<sub>2</sub> лазера с радиочастотным возбуждением активной среды. Аппараты имеют микропроцессорные системы управления с расширенным набором функций, которые обеспечивает генерирование ЭМИ в непрерывном, импульсно-периодическом и суперимпульсном режимах. Суперимпульсный режим предназначен для обработки биологических тканей без обугливания и некроза. Наведение основного излучения осуществляется в аппаратах с помощью светодиодного лазера.

Широкая область применения лазерных аппаратов «Ланцет-1» и «Ланцет-2» обеспечивается за счет сменных насадок (рис. 5.24).

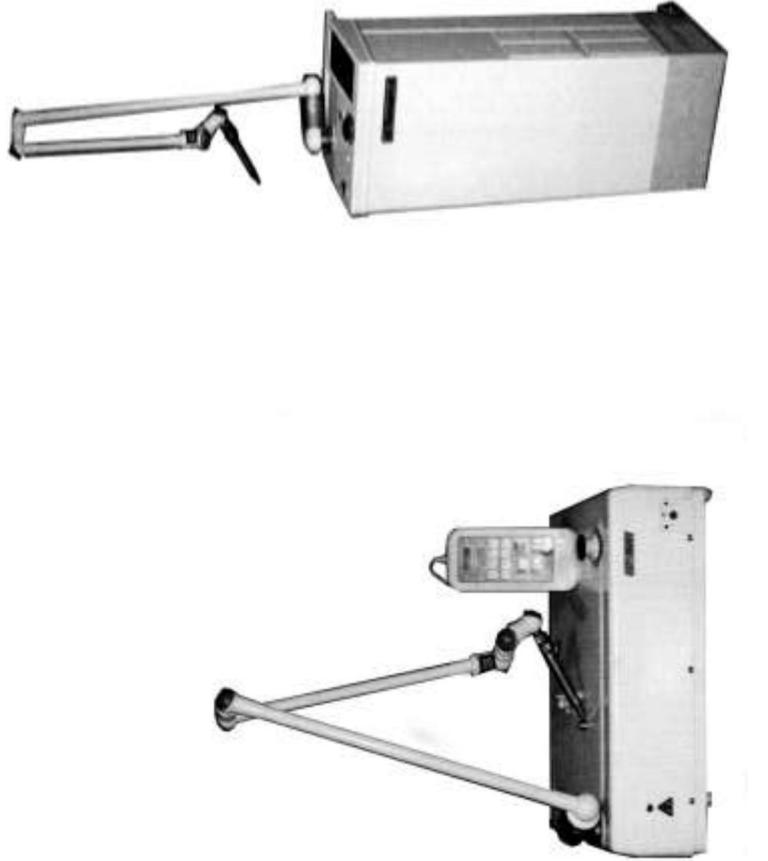


Рисунок 5.23 – Лазерные хирургические аппараты «Ланцет-1» (а)  
и «Ланцет-2» (б)



Рисунок 5.24 – Сменные насадки для гинекологии, стоматологии,  
лапароскопии, ЛОР, адапторы к кальпоскопам и операционным  
микроскопам, сканирующие устройства

Универсальный лазерный хирургический аппарат «Лазермед-1-10»  
предназначен для использования на ключевых этапах хирургических вме-  
шательств. Основными показаниями к его применению служат операции  
на обильно кровоснабженных органах, необходимость стерилизации гной-

ных ран и профилактика микробного загрязнения чистых операционных ран, прецизионная техника оперативных вмешательств, оперативные вмешательства у пациентов с нарушением свертывания крови. Основные технические данные аппарата «Лазермед-1-10» приведены в табл. 5.10.

Таблица 5.10 – Технические данные лазерного хирургического аппарата «Лазермед-1-10»

Параметры	Ед. измерения	Значение
Длина волны излучения	нм	10600
Диапазон регулирования мощности излучения	Вт	0,1-10
Диапазон регулирования длительности импульсов излучения	с	0,01-10
Размер пятна на биоткани	мм	$0,6 \times 0,15$
Продолжительность экспозиции облучения	с	$\leq 900$
Напряжение питания	В	220
Частота напряжения питания	Гц	50
Потребляемая мощность	ВА	240
Габаритные размеры	мм	$640 \times 440 \times 240$
Масса	кг	10

Аппарат «Лазермед-1-10» реализован на базе светодиодного лазера и конструктивно размещен в корпусе типа «дипломат» (рис. 5.25).

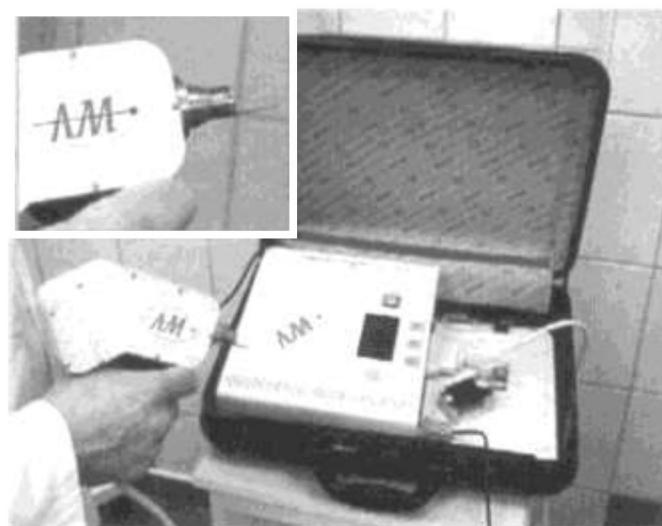


Рисунок 5.25 – Лазерный хирургический аппарат «Лазермед-1-10»

Микропроцессорная система управления обеспечивает работу аппарата «Лазермед-1-10» в непрерывном режиме, в импульсном режиме и в режиме генерирования одиночного импульса. Для наведения основного излучения в аппарате используется лазерный светодиод с длиной волны 637 нм. Дополнительно к аппарату «Лазермед-1-10» выпускаются микроманипуляторы, сканеры, система дымоотсоса, очиститель воздуха и различные сменные насадки.

Физическим институтом им. П.Н. Лебедева Российской Академии наук (г. Москва, Россия) разработаны и выпускаются лазерные хирургические аппараты на парах меди «Яхрома-Мед» и на парах золота «Ауран».

Аппарат «Яхрома-Мед» предназначен для применения в дерматологии, косметологии, эстетической хирургии, офтальмологии, оториноларингологии, гинекологии, гастроэнтерологии и онкологии. Он также с успехом используется для лечения сосудистых и пигментных дефектов кожи – телеангиэкзазии, винные пятна, гемангиомы, лентиго, кофейные пятна, цветные татуировки, бородавки, морщины.

Лечение основано на концепции селективного фототермолиза. Основные технические данные аппарата «Яхрома-Мед» приведены в табл. 5.11. Аппарат «Яхрома-Мед» выполнен в настольном исполнении и показан на рис. 5.26.

Таблица 5.11 – Технические данные лазерного аппарата «Яхрома-Мед»

Параметры	Ед. изм.	Значения
Длина волны излучения	нм	511, 578
Мощность излучения	Вт	3
Частота следования импульсов излучения	кГц	16
Длительность импульсов излучения	мс	15
Диаметр луча на биоткани	мм	1
Продолжительность экспозиции облучения	с	0,1-9,9
Выход на рабочий режим	мин	30
Напряжение питания	В	220
Частота напряжения питания	Гц	50
Потребляемая мощность	ВА	1600
Габаритные размеры	мм	890×430×240
Масса	кг	30

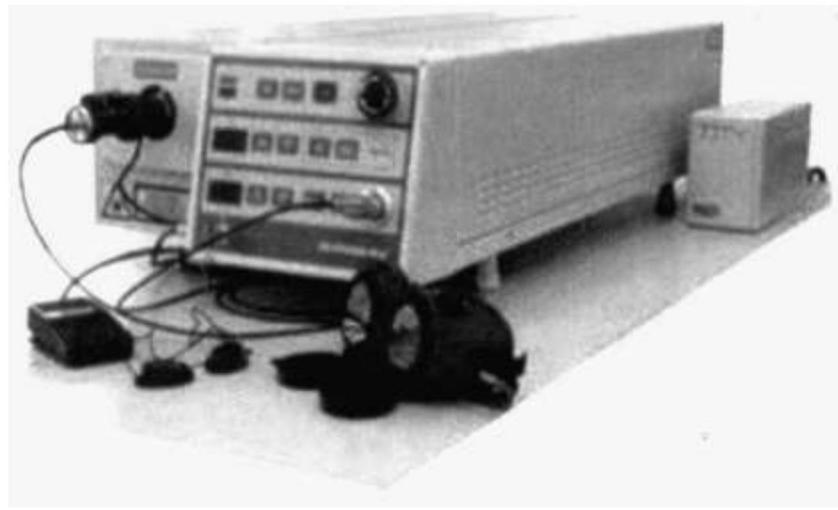


Рисунок 5.26 – Лазерный хирургический аппарат «Яхрома-Мед»

Изменение длины волны излучения осуществляется с помощью светофильтров. Аппарат комплектуется защитными очками, лазерным пером, узлом ввода излучения в световод, ножной педалью, световодом, источником бесперебойного питания.

Аппарат «Ауран» предназначен для применения в онкологии и используется для лечения опухолей различного гистогенеза методом фотодинамической терапии. Перед лечением пациенту вводится фотосенсибилизирующее вещество (светочувствительный краситель).

Под воздействием лазерного излучения фотосенсибилизатор переходит в возбужденное состояние и в межклеточном пространстве образуется атомарный кислород. Этот процесс приводит к гибели опухолевых клеток. Основные технические данные аппарата «Ауран» приведены в табл. 5.12.

Таблица 5.12 – Технические данные лазерного хирургического аппарата «Ауран»

Параметры	Единицы измерения	Значения
1	2	3
Длина волны излучения	мм	628
Мощность излучения	Вт	1
Частота следования импульсов излучения	кГц	16
Длительность импульсов излучения	нс	20
Продолжительность экспозиции облучения	мин	1-59
Выход на рабочий режим	мин	30

Продолжение табл. 5.12

1	2	3
Напряжение питания	В	220
Частота напряжения питания	Гц	50
Потребляемая мощность	ВА	1600
Габаритные размеры	мм	890×430×240
Масса	кг	30

Аппарат «Ауран» выполнен в настольном исполнении (рис. 5.27). В комплект поставки аппарата входят защитные очки, лазерное перо, узел ввода излучения в световод, ножная педаль, световод, источник бесперебойного питания.

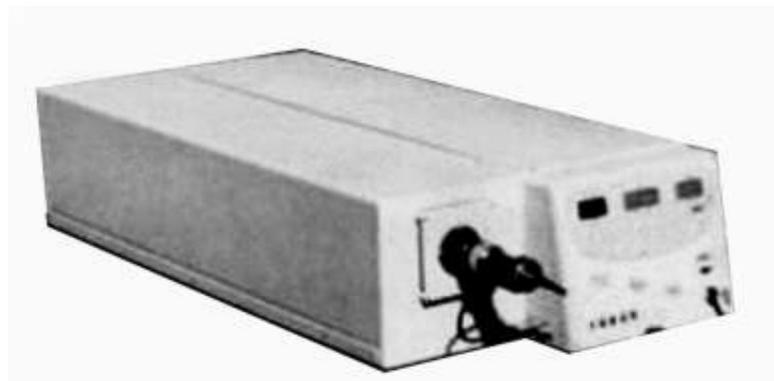


Рисунок 5.27 – Лазерный хирургический аппарат «Ауран».

Кроме рассмотренных лазерных хирургических аппаратов, в медицинской практике достаточно широко используются аппараты и других типов с различным назначением и различными параметрами.

## 5.6. ЛАЗЕРНАЯ ДИАГНОСТИКА

Луч лазера может использоваться как вне организма, так и для прямого анализа органов и тканей пациента [25]. Так, лазерный луч, пропускаемый через узкий кварцевый капилляр, по которому прокачивается специально обработанная кровь, вызывает флюoresценцию клеток крови. Флюoresцентное свечение затем улавливается чувствительными датчиками, а поскольку оно специфично для каждого типа клеток, проходящих поодиночке через сечение лазерного луча, то появляется возможность не только подсчитывать их общее число в заданном объеме крови, но и получать весьма точные количественные показатели по каждому типу клеток. Этот принцип использован в приборе, называемом *гемоцитометр*, производительность которого в сотни раз превышает скорость обычной обработки проб крови ла-

борантом, поскольку последний проводит такое исследование «на глазок», анализируя и учитывая каждую клетку под микроскопом.

Еще более совершенным диагностическим лазерным анализатором является проточный **флюориметр**, в котором клетки перед прогоном через капилляр окрашиваются специальными иммунофлюоресцентными красителями, позволяющими различать не только отдельные типы, но и разновидности типов как клеток крови, так и любых других клеточных элементов, выделенных из любых тканей организма для диагностики.

Лазерная диагностика новая и перспективная область лазерной медицины, практическая реализация которой еще только начинается, большинство исследований находится в стадии экспериментальной разработки и испытаний. Так, если луч ультрафиолетового лазера CdNe с длиной волны  $\lambda = 327$  нм пропустить через кварцевый световод по сосудистому катетеру и нацелить на исследуемую ткань, например, сердечной мышцы, то по интенсивности флюоресцентного свечения, улавливаемого через тот же световод, можно судить о концентрации в ткани важнейшего метаболита энергетического обмена NADH, высокий уровень которого соответствует интенсивной продукции энергии клетками, а дефицит, наоборот, говорит о недостаточности энергообеспечения и слабости исследуемого участка сердечной мышцы.

Флюоресценцию можно анализировать и при некоторых лазерных операциях на кровеносных сосудах, когда проводят удаление атеросклеротических бляшек эксимерным лазером XeCl с длиной волны  $\lambda=308$  нм. Одновременно проводится анализ флюоресцентного излучения от разрушающейся лазерным лучом бляшки. Такой анализ позволяет выявить наличие отложений кальция, магния, а также липидов, присутствующих в бляшке, что дает возможность контролировать ход операции и тем самым судить об эффективности удаления этих компонентов из пораженного сосуда. Довольно точно определять расположение бляшек можно и с помощью лазера на красителях ( $\lambda = 480$  нм), если перед облучением бляшки «выкрасить»  $\beta$ -каротином. В этом случае уровень индуцированного лазерным излучением свечения от бляшек будет намного выше, чем без красителя. Диагностика заболеваний с помощью лазеров (оптическая биопсия) может использоваться и в других областях, в частности, в стоматологии (для дифференциации кариогенного от нормального дентина зуба) и в гинекологии (для определения предраковых изменений в эпителии шейки матки).

Для неинвазивных исследований микроциркуляции крови получил применение метод лазерной доплеровской флуометрии (ЛДФ), который на сегодняшний день является ведущим по информативности о состоянии функционирования механизмов регуляции кровотока в микроциркуляторном русле. Регистрируемой характеристикой в методе ЛДФ является изменение перфузии, которое зависит от концентрации и скорости эритроцитов

в микроциркуляторном русле. Движение эритроцитов модулируется колебаниями сосудистой стенки, обусловленными функционированием эндотелия, нейрогенной и миогенной регуляцией, а также внешними для микроциркуляторного русла колебаниями – сердечным ритмом со стороны артерий и дыхательным ритмом – со стороны вен.

Чем выше амплитуда колебаний, тем более глубокая модуляция сосудистой стенки, вследствие более интенсивного функционирования того или иного активного механизма регуляции. Объектами нейрогенной регуляции в микроциркуляторном русле являются артериолы и артериоло-венулярные анастомозы, а миогенной регуляции – прекапиллярные сосуды и прекапиллярные сфинктеры. В зависимости от состояния нейрогенного и миогенного тонусов кровоток распределяется между нутритивным руслом и анастомозом. Очевидно, что показатель шунтирования кровотока обусловлен соотношением миогенного и нейрогенного тонусов. При более высоком миогенном тонусе увеличивается шунтирующий кровоток и растет значение показателя шунтирования.

Неинвазивный контроль состояния кровотока в системе микроциркуляции может осуществляться с помощью лазерных анализаторов «ЛАКК-02», которые производятся Научно-производственным предприятием «ЛАЗМА» (г. Москва, Россия). Во всех анализаторах предусмотрена возможность передачи данных в персональный компьютер. Программное обеспечение к анализаторам позволяет формировать базы данных, осуществлять расчет амплитуд и частот колебаний кровотока, связанных с эндотелиальной, нейрогенной и миогенной активностью, а также респираторных и сердечных ритмов. Кроме того, выполняются расчеты нейрогенного и миогенного сосудистого тонусов, а также показателя шунтирования кровотока по артериоло-венулярным анастомозам.

С помощью лазерных анализаторов «ЛАКК-02» обеспечивается несколько методов исследования микроциркуляции крови:

- одноканальный метод зондирования ткани ЛИ для исследования общего состояния микроциркуляции;
- двухканальный метод зондирования ЛИ на одной длине волн для исследования синхронизации гемодинамических ритмов в соседних зонах одной области или в симметричных областях;
- контроль микроциркуляции крови в различных объемах ткани по глубине при двухканальном зондировании в красной и ближней инфракрасной областях спектра излучения лазеров.

В медицинской практике лазерные анализаторы «ЛАКК-02» могут быть использованы для диагностики микроциркуляции в кардиологии, диabetологии, травматологии, ортопедии, проктологии, дерматологии, онкологии и стоматологии.

## **ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ**

1. Перечислите основные этапы развития лазерной медицины.
3. Поясните процессы взаимодействия лазерного излучения с клетками живого организма.
4. Назовите параметры оптического диапазона электромагнитного излучения, применяемого в лазерной медицине.
5. Укажите зависимость глубины проникновения лазерного излучения в ткани от длины волны.
6. Перечислите эффекты, возникающие в биологических объектах при их взаимодействии с низкоэнергетическим лазерным излучением.
8. Назовите основные режимы генерации лазерного излучения.
9. Поясните способы модуляции лазерного излучения.
10. Как изменяется мощность лазерного излучения при его модуляции? Приведите основные расчетные соотношения.
11. Каким образом осуществляется биосинхронизация лазерного излучения с физиологическими процессами в биологическом объекте?
12. Какие датчики используются для решения задачи биосинхронизации лазерного излучения?
13. Охарактеризуйте классификацию способов облучения низкоэнергетическим лазерным излучением в терапевтических целях.
14. Опишите общие принципы построения аппаратов лазерной терапии, дайте пояснения.
15. Перечислите параметры лазерных терапевтических аппаратов.
16. Приведите конкретный пример современного лазерного терапевтического аппарата и укажите его технические характеристики и параметры.
17. Укажите основные преимущества лазерных терапевтических аппаратов, разработанных в Харьковской научно-производственной медико-биологической корпорации «Лазер и здоровье».
18. В чем преимущества матричных терапевтических аппаратов?
19. Назовите разделы хирургии, использующие лазеры.
20. Укажите особенности организации лазерной операционной и основные требования к лазерной безопасности.
21. Назовите мероприятия по защите от лазерного излучения.
22. Поясните технику лазерного хирургического вмешательства.
23. Приведите конкретный пример современного лазерного хирургического аппарата и укажите его технические характеристики и параметры.
24. Поясните способы подведения лазерного луча к месту оперативного вмешательства.
25. В чем состоит суть лазерной диагностики? Какие лазеры используются в этом случае?

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>Условные сокращения .....</b>	5
<b>Предисловие .....</b>	6
<b>1. Общие сведения о лазерах .....</b>	8
1.1. Твердотельные импульсные лазеры.....	9
1.2. Газовые лазеры.....	14
1.3. Полупроводниковые лазеры .....	23
Вопросы и задания для самопроверки .....	31
<b>2. Применение лазеров в науке.....</b>	33
2.1. Лазерные измерители скорости .....	33
2.2. Лазерные дальномеры.....	38
2.3. Использование лазеров в физике и химии.....	41
2.4. Применение лазеров для оптической связи.....	43
2.5. Лазеры в процессах измерений и контроля.....	45
2.6. Применение лазеров в термоядерном синтезе .....	47
Вопросы и задания для самопроверки .....	50
<b>3. Применение лазеров в технике.....</b>	51
3.1. Оптическая голография .....	51
3.2. Обработка материалов лазерным лучом .....	60
3.2.1. Действие на вещество мощного лазерного луча.....	60
3.2.2. Особенности «лазерных сверл» .....	62
3.2.3. Возможность производить сварку через стеклянные перегородки.....	65
3.2.4. Использование лазеров при изготовление микросхем .....	66
3.2.5. Порезка материалов лазерным лучом .....	66
3.2.6. Современные лазерные технологии .....	68
3.2.7. Лазерная сварка .....	69
3.2.8. Термообработка.....	70
3.3. Лазерные гироскопы .....	72
Вопросы и задания для самопроверки .....	75
<b>4. Специальные лазерные технологии .....</b>	76
4.1. Лазеры в вычислительной технике.....	76
4.1.1. Лазерный принтер .....	76
4.1.2. Оптическая цифровая память .....	77
4.1.3. Лазерно-оптическое считывание и запись информации .....	77
4.2. Лазерные технологии в микроэлектронике .....	83
4.2.1. Трафаретная печать.....	84
4.2.2. Лазерная обработка трафаретов .....	84
4.2.3. Оборудование для лазерной обработки стальных трафаретов.....	85

4.2.4. Полимерные трафареты.....	87
4.2.5. Оборудование для лазерной обработки полимерных трафаретов.....	89
4.2.6. Паяльно-ремонтный центр IR500A .....	90
Вопросы и задания для самопроверки .....	92
<b>5. Применение лазеров в медицине .....</b>	<b>94</b>
5.1. Исторические аспекты лазерной медицины.....	94
5.2. Взаимодействие лазерного излучения с биологическими объектами.....	97
5.3. Частотно-временные параметры лазерного излучения.....	100
5.3.1. Электромагнитное излучение оптического диапазона.....	100
5.3.2. Режимы генерации лазерного излучения .....	103
5.3.3. Модуляция лазерного излучения.....	105
5.3.4. Синхронизация лазерного излучения с биоритмами человека.....	108
5.4. Лазерная терапия.....	109
5.4.1. Классификация способов облучения НЭЛИ .....	109
5.4.2. Общие принципы построения аппаратов лазерной терапии .....	111
5.4.3. Универсальные аппараты лазерной терапии «Мустанг-2000» .....	114
5.4.4. Аппарат лазерной терапии «Мулат» для внутривенного облучения крови .....	118
5.4.5. Магнитолазерный терапевтический аппарат «МИЛТА-Ф» .....	120
5.4.6. Лазерный массажер «Барва-ЛМК».....	122
5.4.7. Фотонная матрица «Барва-Флекс» .....	124
5.4.8. Фотонный зонд «Барва-ГПУ» .....	128
5.5. Лазерная хирургия.....	130
5.5.1. Основные разделы хирургии и показания к применению лазеров .....	130
5.5.2. Организация лазерной операционной и мероприятия по защите от лазерного излучения .....	133
5.5.3. Техника лазерных хирургических вмешательств .....	136
5.5.4. Взаимодействие излучений хирургических лазеров с биологической тканью .....	139
5.5.5. Лазерные хирургические аппараты .....	142
5.6. Лазерная диагностика .....	148
Вопросы и задания для самопроверки .....	151
<b>Список источников информации.....</b>	<b>152</b>

## **УСЛОВНЫЕ СОКРАЩЕНИЯ**

АЛТ	– аппарат лазерной терапии
АТФ	– адезинтрифосфорная кислота
ВЛОК	– внутрисосудистое (внутривенное) лазерное облучение крови
ВЧ	– высокочастотный
ВЭЛИ	– высокоэнергетическое лазерное облучение
ГНЛ	– гелий-неоновые лазеры
ДГР	– двойная гетероструктура
ДНК	– дезоксирибонуклеиновая кислота
ИК	– инфракрасный
ЛДИС	– лазерные доплеровские измерители скоростей
ЛДФ	– лазерная доплеровская флуориметрия
ЛИ	– лазерное излучение
ЛОР	– оториноларингология
МЛТ	– магнитолазерная терапия
НЭЛИ	– низкоэнергетическое лазерное излучение
ПМП	– постоянное магнитное поле
РНК	– рибоксинуклеиновая кислота
СВЧ	– сверхвысокочастотный
СОЭ	– скорость оседания эритроцитов
ТПН	– термопластические носители для записи голограмм
УФ	– ультрафиолетовый
ФЭУ	– фотоэлектронный умножитель
ЦНС	– центральная нервная система
ЭМИ	– электромагнитное излучение
ЭЭГ	– электроэнцефалограмма
CO <sub>2</sub>	– лазер на смеси углекислого газа и азота
He-Ne	– лазер на смеси газов гелия и неона
pH	– уровень кислотности
TEA	– CO <sub>2</sub> лазер атмосферного давления с поперечным возбуждением (Transversely Excited Atmospheric Pressure)
YAG	– лазер на иттрий-алюминиевом гранате с примесью неодима

Навчальне видання  
Серія «Фізична та біомедична електроніка»

**КОЛЕСНИК Юрій Ігоревич**  
**КІПЕНСЬКИЙ Андрій Володимирович**

**КВАНТОВА ЕЛЕКТРОНІКА.  
Застосування лазерів**

**Навчальний посібник**

для студентів спеціальностей 7.090803 «Електронні системи» і  
7.090804 «Фізична і біомедична електроніка»  
денної та заочної форм навчання

Російською мовою

Роботу рекомендував до видання д-р техн. наук, проф. В.П.Себко

В авторській редакції  
Ком'ютерна підготовка  
оригінал-макета  
Чміхова О.В.

План 2005, поз. 57.

Підп. до друку 15.01.05 р. Формат 60x84 1/16. Папір Могра.  
Друк – ризографія. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 8,0.  
Обл.-вид. арк.. 10,0. Наклад 100 прим. Зам. № . Ціна договірна.