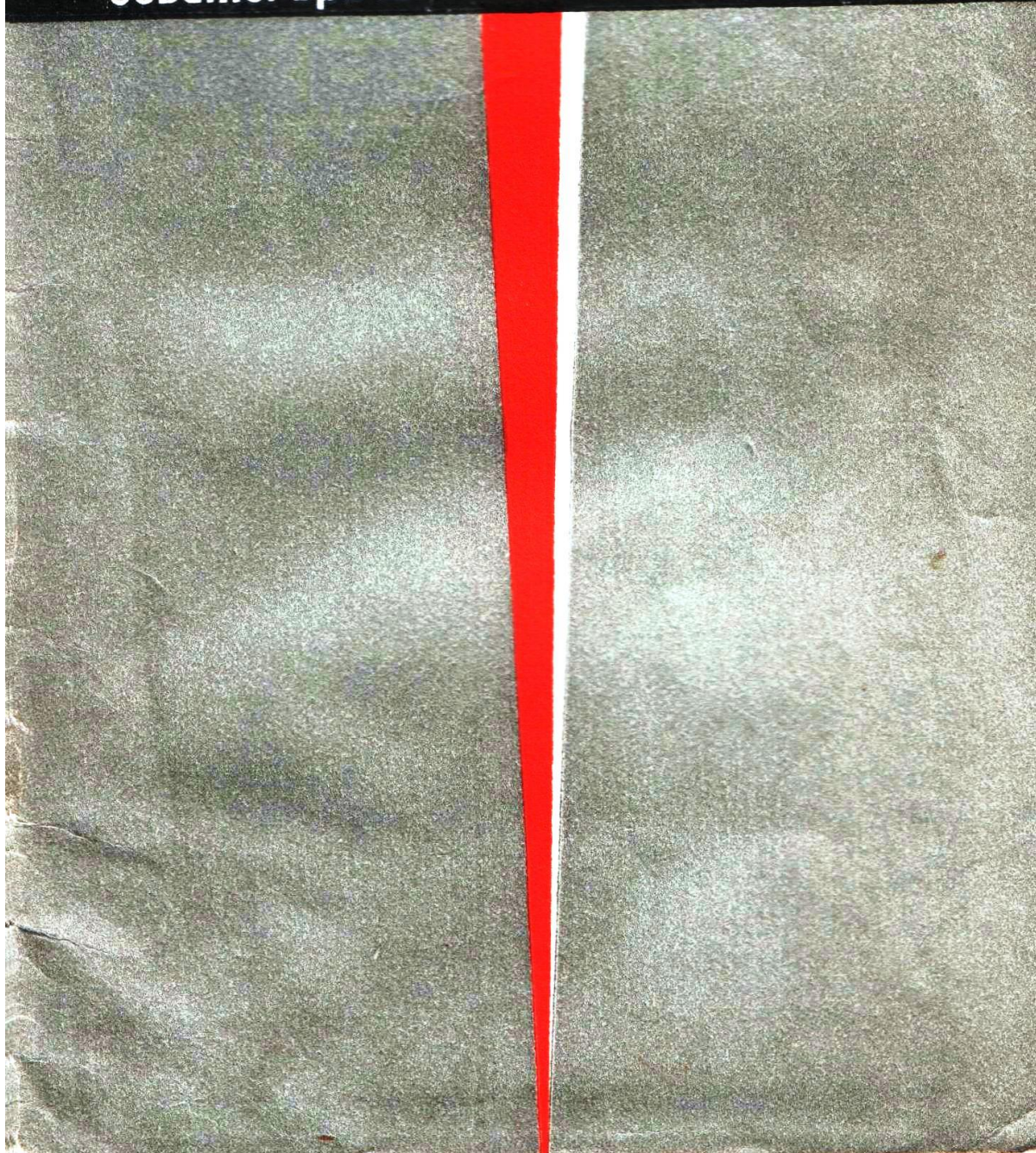


Н. Ф. Гамалея, Э. М. Рудых, В. Я. Стадник

ЛАЗЕРЫ

В МЕДИЦИНЕ

советы врача



советы врач

Серия основана в 1970 году

Н. Ф. Гамалея, З. М. Рудых, В. Я. Стадник

ЛАЗЕРЫ В МЕДИЦИНЕ

Киев
«Здоровья»
1988

ББК 53.6

Г18

УДК 615.849.19

Авторы книги: Гамалея Н. Ф., проф., д-р биол. наук; Рудых З. М., канд. биол. наук; Стадник В. Я., врач — сотрудники Института проблем онкологии им. Р. Е. Кавецкого АН УССР.

В книге рассказывается о природе лазерного излучения, его источниках и механизмах действия на живую клетку. Описываются возможности применения лазерных установок в различных областях медицины, в частности в онкологии, хирургии, офтальмологии и др.

Для широких кругов читателей.

Рецензенты:

Проф. А. П. Козлов, д-р мед. наук А. Б. Итин,
канд. мед. наук А. В. Иванов

Г $\frac{4116000000}{M209(04) - 88}$ КУ - 5 - 117 - 88

ISBN 5-311-00093-7

© Издательство
«Здоровья», 1988

От авторов

Создание лазеров явилось одним из тех великих достижений человеческой мысли, которые коренным образом изменяют постановку и решение самых различных проблем — больших и малых, научных и производственных. Острейшая проблема нашего времени — проблема сохранения мира на Земле. Сегодня, как никогда, возросла угроза войны, которая может выйти за пределы планеты и шагнуть в Космос. Ведение таких войн стало возможным с изобретением лазерного оружия. И, может быть, по этой причине в представлении многих лазеры — источники мощного излучения, способные только уничтожать и разрушать. Но лазер успешно применяется в различных областях науки и техники. Его открытие способствует развитию научно-технической революции.

Создание лазеров явилось результатом развития квантовой электроники. В 1960 году был разработан первый генератор электромагнитного излучения светового диапазона — рубиновый лазер. Прошло немногим более 25 лет, и в настоящее время в мире ежегодно выпускается несколько миллионов установок, работающих на лазерах различного типа. Лазеры — уникальные источники энергии, позволяют решать сложнейшие технические и технологические задачи. Без лазеров теперь невозможно проведение многих фундаментальных исследований. За короткое время лазеры внедрились практически во все области науки, включая биологию и медицину.

В руках врачей лазерное излучение возвращает здоровье многим тысячам пациентов. Лазеры успешно применяют в офтальмологии, онкологии, хирургии, дерматологии, гинекологии, стоматологии и других отраслях практической медицины. В недалеком будущем традиционные приемы хирургических вмешательств уступят место бескровным, нетравматичным методам лазерной хирургии. По данным специалистов, из 6 700 000 хирургических операций, производимых ежегодно, более 1 800 000 операций могут быть заменены вмешательствами с применением лазерного излучения. Ожидается, что количество выпускаемых лазерных установок, применяемых в хирургии, ежегодно будет увеличиваться на 25 %. При этом наиболее значительной

областью применения лазеров станет эндоскопическая хирургия, что значительно расширит диапазон их использования в хирургической практике.

Советский Союз занимает одно из ведущих мест в разработке и производстве лазеров. Советские ученые внесли значительный вклад в развитие лазерной биологии и медицины. Еще в 1965 г. в Институте проблем онкологии АН УССР по инициативе академика Р. Е. Кавецкого было развернуто широкое изучение биологического и противоопухолевого действия лазерного излучения. В настоящее время лазерное излучение как новое средство лечения онкологических больных применяется во многих клиниках нашей страны.

Исследования по применению лазеров для лечения глазных болезней успешно развиваются в Московском НИИ глазных болезней им. Г. Л. Ф. Гельмгольца, Одесском институте глазных болезней и тканевой терапии им. В. П. Филатова МЗ УССР, Московском НИИ микрохирургии глаза МЗ СССР и др. Все шире используются методы лазерной биостимуляции организма.

В «Основных направлениях охраны здоровья населения и перестройки здравоохранения СССР в двенадцатой пятилетке и на период до 2000 года» указывается, что непременным условием дальнейшей снижения заболеваемости и смертности населения, повышения качества медицинской помощи является развитие и укрепление ее специализированных видов. В связи с этим создаются новые лаборатории, центры лазерных исследований.

Сегодня лазеры занимают прочное место в арсенале самых современных средств, применяемых в борьбе за здоровье человека. В этой книге мы хотим рассказать о наиболее важных достижениях в области медицинского использования лазерного излучения и перспективах его применения.

Гиперболоид XX века

С давних времен идея создания аппарата, который бы концентрировал свет в мощный пучок, способный разрушать предметы на расстоянии, занимала умы ученых, изобретателей, писателей-фантастов. Всемирно известны романы «Война миров» Герберта Уэллса, «Гиперболоид инженера Гарина» Алексея Толстого, где описано магическое действие теплового или светового луча.

Аппараты — источники могущественного излучения, интересовали не только писателей-фантастов. В первой половине текущего столетия в научные учреждения поступали сотни неосуществимых предложений и проектов по созданию приборов, сжигающих на расстоянии.

Еще в 1944 г. непререкаемые авторитеты в области оптики считали идею создания аппаратов, подобных гиперболоиду инженера Гарина, несбыточной химерой, а в 1960 г. появились приборы, которые, давали световой луч такой фантастической мощности, что не уступали гиперболоиду. Они получили название «лазеры».

Созданию лазеров предшествовала огромная работа многочисленных исследователей в разных лабораториях мира, изучавших проблему света. Знаменитый немецкий астроном И. Кеплер (1571 — 1630) утверждал, что светящиеся тела непрерывной струей выбрасывают особое вещество, которое движется с огромной, беспредельно возрастающей скоростью.

Английский математик, механик, астроном и физик, Исаак Ньютон (1643 — 1727) выдвинул корпускулярную теорию света. Он считал, что свет — это поток невесомых частиц, излучаемых светящимся предметом. Эта теория просуществовала около двухсот лет, то есть до того времени, пока Х. Гюйгенс (1629 — 1695) не доказал, что свет представляет собой не частицы, а волны. Триумфом явилась квантовая теория, согласно которой свет — это электромагнитные колебания, излучаемые светящимся телом отдельными порциями (квантами). Таким образом, свет обладает свойствами, как частиц, так и волн.

Впервые мысль о получении искусственного, «стимулированного, или вынужденного, испускания квантов электромагнитного поля» была высказана физиком-теоретиком

Альбертом Эйнштейном (1879 — 1955) в 1916 г. Он предложил идею создания принципиально нового источника светового излучения. Ведь до этого времени считалось, что свет можно получать только при нагревании тела или на основании явления люминесценции. Однако до создания лазеров было еще далеко.

В 1939 г. советский ученый В. А. Фабрикант начал большую экспериментальную работу по исследованию электрического разряда в газах. В 1954 г. им была выдвинута теория об усилении электромагнитного излучения. Открылась заманчивая перспектива создания усилителя электромагнитных колебаний. Начался этап практического освоения идеи индуцированного излучения.

В начале 60-х годов появились сообщения о рождении новых световых приборов — лазеров. Им предрекали большое будущее.

Работа ученых получила наивысшую оценку: 10 декабря 1964 г. в Стокгольме группе ученых вручали Нобелевскую премию. Среди них были два советских физика — Николай Геннадиевич Басов (р. 1922) и Александр Михайлович Прохоров (р. 1916) и американский ученый — Чарльз Таунс (р. 1915). Торжественная церемония проходила в помещении Стокгольмского Концерт-Хауса. Звучала музыка. В зале, заполненном шведскими академиками и почетными горожанами, сидели только лауреаты. Остальные стояли, в том числе и сам король Густав VI Адольф, который лично вручал лауреатам медали и дипломы. Тем самым отдавалась дань большой науке, перед которой истают даже короли. В дипломах указывалось, что Нобелевская премия присуждена за основополагающие работы и области квантовой электроники, позволившие создать лазеры.

ЧТО ТАКОЕ ЛАЗЕРЫ!

Термин «лазер» («laser») составлен из начальных букв пяти слов сочетания «Light amplification by stimulated émission of radiation», что в переводе с английского означает «усиление света путем его вынужденного излучения». В сущности, лазер представляет собой источник света, в котором путем внешнего освещения достигается возбуждение атомов определенного вещества. И когда эти атомы под воздействием внешнего электромагнитного излучения возвращаются в исходное состояние, происходит вынужденное излучение света.

Принцип действия лазера сложен. Согласно планетарной модели строения атома, предложенной английским физиком Э. Резерфордом (1871 — 1937),

в атомах различных веществ электроны движутся вокруг ядра по определенным энергетическим орбитам. Каждой орбите соответствует определенное значение энергии электрона. В обычном, невозбужденном состоянии электроны атома занимают более низкие энергетические уровни. Они способны только поглощать падающее на них излучение. В результате взаимодействия с излучением атом приобретает дополнительное количество энергии, и тогда один или несколько его электронов переходят на отдаленные от ядра орбиты, то есть на более высокие энергетические уровни. В таких случаях говорят, что атом перешел в возбужденное состояние. Поглощение энергии происходит строго определенными порциями — квантами. Избыточное количество энергии, полученной атомом, не может в нем оставаться бесконечно долго — атом стремится избавиться от излишка энергии. Возбужденный атом при определенных условиях будет отдавать полученную энергию также строго определенными порциями, в процессе чего электроны возвращаются на прежние энергетические уровни. При этом образуются кванты света (фотоны), энергия которых равна разности энергии двух уровней. Происходит самопроизвольное, или спонтанное, излучение энергии.

Возбужденные атомы способны излучать не только сами по себе, но и под действием падающего на них излучения. При этом излученный квант и квант, «породивший» его, похожи друг на друга. В результате индуцированное (вызванное) излучение имеет ту же длину волны, что и вызвавшая его волна. Вероятность индуцированного излучения будет нарастать при увеличении количества электронов, перешедших на верхний энергетический уровень. Существуют так называемые инверсные системы атомов, где происходит накопление электронов преимущественно на более высоких энергетических уровнях. В них процессы излучения квантов преобладают над процессами поглощения.

Инверсные системы используются при создании оптических квантовых генераторов — лазеров. Подобную активную среду помещают в оптический резонатор, состоящий из двух параллельных высококачественных зеркал, размещенных по обе стороны от активной среды. Кванты излучения, попавшие в эту среду, многократно отражаясь от зеркал, бесчисленное количество раз пересекают активную среду. При этом каждый квант вызывает появление одного или нескольких таких же квантов за счет излучения атомов, находящихся на более высоких уровнях.

Рассмотрим принцип работы лазера на кристаллах рубина. Рубин — природный минерал кристаллического строения, исключительно твердый (почти как алмаз). Внешне кристаллы рубина очень красивы. Их цвет зависит от содержания хрома и имеет различные оттенки: от светло розового до темно-красного. По химической структуре рубин — окись алюминия с примесью (0,05 %) хрома. Атомы хрома — активное вещество рубинового кристалла. Именно они являются усилителями волн видимого света и источником лазерного излучения. Возможное энергетическое состояние ионов хрома можно представить в виде трех уровней (I, II и III). Чтобы активизировать рубин и привести атомы хрома в «рабочее» состояние, на кристалл навивают спиральную лампу-накачку, работающую в импульсном режиме и дающую мощное зеленое излучение света. Эти «зеленые» кванты тотчас поглощаются электронами хрома, находящимися на нижнем, энергетическом уровне (I). Возбужденным электронам достаточно поглощенной энергии для перехода на верхний (III) энергетический уровень. Возвратиться в основное состояние электроны атомов хрома могут либо непосредственно из III уровня на I, либо через промежуточный (II) уровень. Вероятность перехода их на II уровень больше, чем на I.

Большая часть поглощенной энергии переходит на промежуточный (II) уровень. При наличии достаточно интенсивного возбуждающего излучения представляется возможность получить на II уровне больше атомов, чем осталось на основном. Если теперь осветить активизированный кристалл рубина слабым красным светом (этот фотон соответствует переходу со II в I, основное состояние), то «красные» кванты как бы подтолкнут возбужденные ионы хрома, и они со II энергетического уровня перейдут на I. Рубин при этом излучит красный свет. Так как кристалл рубина представляет собой стержень, торцовые поверхности которого изготавливаются в виде двух отражающих зеркал, то отразившись от торцов рубина, «красная» волна вновь пройдет через кристалл и на своем пути всякий раз будет вовлекать в процесс излучения все большее число новых частиц, находящихся на II энергетическом уровне. Таким образом, в кристалле рубина непрерывно накапливается световая энергия, которая выходит за его границы через одну из торцевых полупрозрачных зеркальных поверхностей в виде испепеляющего красного луча, в миллион раз превосходящего по яркости луч солнца.

Помимо рубина, в качестве активного вещества можно

применять и другие кристаллы, например, магния окись, топаз, уваровит, раствор неодима в стекле и т. д.

Удивительное свойство кристалла преобразовывать свет было известно еще древней Индии. У индусов существовала легенда о камнях, сияющих ярче самого солнца. Она описана в романе «Лезвие бритвы» замечательного фантаста И. Ефремова. Действие происходило за тысячу лет до нашей эры. В одном из индийских храмов в руки воинов Александра Македонского попала таинственная корона, украшенная необычными, по особому ограненными камнями. Согласно преданию монахов, ее передали людям боги. Надевать корону могли только святые, ибо если в яркий солнечный день она окажется на голове смертного, то человек погибнет от таинственного излучения. Считая себя непобедимым и бессмертным, Александр Македонский надел корону и вышел из храма на освещенную ярким полуденным солнцем площадь. Воины с ликованием встретили своего полководца, на голове которого блистала корона богов. Вдруг Александр Македонский пошатнулся и упал. Вскоре он занемог и умер.

Трудно предполагать, что было истинной причиной смерти полководца, но определенная ценность легенды состоит в том, что в ней, пожалуй, впервые было описано свойство кристаллов генерировать качественно новый вид излучения.

Существуют и газовые лазеры, в которых активным веществом являются газы (например, смесь аргона и кислорода, гелия и неона, окись углерода), а также полупроводниковые лазеры. Имеются лазеры, в которых в качестве активного вещества используются жидкости. В зависимости от устройства лазера его излучение может происходить в виде молниеносных отдельных импульсов («выстрелов») либо непрерывно. Поэтому различают лазеры импульсного и непрерывного действия. К первым относится рубиновый лазер, а ко вторым — газовые, Полупроводниковые лазеры могут работать как в импульсном, так и в непрерывном режимах.

Лазерное излучение имеет свои характерные черты. Это когерентность, монохроматичность и направленность.

Монохроматический — значит одноцветный. Благодаря этому свойству луч лазера представляет собой колебания одной длины волны. Например, обычный солнечный свет — это излучение широкого спектра, состоящее из волн различной длины и различного цвета. Лазеры имеют свою, строго определенную длину волны. Излучение гелий-неонового лазера — красное, аргонового — зеленое, гелий-кадмиевого — синее, неодимового — невидимое (инфракрасное).

Монохроматичность лазерного света придает ему уникальные свойства. Вызывает недоумение тот факт, что лазерный луч определенной энергии способен пробить стальную пластинку, но на коже человека не оставляет почти никакого следа. Это объясняется избирательностью действия лазерного излучения. Свет лазера вызывает изменения лишь в той среде, которая его поглощает, а степень поглощения зависит от оптических свойств материалов. Обычно каждый материал максимально поглощает излучение лишь определенной длины волны.

Избирательное действие лазерных лучей наглядно демонстрирует опыт с двойным воздушным шаром. Если вложить зеленый резиновый шар внутрь шара из бесцветной резины и надуть их, то получится двойной воздушный шар. При выстреле рубиновым лазером разрывается только внутренняя (зеленая) оболочка шара, которая хорошо поглощает красное лазерное излучение. Прозрачный наружный шар остается целым.

Красный свет рубинового лазера интенсивно поглощается зелеными растениями, разрушая их ткани. Наоборот, зеленое излучение аргонового лазера слабо абсорбируется листьями растений, но активно поглощается красными кровяными тельцами (эритроцитами) и быстро повреждает их.

Второй отличительной чертой лазерного излучения является его когерентность. Когерентность в переводе с английского языка (*coherency*) означает связь, согласованность. Это значит, что в различных точках пространства в одно и то же время или в одной и той же точке в различные отрезки времени световые колебания координированы между собой. В обычных световых источниках кванты света выпускаются беспорядочно, хаотически, несогласованно, то есть некогерентно. В лазере излучение носит вынужденный характер, поэтому генерация фотонов происходит согласованно и по направлению, и по фазе.

Когерентность лазерного излучения обуславливает его строгую направленность — распространение светового потока узким пучком в пределах очень маленького угла. Для света лазеров угол расходимости может быть меньше 0,01 мин, а это значит, что лазерные лучи распространяются практически параллельно. Если синезеленый луч лазера направить на поверхность Луны, которая находится от Земли на расстоянии 400 000 км, то диаметр светового пятна на Луне будет всего около 3 км, то есть на дистанции 130 км лазерный луч расходится меньше чем на 1 м. При использовании телескопов лазерный луч можно было бы увидеть

на расстоянии 0,1 светового года (один световой год равен 1013 км).

Если мы попробуем сконцентрировать с помощью собирающей линзы свет обыкновенной электролампочки, то не сможем получить точечное пятно. Это связано с тем, что преломляющая способность волн разной длины, из которых состоит свет, различна и лучи волн с одинаковой длиной собираются в отдельный фокус. Поэтому пятно получается размытым. Уникальные свойства лазерного излучения (монохроматичность и малая расходимость) позволяют с помощью системы линз сфокусировать его на очень малую площадь. Эта площадь может быть уменьшена настолько, что по размерам будет равна длине волны фокусируемого света. Так, для рубинового лазера наименьший диаметр светового пятна составляет примерно 0,7 мкм. Таким образом, можно создать чрезвычайно высокую плотность излучения, то есть максимально сконцентрировать энергию. Лазер с энергией в 100 Дж дает такие же вспышки, как электрическая лампочка мощностью в 100 Вт при горении в течение 1 с. Однако вспышка лазера длится миллионные доли секунды и, следовательно, та же энергия оказывается как бы спрессованной в миллион раз. Вот почему в узком спектральном диапазоне яркость вспышки мощных лазеров может превышать яркость Солнца в миллиарды раз. С помощью лазеров можно достигнуть плотности энергии излучения около 10^{15} Вт/м², в то время как плотность излучения Солнца составляет только 7-10⁷ Вт/м². Благодаря такой огромной плотности энергии в месте фокусировки пучка мгновенно испаряется любое вещество.

Поистине был прав известный французский физик Луи де Бройль (р. 1892), который сказал: «Лазеру уготовано большое будущее. Трудно предугадать, где и как он будет применяться, но я думаю, что лазер — это целая техническая эпоха». По сведениям зарубежной печати, уже в 1965 г. в США в разработках, производстве и применении всех типов лазеров принимали участие 367 фирм, в 1966 г.— 721, в 1967 г.— 800. В настоящее время в этой области работают более 1000 фирм. В приведенную цифру не включено количество центров и научных лабораторий, занимающихся исследованиями по заказу министерства обороны США. Ныне США выпускают около 2000 разновидностей промышленных моделей только газовых лазеров. В 1985 г. выпуск лазеров в США достиг миллиона штук.

Лазеры широко используются в качестве измерительных приборов. С их помощью наблюдают за искусственными спутниками Земли. Для этой цели на искусственном

спутнике помещают световой отражатель. Спутник отощают светом, идущим от лазера, и регистрируют отраженный свет. Таким образом, определяют положение искусственных спутников Земли на орбите с точностью до 1,5—2 м. С помощью лазера удалось измерить расстояние от Земли до Луны с точностью до 4 м. Лазерный дальномер используют в системах посадки самолетов, в подводных системах обзора и даже как миниатюрный локатор для слепых. Лазер массой в 60 г монтируют в трость, которой пользуется незрячий. При появлении близкого препятствия ручка трости начинает слегка подрагивать.

Тот же принцип, что и при измерении расстояния, используется для изучения рельефов местности, оценки состояния морской поверхности.

Успешно используются лазеры в радиолокации. При этом значительно повышается точность определения скорости движущегося объекта и его местонахождения.

Лазеры применяют для измерения скорости вращения Земли и при стыковке космических кораблей. Они незаменимы в вычислительной технике. В различных лабораториях мира ведутся интенсивные разработки телевизионных систем на основе лазеров. Одно из наиболее перспективных направлений исследований связано с использованием лазеров в системах цветного телевидения. По яркости изображения и качеству воспроизведения цвета цветные телевизоры с лазерными системами значительно превосходят современные электронно-лучевые аппараты.

Уникальные свойства лазерных лучей, позволяющие сфокусировать их на очень малую площадь поверхности (до 10^{-8} см²), сделали лазер незаменимым при изготовлении элементов микроэлектроники и выполнении операций, требующих высокой точности. Так, лазеры широко применяются при изготовлении и обработке деталей в часовой промышленности Швейцарии. Сфокусированный лазерный луч мощных лазерных установок, имеющий огромную плотность энергии, используется для сварки и непрерывной резки металлов, обработки сверхтвердых материалов, в частности алмаза и корунда.

Названные примеры далеко не полностью отражают те области науки и техники, где широко и успешно используются лазерные лучи. Но лазер приобрел не только технические профессии. Его чудодейственные лучи вернули здоровье тысячам людей. Однако, прежде чем лазер стали применять в клинике, необходимо было выяснить механизм биологического действия лазерного излучения, всесторонне исследовать

влияние лучей на различные клетки, ткани, системы человеческого организма в отдельности и на весь организм в целом.

КАК ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ВОЗДЕЙСТВУЕТ НА ОРГАНЫ И ТКАНИ ЖИВОГО ОРГАНИЗМА

Биологическое действие лазерного излучения довольно разнообразно и зависит от характера облучаемых тканей. Если лазерное излучение отражается тканью или рассеивается внутри нее, то биологический эффект лазерного воздействия незначителен. Для оказания действия на биологические структуры лазерный свет должен быть ими поглощен. Поглощение лазерной энергии зависит от свойств как лазерного излучения, так и биологического объекта, на который осуществляется воздействие.

Поглощение света веществом — внутримолекулярный физический процесс. Свет поглощается молекулами, их комплексами, а не сложными биологическими структурами — такими, например, как ядра клеток, клетки, сетчатка и т. д. Поглощенная молекулами лучистая энергия превращается в другие виды энергии и, прежде всего, — в тепловую. Так как в тепло преобразуется значительная часть лазерного излучения, то поражение тканей животных и человека носит чаще всего характер термического и зависит от мощности падающего светового потока.

Что же происходит в тканях организма при воздействии на них высокоэнергетического лазерного излучения? Ткань начинает поглощать лучи и нагревается. Однако повышение температуры от 37 °С до 60 °С не вызывает в тканях каких-либо видимых структурных изменений. При температуре выше 60 °С начинается процесс коагуляции, то есть свертывания или образования сгустка. Облучаемая поверхность становится белой. Явления коагуляции мы наблюдаем, когда опускаем в горячую воду белок куриного яйца. При нагревании ткани до 100 °С происходит более сложный процесс. Вода, содержащаяся в клетках, закипает, превращается в пар. Резко возрастает давление внутри клетки. Это влечет за собой тысячекратное увеличение ее объема. Клеточная стенка разрывается и пар выходит наружу. После того, как вода испарилась, быстро возрастает температура остального материала, пока не будет достигнута температура между 300 °С и 400 °С. Ткань чернеет, обугливается и начинает дымиться. При температуре свыше 500 °С в присутствии атмосферного кислорода ткань будет гореть и испаряться.

Наиболее полно изучено воздействие лазера на глаз и кожу. Кожа служит тем защитным покровом, на который, в первую очередь, влияют различные внешние факторы. Глаз же очень чувствителен к лазерному излучению. Даже в тех случаях, когда в глаз попадает сравнительно немного лазерного света, хрусталик (естественная оптическая система глаза) фокусирует попавшие в него лучи и в точке фокуса на глазном дне может создаваться концентрация энергии, достаточная для возникновения ожога. Молниеносность вспышки импульсного лазера делает неэффективными естественные защитные механизмы глаза: человек, в буквальном смысле слова, не успевает моргнуть.

Повышение температуры — не единственный результат воздействия лазерного излучения на ткани организма. Как свидетельствуют результаты экспериментальных исследований, смертельный исход вызывается не только тепловым воздействием лазера. Так, в опытах с облучением рубиновым лазером головы мышей у погибших животных на коже черепа были обнаружены лишь незначительные повреждения. В то же время в мозгу были найдены обширные пораженные участки и кровоизлияния, находившиеся в стороне от облученной области головы. Эти явления нельзя объяснить простым нагреванием облученных тканей. В таком случае по ходу луча лазера наблюдался бы ожог кожи, костей и мозговых оболочек.

Данный эксперимент и ряд последующих наблюдений свидетельствуют об ударном действии лазерной радиации на облученные органы и ткани. Механизм возникновения удара можно представить себе следующим образом. Вследствие очень быстрого (взрывообразного) нагревания материала тепло не успевает передаться соседним участкам и сосредоточивается в зоне облучения. Это приводит к резкому тепловому расширению ткани, распространяющемуся в ней в виде ударной волны. Давление бывает особенно сильным, если в результате нагревания материала образуется пар.

Процессы, развивающиеся в биологических тканях под влиянием лазерного излучения, не исчерпываются тепловыми и ударными действиями. В связи с большой концентрацией энергии в лазерном луче в молекулах биологических веществ могут происходить электрические, фотоэлектрические, фотохимические и другие эффекты. В зависимости от типа лазера и величины энергии излучения на первый план выступают различные эффекты, характерные для взаимодействия лазерной радиации с биологическим материалом. Так, газовые лазеры, излучающие свет в виде непрерывного потока,

вызывают в биологических тканях в основном тепловые изменения. При импульсных лазерах, дающих очень короткие и мощные вспышки света, отмечаются явления ударного типа и другие, так называемые нелинейные эффекты.

Изложенное выше дает представление о тех основных эффектах, которые достигаются с помощью лазерного облучения и используются специалистами медико-биологического профиля.

Можно выделить три направления в области использования лазеров в медицине. К первому относится воздействие на ткани патологического очага импульсным или непрерывным лазерным излучением при плотности мощности, недостаточной для глубокого обезвоживания, испарения тканей и возникновения в них дефекта. Этот тип воздействия лазеров применяется в дерматологии и онкологии для облучения патологических тканевых образований. При таком режиме ткани подвергаются коагуляции. Второй тип — рассечение тканей. Под влиянием лазерного излучения непрерывного или импульсно-периодического действия часть ткани испаряется и в ней возникает дефект. В данном случае мощность излучения может превосходить используемую при коагуляции на два порядка и более. Второй тип воздействия применяется в хирургии. Третье направление — это влияние на ткани и органы низкоэнергетического излучения, обычно не вызывающего явных морфологических изменений, но приводящего к определенным биохимическим и физиологическим сдвигам в организме (по типу физиотерапевтического).

ВОЗВРАЩЕНИЕ ЗРЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРНЫХ ЛУЧЕЙ

Потеря зрения - большое несчастье. «Ничего не может быть страшнее, как потерять зрение: это невыразимая обида, она отнимает у человека девять десятых мира»,— писал М. Горький. Резкое ослабление зрения лишает человека полноты представления об окружающем мире, затрудняет его познание.

Создание лазеров сразу привлекло к себе внимание врачей-офтальмологов. В этой области медицины лазер впервые нашел практическое применение.

Глаз наиболее чувствительный из всех органов к лазерному излучению. Попадающий в него световой поток, даже небольшой интенсивности, фокусируется хрусталиком и концентрируется на глазном дне в виде маленького светового

пятна. При этом плотность энергии достаточна для возникновения ожога.

Еще до изобретения лазеров в офтальмологии пытались использовать свет. Если правильно рассчитать интенсивность направленного в глаз света, то он пройдет через прозрачную жидкость стекловидного тела, не вызывая повреждений. Лишь в точке фокуса на глазном дне возникнет ожог. При некоторых глазных болезнях применение данного метода позволяет избежать болезненной операции. Лазерная микрохирургия глаза достигла небывалых успехов. Благодаря лазеру врачи возвратили зрение тысячам пациентов. Созданы специальные приборы—лазерные офтальмокоагуляторы.

Глаз имеет шаровидную форму и помещается в глазнице. Сзади и с боков он защищен костными стенками глазницы, а спереди — веками. Наружная оболочка глаза носит название склеры, или белочной оболочки. Это плотная непрозрачная ткань белого цвета, переходящая в передней части в прозрачную роговицу. Под склерой расположена сосудистая оболочка. Она состоит из большого количества сосудов и обеспечивает питание тканей глаза. В переднем отделе глазного яблока сосудистая оболочка переходит в ресничное (цилиарное) тело и радужную оболочку (радужку).

В ресничном теле заложена мышца, связанная с хрусталиком и регулирующая его кривизну. Хрусталик — прозрачная эластичная линза. Между ним и роговицей находится передняя камера глаза, отделенная от задней хрусталиком. Передняя камера наполнена прозрачной жидкостью, задняя — прозрачным стекловидным телом.

На внутренней поверхности сосудистой оболочки расположена сетчатая оболочка — сетчатка. Она состоит из двух слоев (наружного, или пигментного, и внутреннего, или нервного) и представляет собой разрастание зрительного нерва. В сетчатке находятся световоспринимающие элементы — палочки и колбочки. В них под действием света происходит химическая реакция, в результате чего появляются биоэлектрические сигналы, которые по зрительному нерву направляются в головной мозг — там и формируются зрительные образы.

Пучок света, попадающий в глаз, проходит последовательно следующие среды: роговицу, жидкость передней камеры глаза, хрусталик. Хрусталик — световоспринимающая оптическая линза, кривизна которой зависит от удаленности предмета. Пройдя хрусталик и стекловидное тело, световой пучок проецируется на сетчатке. Слой пигментных клеток,

находящийся за сетчаткой, не прозрачен для света, поэтому он поглощает лучи.

Из заболеваний органа зрения наиболее распространены глаукома, катаракта, злокачественные опухоли сосудистой оболочки глаза, отслойка сетчатки и диабетическая ретинопатия. Они могут привести к значительному снижению остроты зрения и даже к слепоте.

Глаукома — результат повышения внутриглазного давления. Между передней камерой глаз и хрусталиком находится внутриглазная жидкость. Ее производит небольшая железа, находящаяся у края радужной оболочки. Вырабатываемая этой железой жидкость омывает переднюю, поверхность хрусталика и затем проникает в дренажную систему радужной оболочки. При определенных состояниях нарушается отток этой жидкости, что приводит к накоплению ее в передней камере и повышению внутриглазного давления, то есть к развитию глаукомы. Заболевание сопровождается мучительной болью в глазу и нарушением зрения.

Катаракта — помутнение хрусталика. В норме хрусталик свободно пропускает световые лучи, однако при нарушении его питания вследствие влияния разных факторов прозрачность хрусталика снижается. Часто он становится мутным. Прохождение световых лучей затрудняется, и человек теряет зрение.

Среди злокачественных опухолей сетчатой оболочки наиболее часто встречается пигментная опухоль—меланома. Вследствие ее разрастания сетчатка перестает выполнять свои функции, что ведет к потере зрения.

При травмах глаза, некоторых заболеваниях может происходить отслоение сетчатки от сосудистой оболочки, устилающей дно глаза. В местах отслойки сетчатка становится менее чувствительной к восприятию световых импульсов, острота зрения снижается. Если не выполнить срочную операцию, может наступить слепота.

Диабетическая ретинопатия возникает в тяжелых случаях сахарного диабета вследствие поражения сосудистой, а затем и сетчатой оболочек глаза.

Наибольшее число случаев потери зрения наблюдается при глаукоме. Причин нарушения оттока жидкости из передней камеры глаза несколько, однако, чаще всего поражается начальный отрезок системы оттока (возле самого входа в каналы). В этом случае больному производили хирургическое вмешательство, то есть удаляли пораженный участок. Однако сделать это обычным путем очень трудно. Во-первых, размеры пораженного участка мельчайшие и

малейшая неточность может привести к тяжелым осложнениям. Во-вторых, оперативный доступ к пораженному участку чрезвычайно травматичен. Ведь необходимо вскрыть $\frac{9}{10}$ толщины глазного яблока, поскольку добраться сюда можно только изнутри.

На помощь пришел лазер. Первые экспериментальные попытки прожигания лазером отверстия для внутриглазной жидкости были неудачны, поскольку развивалась воспалительная реакция, которая сводила на нет терапевтический эффект. Необходимо было создать такой лазер, который, делая отверстия, вызывал бы самые минимальные ожоги. Такая лазерная установка была сконструирована. Она получила название «Ятаган». Аппарат создает так называемый модулированный световой импульс. При этом энергия выделяется в одном импульсе за миллионные доли секунды. В обычных импульсных лазерах энергия выделяется порциями, в виде серии пиков, которые в сумме дают вспышку, длящуюся несколько тысячных долей секунды. Такие вспышки света вызывают ожог. При модулированном световом импульсе мощность нарастает настолько быстро, что тепловые явления не успевают развиваться. Если такой пучок света направить на головку спички, то он срежет головку, как пуля, не воспламеняя ее. Лазерное воздействие становится «холодным». В точке фокусировки лазерного луча формируется отверстие.

В установке «Ятаган» фокусировка луча на структуры передней камеры глаза осуществляется с помощью прямого операционного гониоскопа. После фокусировки включается рубиновый лазер, и в зоне пораженного участка наносится около 10—30 импульсов. Лечение по этому методу проводится под местным обезболиванием. Операция безболезненная и легко переносится больными.

Предложена новая методика лечения глаукомы — лазерогониопунктура. Благодаря этому методу было возвращено зрение многим сотням больных. Лазерогониопунктура обеспечивает длительную и стойкую компенсацию внутриглазного давления со стабилизацией остроты зрения. После приобретения некоторого опыта эту сложнейшую операцию начали выполнять даже в амбулаторных условиях. Длится она всего несколько минут.

Наиболее широко лазерное излучение применяется при отслойке сетчатки. Отслойка может произойти у самой дальней (задней) стороны глазного яблока. Для лечения такой патологии хирургическим путем врачу потребовалось бы через глазную орбиту добираться до этой части глаза и путем нанесения в нужные точки импульсов электрического тока

пытаться вызвать слипание расслоившихся оболочек. Понятно, что такая операция не может быть ни безболезненной, ни бескровной. Она связана с длительной госпитализацией больного.

Благодаря применению лазерного фотокоагулятора изменилась методика операции. Под контролем специального прибора (офтальмоскопа), позволяющего видеть мельчайшие детали глаза, рубиновый лазер нацеливают на отслоившийся участок сетчатки. Энергия излучения, необходимая для этой операции, очень мала. Луч проходит сквозь прозрачные ткани глаза, не повреждая их, и фокусируется на глазном дне в месте отслоения сетчатки, где вызывает точечный ожог. В дальнейшем в этой точке образуется рубец, плотно спаивающий сетчатку с расположенной под ней сосудистой оболочкой, и зрение пациента восстанавливается. Операция может производиться без обезболивания.

Диабетическая ретинопатия наряду с глаукомой является основной причиной потери зрения. И здесь на помощь пришел лазерный луч.

Большое достижение лазерной техники — лечение меланомы сосудистой оболочки глаза. Всего около 20 лет назад диагноз пигментной злокачественной опухоли считался почти смертельным приговором для глаза. Глаз необходимо было удалять. Принципиально новым прогрессивным методом лечения меланомы сосудистой оболочки, позволяющим сохранить глаз и его функцию, является лазерная фотокоагуляция. Она разрушает опухоль мощным световым пучком без вскрытия глазного яблока.

Лазерная фотокоагуляция широко используется и при лечении других глазных заболеваний, в частности тромбоза вен сетчатки, сосудистых новообразований, катаракты. Появились сообщения о применении различных лазерных источников с целью образования и централизации зрачка, разрушения пленок вторичной катаракты и др.

Один из тех, кто первым применил лазерное излучение для лечения глазных болезней, — американский ученый Кристиан Звенг — свою уверенность в больших возможностях лазеров в области офтальмологии выразил следующими словами: «Будущее лазера в офтальмологии столь же ярко, как его луч».

Нам кажется, этот оптимистический прогноз справедлив не только для офтальмологии, но и для ряда других областей медико-биологической науки.

ХИРУРГИЯ БЕЗ НОЖА

Вряд ли древние врачеватели могли предположить, что роль операционного ножа будет выполнять световой луч.

В качестве лазерного «скальпеля» в практической медицине широко используется углекислотный лазер непрерывного действия, генерирующий излучение с длиной волны 10,6 мкм (инфракрасная область спектра). Коэффициент поглощения данного вида излучения тканями очень велик. По этой причине более 90 % лазерных лучей поглощается уже поверхностными слоями и не проникает глубже 100 мкм. Слой ткани такой толщины (это всего лишь несколько клеток) быстро нагревается до 100 °С. Затем избыточная энергия расходуется на превращение находящейся в клетках воды в пар. Клетки лопаются, остаточные вещества выбрасываются в окружающую среду. Так как каждый клеточный слой выпаривается и удаляется, обнажая последующий, то глубина разреза постоянно увеличивается со скоростью, зависящей от мощности лазера. Лазерный луч мощностью в 20 Вт, сфокусированный в пятно диаметром 2 мм, проникает в ткань на глубину 2,5 мм за 1 с. При проведении таким лучом по поверхности кожи на ней возникает разрез, глубина которого зависит от энергии луча и скорости его перемещения. Поверхность образовавшейся раны практически сухая, будто лазерный луч рассек неживую ткань. Это объясняется тем, что кровь под действием высокой температуры свертывается и кровеносные сосуды малого и среднего диаметра, расположенные по ходу разреза, мгновенно закупориваются. Лишь большие сосуды приходится перевязывать, чтобы не допустить кровотечения.

В ходе операций на таких внутренних органах, как печень, селезенка, легкие и почки, ткани которых пронизаны густой сетью кровеносных сосудов, хирург затрачивает много усилий на борьбу с кровотечением. Выделяющаяся кровь мешает хирургу видеть операционное поле. Значительная кровопотеря создает угрозу для жизни больного. При повышенной кровоточивости проведение даже небольших операций связано с серьезным риском. Поэтому лазерный «скальпель» имеет выраженное преимущество по сравнению с обыкновенным операционным ножом.

Лазерный «скальпель» отличается еще одним свойством — он не затупляется. Если в ходе операции обыкновенный операционный нож, попадая на твердое тело, может выйти из строя, то для лазерного такой опасности не существует.

Лазерный луч прозрачен и не заслоняет операционное поле. Он позволяет свободно манипулировать в области раны. Свет лазера действует локально, ткань разрушается только в точке фокуса, прилежащие ткани повреждаются минимально. Следовательно, осложнений во время операции бывает значительно меньше.

Операционные раны, нанесенные световым лучом, заживают быстрее, поскольку процессы восстановления тканей протекают в более стерильных условиях, чем при обычных операциях. В отличие от обычных хирургических инструментов, лазерный «скальпель» не требует специальной обработки, будучи идеально стерильным.

К особенностям лазерного «скальпеля» следует отнести появление так называемого биологического барьера после рассечения ткани. Под действием лазерного излучения в ткани возникает зона, препятствующая всасыванию здоровыми тканями содержимого раневой поверхности (токсичных продуктов распада веществ и продуктов жизнедеятельности микроорганизмов).

Таким образом, лазерный «нож» позволил осуществить давнюю мечту хирургов о бескровных операциях с минимальным повреждением окружающих тканей.

Лазерный «скальпель» успешно применяют при хирургическом лечении больных с заболеваниями печени, поджелудочной железы, селезенки, кишечника. Лазерный луч прочно завоевывает место также при лечении ожогов, гнойно-воспалительных заболеваний мягких тканей.

С помощью лазерного «скальпеля» можно полностью удалить гной и нежизнеспособные некротизированные ткани из раны, то есть произвести хирургическую обработку раны. Раневая поверхность после лазерного воздействия покрывается сухой, очень тонкой корочкой, через которую просвечивает здоровая ткань. Удаление омертвевших тканей, иссечение краев и стенок ран протекает практически бескровно. Уничтожается микробная флора, и создаются оптимальные условия для заживления раневой поверхности.

Лазерный «скальпель» используют в гнойной хирургии для иссечения массивных участков лучевого некроза, удаления гангренозных поражений, лечения пролежней. После лазерной обработки во всех случаях приживляются кожные лоскуты, пересаживаемые в целях закрытия раневого дефекта.

Одним из преимуществ лазерной хирургии считается отсутствие необходимости в длительной предоперационной подготовке больного.

Перспективно применение лазерного «скальпели» в нейрохирургии, где хирургам приходится работать в исключительно сложных условиях, так как доступ к мозгу и центральной нервной системе осуществляется посредством узкого отверстия в черепе. Хирургические манипуляции должны выполняться так, чтобы не травмировать жизненно важные структуры мозга. Лазерное излучение позволяет удалять патологический очаг без механического контакта с тканями, что очень важно для нежных тканей нервной системы. В процессе облучения операционная область находится под постоянным контролем хирурга, наблюдающего за ней с помощью операционного микроскопа. При использовании лазерного излучения отсутствует какое-либо искусственное электрическое вмешательство в организм, как это всегда бывает при электрокоагуляции. Это, в свою очередь, позволяет вести наблюдение за функциональным состоянием мозга пациента в процессе нейрохирургической операции.

Сфокусированный до минимальных размеров лазерный луч начали применять для сшивания сосудов мозга. Используемая раньше техника сшивания таких сосудов имеет ряд недостатков. Во-первых, для сшивания сосуда необходимо приблизительно 15 мин. На этот период циркуляция крови в артерии, которую подшивают, прекращается, что отрицательно влияет на ткань мозга. Более того, многократное прохождение иглы и сам шов травмируют сосуды. Во-вторых, очень трудно сшивать сосуды в глубине черепа. Техника бесшовного соединения микрососудов путем «сваривания» их лазерным лучом позволила значительно сократить время, необходимое для проведения данной операции. Благодаря этому методу можно относительно легко соединять микрососуды как в глубине мозга, так и на поверхности мозговой ткани. Стало возможным сшивать сосуды диаметром менее 0,5 мм. Обычная хирургическая техника не позволяет соединять такие микрососуды.

Сфера применения лазеров значительно расширяется при использовании их вместе со специальными гибкими стеклянными волокнами — световодами, проводящими световые лучи. Световоды изготавливают из размягченного стекла или кварца путем вытягивания. Это светопроводящая жила с высоким показателем преломления, окруженная светоизолирующей оболочкой из материала с низким показателем преломления. Лучи, попавшие в световод с торца, многократно отражаются на границе между светопроводящей жилой и светоизолирующей оболочкой и распространяются по световоду.

Если один конец такого гибкого светопроводящего волокна присоединить к выходному отверстию головки лазера, то лазерный свет пройдет внутри волокна вдоль всей его длины и выйдет из другого конца. При этом волокно можно в нескольких местах изогнуть, что не скажется на проведении света. Путем введения световодов в полости организма направляют лазерные лучи на патологический очаг и разрушают его без вскрытия органа.

Этот метод эффективен при лечении желудочного и дуоденального (из двенадцатиперстной кишки) кровотечений. До последнего времени единственным надежным способом спасения жизни больного при сильном язвенном кровотечении была операция — резекция органа, то есть полное или частичное его удаление. Эти вмешательства не случайно называли операциями «отчаяния».

С помощью лазерного излучения можно остановить кровотечение в любом отделе желудка или двенадцатиперстной кишки. Процедура сравнительно легко переносится больным и не требует длительной подготовки. Через рот и пищевод в желудок вводят оптический манипуляционный зонд — фиброгастроскоп. С помощью этого прибора можно осмотреть все отделы желудка и двенадцатиперстной кишки. Обнаружив источник кровотечения, зонд фиксируют. С помощью светового пучка, проникающего по световоду, который помещен внутри зонда, производят «заваривание» кровоточащего сосуда.

Одна из наиболее актуальных проблем кардиологии — лечение больных с пороками сердца, в частности с митральным стенозом. Створки клапана сердца похожи на два лепестка. Одним краем они прикреплены к внутренней стенке сердца. В соответствующие циклы работы сердца они свободными краями плотно смыкаются друг с другом, полностью закрывая отверстие, или расходятся, открывая отверстие и пропуская кровь только в одном направлении. При стенозе митрального отверстия свободные края створок частично срастаются, вследствие чего отверстие, пропускающее кровь, сужается. Возникает необходимость хирургическим путем разделить створки клапана сердца строго по линии их сращения. Эта операция чрезвычайно сложна. Требуются сложнейшая аппаратура, большое количество донорской крови. Прежде чем подойти к сердцу, нужно вскрыть грудную клетку, разрезать сердечную сорочку — перикард. Вмешательство выполняют с подключением аппарата искусственного кровообращения. Послеоперационный период протекает тяжело, нередко сопровождается различными осложнениями.

В последнее время предложена методика лечения больных стенозом митрального отверстия с помощью лазерного луча. В подключичную артерию вводят гибкий зонд и продвигают его в полость сердца. Максимальный диаметр зонда — от 3 до 5 мм. Под контролем рентгеновского аппарата производят тщательную ревизию патологических изменений в сердце. После определения патологического очага с помощью излучения лазера расширяют суженное митральное отверстие, и кровь свободно циркулирует в полостях сердца. Операция длится несколько секунд и не требует вскрытия грудной клетки.

Это далеко не полное описание случаев применения лазеров в хирургии. Ученые занимаются поиском новых методик и приемов оперативного лечения с использованием лазеров в легочной, сердечнососудистой хирургии и других областях. Разрабатываются специальные лазерные инструменты и аппараты, необходимые для решения сложных задач, стоящих перед практической медициной вообще и хирургией, в частности.

ЛАЗЕРЫ ПРОТИВ ОПУХОЛЕЙ

Рак — сложнейшая проблема современной медицины. Онкологические заболевания наносят обществу и экономике огромный ущерб. С появлением лазеров предпринимались попытки использования их для лечения больных с опухолями. Широко изучалось противоопухолевое действие лазерных лучей. Прежде всего в экспериментах выясняли влияние лазерных лучей на опухолевые клетки. Когда стало очевидным, что лазерные лучи способны повреждать опухолевые клетки, было испытано их действие на опухоли. Опухоли прививали лабораторным животным — мышам, крысам, кроликам. Оказалось, что при правильном выборе энергии излучения световые импульсы, полученные от рубинового или неодимового лазера, полностью разрушают опухолевую ткань. В момент облучения из новообразования мгновенно выбрасывается часть клеток в виде облачка. Остальная масса опухоли как бы оседает, уплотняется. В последующем происходит омертвление опухолевой ткани и на ее месте развивается сухая корочка, после отпадения, которой не остается никакого следа, указывающего на то, что ранее здесь развивалась опухоль.

Параллельно описанным экспериментам были проведены исследования, показавшие, что облучение лазером опухолей не сказывается отрицательно на состоянии организма животных в целом. Лишь после разносторонних исследований,

когда не осталось сомнения в том, что лазерное излучение может быть использовано при лечении злокачественных опухолей, лазеру был открыт путь в клинику.

В настоящее время лазерное излучение применяется для лечения онкологических заболеваний.

Как же выглядит лазерная операционная? Это небольшой зал, стены и потолок которого выкрашены в серовато-синий цвет (для ослабления отражения света при лазерной вспышке). Здесь идет необычная операция — без скальпеля, без наркозного аппарата, без столика с десятками сверкающих никелем хирургических инструментов. В зале лишь больной. Операционный стол покрыт серым, а не белым покрывалом. Глаза больного защищены специальными темными очками. Над обнаженной ногой, изуродованной опухолью, навис прямоугольный металлический каркас с выступающим из него тубусом. Тубус медленно движется над опухолью, направляя на нее лазерный луч. Операция бескровная, безболезненная, выполнена в абсолютно стерильных условиях.

Так в настоящее время лечат опухоли кожи.

В группе опухолей кожи особое место занимают пигментные новообразования. И среди них — меланома кожи. Это одна из наиболее злокачественных опухолей, дающая обширные метастазы и частые рецидивы. Существует два основных направления в лечении меланомы кожи — хирургическое удаление ее и комбинированное с предоперационной лучевой терапией. Лучевая терапия как самостоятельный метод лечения оказалась недостаточно эффективной, что, вероятно, может быть обусловлено и радиозащитными свойствами меланина. В то же время способность этого вещества активно поглощать световое излучение — одна из причин успешного применения лазерной фотокоагуляции в терапии меланомы кожи.

Лазерокоагуляция является методом выбора при наличии множественных опухолевых образований на коже. Количество опухолевых узлов при этом нередко достигает нескольких десятков. В подобных случаях хирургическое иссечение или облучение ионизирующим излучением невозможно, а лазерокоагуляция позволяет полностью разрушить все поверхностные новообразования. Метастазы меланомы растут очень быстро, изъязвляются, кровоточат, захватывая большие участки кожи. Коагуляция опухолевых узлов лазерным излучением во многих случаях облегчает состояние, позволяет продлить больному жизнь. Лазерокоагуляция эффективна также при рецидивах опухолей кожи, возникающих

после рентгеновского облучения, когда повторное проведение лучевой терапии нежелательно.

Успешно применяется в онкологических клиниках и лазерный «скальпель», который обеспечивает абластичность вмешательства, то есть создает препятствие для распространения опухолевых клеток во время операции. А в онкологии одним из наиболее важных критериев оценки достоинств операционного инструмента считают именно абластичность, так как полагают, что источником рецидивов (возобновления роста) опухолей после их оперативного удаления являются оставшиеся в ране опухолевые клетки.

С помощью лазерного «скальпеля» были произведены оперативные вмешательства у больных с опухолями мозга различного происхождения. Отмечены очень важные для нейрохирургов положительные свойства лазерного «скальпеля» — высокая топографическая точность разрезов, особенно при сочетании лазера с операционным микроскопом, возможность быстро останавливать кровотечение.

Волоконные световоды расширили возможности применения лазерного излучения в клинической онкологии. По световодам лазерное излучение проводят к очагу опухолевого роста. Это позволяет в некоторых случаях избежать сложных хирургических операций на органах дыхательной системы, пищеварения, на мочевом пузыре.

Для лечения онкологических больных начали применять установку «Радуга-1», с помощью которой проводят лазерное облучение через эндоскоп. Этот метод дает возможность удалять доброкачественные и некоторые злокачественные новообразования гортани, трахеи, бронхов, позволяет рассекать рубцовые сужения органов пищеварения, устранять и некоторые другие опухоли, которые суживают или закрывают просвет органа, нарушая тем самым его функции. В некоторых случаях лазерное воздействие применяют в период подготовки больного к оперативным вмешательствам.

В лечении опухолей гортани, трахеи, бронхов перспективно использование волоконных световодов в сочетании со светолучевой терапией, в основе которой лежит фотодинамический эффект. В естественных условиях свет не повреждает клетку, но если ввести в нее некоторое количество красителя, то при совместном действии видимого света и красителя в присутствии кислорода клетка разрушается. Это явление получило название фотодинамического эффекта. Оно известно давно. Фотодинамический эффект впервые был использован для лечения больных с опухолями кожи. Сообщение об успешном применении красителей и света

в терапии опухолей появилось еще в 1905 г., но только в 60-е годы, в связи с развитием лазерной медицины, на эти исследования вновь обратили внимание. В результате исследований стало очевидным, что одним из возможных путей усиления противоопухолевого действия лазерного излучения является введение в опухоль красящих веществ (фотосенсибилизаторов) с максимумом поглощения, соответствующим длине волны излучения лазера. Поглотив световой фотон и перейдя в возбужденное состояние, молекула красителя вступает во взаимодействие с неокрашенной биомолекулой ткани и передает ей энергию возбуждения. После этого молекула красителя возвращается в обычное, невозбужденное состояние, а возбужденная биомолекула, обогащенная энергией, вступает в реакции. Так как в каждой клетке обязательно присутствует кислород, то возбужденные биомолекулы начинают активно реагировать с кислородом. Происходит процесс окисления, приводящий к разрушению биомолекул, а, следовательно, и тканей.

В основе фотодинамического эффекта может лежать и другой механизм. Он связан с переносом энергии возбуждения с молекулы красителя на молекулу кислорода. Образующийся при этом активный, так называемый синглетный, кислород вступает в реакции с биомолекулами, что также приводит к их разрушению.

Таким образом, использование красителей (фотосенсибилизаторов) позволяет повысить светопоглощение опухолевой ткани, дает возможность усилить противоопухолевое действие лазерного излучения и снизить необходимую для лечения дозу. Краситель должен не только обладать высокой фотодинамической активностью, но и быть нетоксичным, а также, что особенно важно, избирательно накапливаться в опухолевой ткани. Такие соединения известны и некоторые из них уже используются в практической медицине. Это гематопорфирины. Впервые в клинике эти вещества были использованы для определения границ опухоли при хирургическом лечении. В настоящее время их применяют и в качестве фотосенсибилизаторов для фоторазрушения опухолей.

Гематопорфирины вводят внутривенно. С током крови они быстро распространяются по тканям организма. На третьи сутки после введения здоровые ткани очищаются от фотосенсибилизатора, а опухолевая ткань его задерживает и накапливает. Если затем на ткань опухоли воздействовать синим светом, то опухоль начинает светиться. Это свойство гематопорфиринов используют для определения очага опухолевого роста, а также для диагностики некоторых

типов опухолей. Если же опухоль, содержащую фотосенсибилизатор, облучить красным светом, то опухоль вследствие фотодинамического эффекта разрушится. При этом непораженные опухолевым ростом ткани, и которых гематопорфирин не содержится, остаются неповрежденными. Итак, светолучевая терапия заключается в воздействии соответствующим световым потоком на содержащие гематопорфирины злокачественно перерожденные ткани. В качестве источников излучения используют лазеры, соединенные с волоконно-оптическим световодом. В последние годы за рубежом по данному методу было проведено лечение более 3000 человек. Получены обнадеживающие результаты при опухолях легкого, мочевого пузыря, мозга.

Таким образом, лазерное излучение становится одним из признанных средств лечения больных с предопухолевыми заболеваниями и опухолями кожи, слизистых оболочек полых органов. При этом в ряде случаев лазерная хирургия обеспечивает такие результаты, которые невозможно достичь хирургическим, рентгеновским и другими методами.

ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЛАЗЕРОВ В ДРУГИХ ОБЛАСТЯХ МЕДИЦИНЫ

В течение более чем 20 лет растет количество публикаций по применению лазерного излучения в биологии и медицине. При этом исследуются все новые области медицины. В 1967 г. появились первые работы о применении лазерного излучения в экспериментальной и клинической дерматологии. Было доказано, что воздействие на здоровые, непораженные участки кожи высокоэнергетическим лазерным излучением вызывает их повреждение. Таким образом, мощное лазерное излучение можно применять для разрушения и патологических очагов кожи.

В настоящее время при поражениях кожи, обусловленных гипертрофическими образованиями, используются неодимовые, аргоновые и углекислотные лазеры большой мощности. Интенсивное излучение применяется для лечения бородавок, гнойных гранул, гиперкератозов, доброкачественных новообразований кожи.

Лазерный луч избирательно поглощается окрашенными структурами. Он разрушает только пигментные участки ткани. Эта его способность с успехом используется в практике лечения кожных болезней. Если направить луч лазера на участок кожи, покрытый родимыми пятнами, то при определенной энергии излучения лишь окрашенные клетки, образующие родимое пятно, будут разрушены, а находящиеся между ними

участки белой кожи останутся практически неповрежденными. Лазерный луч безошибочно найдет пигментированные точки и очистит от них кожу. Вот почему высокоинтенсивное лазерное излучение показано при лечении сосудистых новообразований, пигментных родимых пятен. Родимые пятна часто достигают гигантских размеров, занимая почти всю поверхность кожи конечности, значительную часть туловища, шеи и других областей тела. До последнего времени считались неизлечимыми красно-синие пятна, которые не бледнеют с возрастом и часто располагаются на лице. В целях их удаления применяли самые разнообразные методы — торий-рентгеновское облучение, радиоактивный фосфор, криовоздействие и даже хирургические методы с последующей трансплантацией кожи. Однако ни один из них не дал устойчивых удовлетворительных результатов. Определенные успехи обеспечило использование излучения аргонового лазера. В родимых пятнах этого типа наружный слой кожи (эпидермис) имеет нормальную структуру, а строение сети кровеносных сосудов, лежащих под ним, нарушено. Сине-зеленый луч аргонового лазера проходит через относительно прозрачный для него эпидермис, вызывая минимальные повреждения. Проникая дальше, он поглощается гемоглобином в кровеносных сосудах, что приводит к их термическому повреждению и закупорке. В последующем на этом месте образуется бесцветная рубцовая ткань.

Для иллюстрации приведем случай полного удаления гигантского пигментного папилломатозного невуса с помощью лазерного излучения (рис. 1). У больного Д. почти половину лица и височную часть головы покрывала бугристая синевато-красная опухоль. Хирургическое удаление ее было опасно из-за возможного развития грубых рубцов. Была проведена лазерная терапия. После отторжения корочки, образовавшейся в результате облучения, трудно было определить место, где ранее росла опухоль.

Лазерный луч разрушает не только родимые пигментные образования, но и участки кожи, окрашенные искусственным путем, например, татуировки. Хирургическое удаление татуировок возможно далеко не всегда из-за массивности травмы. Луч же лазера избирательно разрушает лишь клетки, в которые попала татуировочная краска, минимально повреждая неокрашенную кожу. По мнению многих исследователей, удаление татуировок излучением лазера дает наиболее благоприятные косметические результаты.

С середины 70-х годов высокоэнергетические лазеры с успехом применяют для лечения эрозий (поверхностного изъязвления)

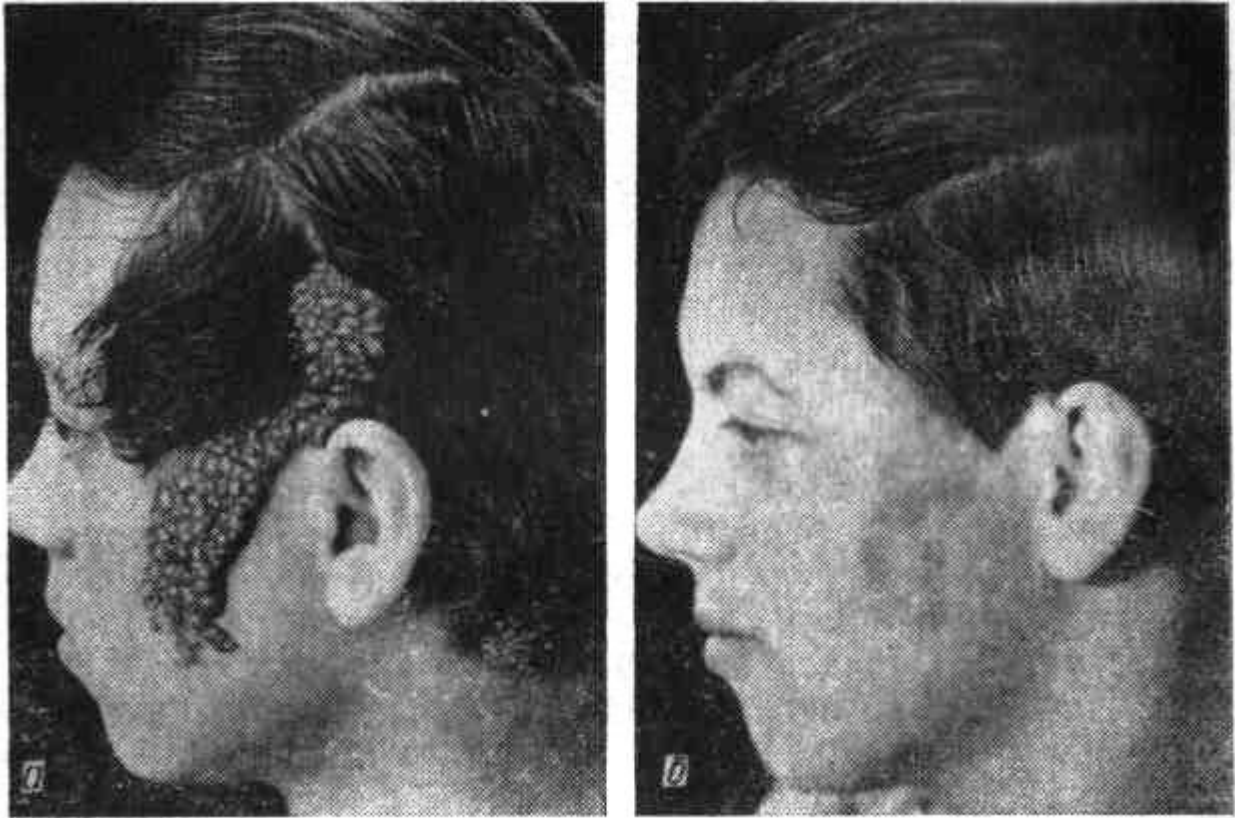


Рис. 1. Больной с гигантским пигментным папилломатозным невусом до (а) и после лечения (б) с помощью лазерного излучения

шейки матки, различных доброкачественных новообразований матки и влагалища, а также для рассечения спаек во время реконструктивных операций на женских половых органах.

Преимущество лазерной коагуляции перед электро- и криовоздействием состоит в том, что лечебная процедура с использованием луча лазера безболезненна и непродолжительна по времени, имеется возможность точно направлять луч на заданную глубину и ширину. При этом нет кровотечения. Воспалительные осложнения развиваются очень редко. После лечения лазером на шейке матки не образуются грубые рубцы, как это часто бывает после термокоагуляции, не нарушается строение канала шейки матки. У многих женщин после лазеротерапии наступает нормальная беременность, и роды протекают без осложнений. Предложенная методика высокоэффективна и может применяться в амбулаторных условиях.

Лазерный луч взяли на вооружение и урологи. Избирательность действия, строгая топографическая его направленность позволили выполнять операции на почках, яичке, мочевом пузыре без опасности повреждения окружающих тканей.

Оториноларингологи используют лазерное излучение при лечении заболеваний гортани.

Сложные топографо-анатомические особенности этого органа затрудняли оперативный доступ к патологическому очагу. Для этого конструировались самые разнообразные инструменты, но и они не могли полностью удовлетворить требования хирургов. И вновь выручил лазер. С помощью системы зеркал и других приспособлений специалисты научились облучать практически любой отдел гортани.

В последние годы оториноларингологи стали применять специальные лазерные установки, совмещенные с операционным микроскопом. Эта методика позволила получить хорошие результаты при лечении заболеваний лабиринта уха, пластике барабанной перепонки, при операциях на носовых раковинах.

Исследуются возможности применения лазерного луча в стоматологии. Излучение лазера, благодаря большому поглощению его темными, измененными тканями, может избирательно разрушать участки зуба, пораженные кариозным процессом. И это без всякой вибрации, практически не повреждая окружающие здоровые участки. Лазерным лучом легко очистить образованную вследствие кариеса полость от нежизнеспособных тканей, а затем с его же помощью заплавить дефект порошкообразной зубной эмалью или фарфором. Эти исследования проводятся пока только в условиях лаборатории, но, очевидно, недалек тот час, когда лазер станет привычным орудием стоматолога.

В эксперименте исследуется возможность использования лазера в целях профилактики кариеса. В результате облучения инфракрасным лучом эмаль зубов делается более стойкой к воздействию микроорганизмов, поскольку после такой обработки лазерным лучом ее проницаемость для микробов значительно снижается. С помощью лазерного луча можно снимать зубные камни, устранять с зубов участки гиперпигментации. Если у больного протерлась зубная коронка, ее обычно снимают и ставят другую. Запаять дырку обычными методами невозможно, так как при реставрации коронки очень нагреваются ткани. Однако лазеру и это по силам.

Таким образом, высокоэнергетические лазеры прочно вошли в арсенал современных лечебных средств. Работающие в этом направлении офтальмологи, хирурги, оториноларингологи, гинекологи достигли значительных успехов. В то же время благодаря стремительному развитию квантовой электроники созданы новые источники мощного лазерного излучения, обладающего качественно иными свойствами. Некоторые из лазеров нового поколения представляют несомненный интерес для медиков. Они позволят

значительно расширить диапазон практического применения высокоэнергетического лазерного излучения и клинической медицине. И в первую очередь это относится к пульсирующим эксимерным лазерам, генерирующим излучение в ультрафиолетовой области спектра.

Как уже отмечалось, в основе биологического действия высокоэнергетического лазерного излучения, применяемого в клинической практике, лежит единый общий механизм: поглощение лучей тканями, превращение энергии излучения в тепло и испарение тканей. В результате действия этого, так называемого фототермального, механизма ткань в месте приложения лазерного луча удаляется, а окружающие ткани нагреваются до различной степени — в зависимости от рассеяния света и глубины поглощения. Это приводит к удалению излишних тканей и тепловому повреждению окружающих органов, что, в свою очередь, обуславливает образование в ряде случаев рубцов и возникновение боли в послеоперационный период.

Исследователи прилагают максимум усилий для того, чтобы свести к минимуму эти побочные эффекты. Однако ни один из применяемых в клинической медицине лазеров, генерирующих высокоинтенсивное излучение, не может удалить ткань без некоторого теплового повреждения окружающих участков. Качественно иными свойствами обладает излучение пульсирующих эксимерных лазеров. Генерируемое ими импульсное ультрафиолетовое излучение интенсивно поглощается биомолекулами тканей. Поглощенные фотоны приводят в возбуждение электроны биомолекул, вследствие чего разрушаются молекулярные связи без превращения энергии излучения в тепло. Длинная цепочка биомолекул распадается на мелкие летучие фрагменты, которые удаляются с поверхности облучаемой ткани. При этом с фрагментами уходит почти вся энергия, принесенная на поверхность лазерным излучением. Время пульсации лазерного излучения столь краткое, что весь процесс фоторазрушения занимает меньше времени, чем требуется для того, чтобы энергия распространилась в окружающие ткани. С помощью излучения эксимерных лазеров удается получить полости в коже и зубах, нервах, веществе мозга, мышечной и хрящевой тканях. При этом во всех типах тканей образовавшиеся полости не имеют явных признаков теплового повреждения. Их границы полностью соответствуют поперечному сечению лазерного луча.

Эффективным может быть применение эксимерных лазеров в исследовании нервной системы человека. Нервная ткань координирует деятельность всех органов и систем.

Работа нервной ткани складывается из бесчисленных взаимодействий нервных клеток, как между собой, так и с органами, воспринимающими внешнюю информацию и выполняющими «приказы» нервной ткани. Главная функциональная единица нервной ткани — нейрон. Это клетка, обладающая способностью воспринимать и передавать импульсы. Нейрон состоит из тела и отростков. Различают два типа отростков - дендриты, передающие импульсы к телу нейрона, и аксоны, по которым импульс поступает от одного нейрона к другому или к органу-исполнителю. Аксон проводит первичный импульс (при передаче зрительной информации) без затухания и искажения информации на расстояние свыше 1 м. При этом скорость его передачи может достигать 300 км/ч. Однако ученым удалось расшифровать лишь некоторые из сложнейших реакций, лежащих в основе функциональной деятельности нервной ткани. Выяснить механизм деятельности всей нервной системы в настоящее время пока непосильная задача. Значительный вклад в решение этой проблемы может внести применение электронной и компьютерной техники для исследований электрических сигналов, посылаемых в пределах нервной системы. Первым и основным этапом этих исследований является вживление в нервную клетку микроэлектродов, с помощью которых можно зафиксировать и расшифровать электрические импульсы. Микроэлектроды и соответствующие приборы позволяют это сделать. Однако самая большая сложность заключается в том, что применяемые на данный момент методы вживления в тело нейрона микроэлектродов (даже самых современных — размером от 1 до 3 мкм) приводят к разрушению и гибели нейрона уже в момент введения электрода.

Ученые считают, что в этом случае перспективным может быть применение эксимерных лазеров. Мощное импульсное излучение эксимерных лазеров позволяет проделать в нерве проводное четко ограниченное отверстие, не разрушая окружающую ткань. Через него микроэлектрод может быть введен в тело нейрона. Наблюдаемые при этом незначительные повреждения нейрона не сказываются существенно на его жизнедеятельности.

Эксимерные лазеры могут представить интерес и для кардиологов, занимающихся проблемами лечения аритмии сердца. В механизме сокращения сердечной мышцы важную роль играют волокна пучка Гиса, по которым импульсы распространяются из предсердия по желудочкам сердца. Пучок отвечает за то, чтобы сигналы распределились закономерно, в унисон и в нужное время. Под влиянием определенных условий

(постинфарктные склеротические изменения в сердечной мышце) формируются чужеродные подокна, которые нарушают прохождение электрических сигналов. Одним из методов лечения аритмий сердца является хирургическое удаление этих волокон. Сделать это, как полагают исследователи, можно будет с помощью эксимерных лазеров, соединенных с оптическими моноволоконными, передающими излучение. Введенное через венозные сосуды внутрисердечно оптическое волокно передает лазерное излучение прямо на чужеродные волокна и разрушает их. Такая методика позволит отказаться от сложного хирургического вмешательства.

Изучение возможностей применения пульсирующего ультрафиолетового излучения эксимерных лазеров в медицине только начинается, но полученные результаты вселяют большие надежды.

Помимо эксимерных лазеров начинают исследовать биологическое действие и возможность применения в медицине лазеров на свободных электронах. Способность таких лазеров генерировать излучение любой длины волны в широком спектральном диапазоне свидетельствует о многообещающем будущем этого типа лазеров.

ЛАЗЕРНАЯ БИОСТИМУЛЯЦИЯ

Первыми были созданы мощные лазерные установки, генерирующие высокоинтенсивное лазерное излучение. Применение в медико-биологических исследованиях излучения мощных лазеров дало начало лазерной биологии и медицине. По мере развития лазерной техники были разработаны низкоэнергетические лазеры. Начали исследовать биологическое действие лазерного излучения малых энергий, возможность применения его в лечебной практике. Результаты показали, что низкоинтенсивное лазерное излучение, не повреждая клетки и ткани, оказывает выраженный биостимулирующий эффект, активизируя важнейшие процессы жизнедеятельности организма. Эти данные не явились неожиданностью для ученых, так как целебные свойства света были известны издавна. Еще в трудах Геродота (484—425 гг. до н. э.) имеются сообщения о благоприятном влиянии солнечного света на живые организмы. О его лечебном действии упоминается в надписях на древних храмах Египта. Солнечные ванны рекомендовал знаменитый древнегреческий врач Гиппократ (ок. 460—ок. 370 до н. э.). В Древней Греции и Риме солнечные ванны широко использовались как повседневное оздоровительное средство.

Для этих целей на крышах домов устраивались даже специальные помещения — солярии. Ибн Сина (ок. 980—1037) писал, что солнечный свет предохраняет от всех болезней.

С появлением искусственных источников света начали развиваться различные методы светолечения. Например, красный свет использовали для лечения больных оспой, скарлатиной, корью, применяли при некоторых кожных заболеваниях. Было отмечено, что при этом снижается боль, уменьшается отек, улучшается общее состояние.

С созданием лазеров начался новый этап в развитии светотерапии, были разработаны методы лазерной терапии. Лечебные свойства низкоэнергетических лазеров, генерирующих излучение в красной области спектра, сейчас обще признаны. Нужно проанализировать результаты экспериментальных исследований, которые позволяют объяснить механизм действия красного лазерного света.

Под воздействием низкоэнергетического лазерного излучения в клетке повышается активность важнейших биоэнергетических ферментов. При этом усиливается энергетический обмен в клетках, возрастает биосинтетическая активность, проявляющаяся в увеличении содержания углеводов, белков, нуклеиновых кислот и других веществ.

Лазерное излучение стимулирует деление клеток, что лежит в основе такого исключительно важного для организма явления, как регенерация, то есть воспроизводство молодых клеток и тканей, приходящих на смену отмирающим, разрушенным. Ускоряется регенерация костной, соединительной, эпителиальной, нервной и мышечной тканей. Повышается приживление трансплантатов кожи. Низкоэнергетическое излучение красной области спектра стимулирует кровообращение и кроветворение. Это проявляется в увеличении проницаемости сосудов, усилении микроциркуляции. Отмечаются благоприятные изменения в периферической крови: повышается количество эритроцитов, лейкоцитов, снижается СОЭ (скорость оседания эритроцитов).

Одна из наиболее важных особенностей действия лазерного излучения неповреждающей интенсивности — стимуляция иммунной системы. При этом повышается интенсивность деления и усиливается функциональная активность лимфоцитов, лейкоцитов, возрастает содержание белка в крови.

Реагирует на облучение и эндокринная система организма: изменяются уровни катехоламинов, серотонина, гистамина, то есть биологически активных веществ.

Низкоинтенсивное лазерное излучение обладает отчетливо выраженной биологической активностью, оказывает болеутоляющее, сосудорасширяющее и противовоспалительное действие.

Перечисленные выше особенности биологического действия низкоэнергетического лазерного излучения красной области спектра послужили основанием для широкого его применения в практической медицине. В то же время природа биостимулирующего эффекта низкоэнергетического лазерного излучения оставалась до последнего времени неясной. В 70-е годы были сделаны попытки объяснить явление лазерной биостимуляции некоторыми особыми физическими свойствами («биополе», «биоплазма»), присущими живым организмам. Однако отсутствие фактического обоснования и произвольность сделанных допущений не позволяли с ними согласиться. В 1979 г. Н. Ф. Гамалея предположил, что биологические эффекты низкоэнергетического лазерного излучения связаны с естественными процессами световой регуляции, наблюдающимися у животных. Молекулярные механизмы начальных звеньев этих процессов лучше изучены у растений, для которых установлены не только сами факты фоторегуляции, но и определена химическая природа одного из первичных акцепторов света — фитохрома. Поглощенное фитохромом световое излучение стимулирует прорастание семян, образование почек и другие процессы. Предполагается, что у млекопитающих есть специальная система восприятия света, подобная фотохромной системе растений. В результате проведенных исследований впервые была установлена специфическая световая чувствительность так называемых неретинальных (незрительных) клеток человека и животных различной видовой принадлежности, взятых из разных тканей и органов. Деление различных клеток (лимфоцитов мышей, собак, человека, печеночных клеток крыс, злокачественных клеток, клеток соединительной ткани) стимулировалось излучением видимой части светового диапазона. При этом повышалась их функциональная активность, усиливалось выделение в окружающую среду ДНК (дезоксирибонуклеиновой кислоты). Все это свидетельствует в пользу предположения о существовании у млекопитающих фоторегуляторной системы. Изучение природы ДНК показало, что она обладает определенной биостимуляционной активностью, ускоряет восстановление поврежденных тканей.

Низкоэнергетическое лазерное излучение широко применяется в комплексном лечении различных заболеваний, в первую очередь хирургических: длительно не заживающих



Рис. 2. Трофическая язва нижней конечности до (а) и после (б) применения низкоэнергетического лазерного излучения

ран, трофических язв, тромбофлебитов, различных воспалительных процессов. Очевидно, и при облучении тканей целостного организма (например, при лазерной терапии трофических язв) попадание лучей на клетки по периферии патологического очага приводит к выделению ими ДНК, которая стимулирует рост фибробластических элементов в тканях, граничащих с язвой, тем самым ускоряя ее заживление.

Лечение больных с трофическими язвами нижних конечностей и длительно не заживающими ранами — сложная задача. Существует более 200 разнообразных средств и методов лечения таких больных, однако все они несовершенны. Хороший клинический эффект дает применение низкоэнергетического лазерного излучения красной области спектра (рис. 2). Лазерная терапия ран и трофических язв широко применяется во многих ведущих клиниках Советского Союза. Этот метод практически не имеет противопоказаний, может быть использован у больных с тяжелым общим состоянием, когда нельзя производить хирургические операции. Метод дает выраженный терапевтический эффект. Уже после первых 3—5 сеансов облучения значительно улучшается общее состояние, исчезают боль, отечность тканей. Рана быстро очищается от некротических тканей. Ускоряется

процесс регенерации. Рана заживает быстрее примерно в 2 раза, чем при обычных методах лечения.

Успешно применяют красное лазерное излучение при ожогах, лучевых поражениях кожи. Эффективен данный метод лечения при различных заболеваниях кожи — экземе, красном и опоясывающем лишаях, нейродермите, рецидивирующем герпесе, сильном зуде кожи.

Широкое распространение в практической медицине получила лазеропунктура — аналог иглотерапии. Иглоукалывание как метод лечения, насчитывающий несколько тысячелетий, появился на Востоке. Родиной его считают Китай.

Было замечено, что нанесенные на определенные точки тела ранения или уколы заметно изменяют течение ряда болезней. Принцип воздействия на биологически активные точки и рефлексогенные зоны лежит в основе рефлексотерапии. Известно около 700 биологически активных точек, из них 600 — с глубокой древности. В качестве инструмента, воздействующего на точки акупунктуры, могут быть использованы не только иглы, электроток, но и лазерные лучи. Для этого используют низкоэнергетическое излучение гелий-неонового лазера. По сравнению с другими методами рефлексотерапии, предусматривающими применение обычных иглолок (стальных, серебряных), лазеропунктура обладает целым рядом преимуществ (стерильность, отсутствие болевых ощущений и нарушений целостности кожи). Процедура требует минимального времени для подготовки, редко наблюдаются общие вегетативные реакции.

Красный свет гелий-неонового лазера успешно применяется при хронических заболеваниях уха, горла и носа. Впервые гелий-неоновый лазер был использован для лечения ангины и хронического тонзиллита. Эффект превзошел все ожидания. Уже после 5—6 сеансов лечения уменьшались боль, неприятное ощущение в глотке, размеры миндалин. Самочувствие больных улучшалось. В ряде случаев лазерная терапия способствовала приостановлению ревматического процесса, который часто развивается при хроническом тонзиллите. У больных фолликулярной ангиной на 3—4-е сутки облучения миндалин полностью очищались от налета. Лазерное излучение способствовало регенерации и эпителизации слизистой оболочки после удаления миндалин, сокращая сроки пребывания пациентов в клинике. Успешно лечит лазерный луч заболевания глотки, полости носа. Эффективен он и при терапии заболеваний придаточных пазух носа (гайморовой, лобной, решетчатой полостей).

Лазерная терапия обеспечивает хорошие результаты при остром отите, хроническом воспалении среднего уха. При этом нередко восстанавливается слух. Сроки выздоровления сокращаются до 5—6 сут.

Перспективным оказалось использование низкоэнергетического лазерного излучения в гинекологии. Так, при лечении эрозий шейки матки лучом лазера в 80 % случаев удается ликвидировать воспалительный процесс. Уже после 5 сеансов лазеротерапии улучшались процессы регенерации поврежденных тканей шейки матки. У многих женщин после лечения наступала беременность с благоприятным исходом. Низкоэнергетическое лазерное излучение с успехом применяют для ускорения заживления ран после диатермокоагуляции или лазерной коагуляции шейки матки, а также при родовых травмах. После лазерной терапии значительно снижается интенсивность боли, исчезают гиперемия (покраснение) и отечность, улучшается гормональный баланс. Раны заживают гораздо быстрее, без грубых рубцов.

Отмечено положительное влияние лазерного излучения в случае нарушений менструальной функции, а также при некоторых формах бесплодия эндокринного происхождения. Очень важно, что при оптимальных параметрах облучения не отмечается аномалий в развитии плода. Более того, как показали эксперименты на животных, лазерное облучение оказывает антитератогенное действие, то есть снижает неблагоприятное влияние на плод ряда химических ядов. При этом у данной группы животных врожденные аномалии у зародышей встречались значительно реже, чем у животных, не получавших лазерной терапии. Учеными доказана перспективность применения лазерной терапии при лечении крауроза и лейкоплакии — предраковых заболеваний наружных половых органов

Низкоэнергетическое лазерное излучение применяется в ортопедии и травматологии. Благоприятный эффект получен при лечении ревматоидного артрита. Отмечено уменьшение интенсивности боли, улучшение функции суставов, ослабление реакции на изменения погоды и другие факторы. У больных увеличивалась работоспособность, улучшался тонус мышц, нормализовалось периферическое кровообращение. Обнадеживающие результаты получены и при лечении больных с дегенеративно-дистрофическими процессами опорно-двигательного аппарата (остеохондроз, артроз крупных суставов и др.). Под влиянием низкоэнергетического излучения красной области спектра активизировались микроциркуляция в области поражения, обменные процессы в хряще, улучшались показатели периферической крови.

Одна из проблем травматологии — поиск средств, ускоряющих сращение переломов костей. Красный спет гелий- неоновый лазер оказался эффективным и в данной области. Облучение места локализации перелома начинают со 2-х суток после операции, и уже на 3—4-е сутки снижается интенсивность боли, уменьшается отечность тканей. Восстановление костной ткани ускоряется, что позволяет применить раннюю нагрузку, благодаря чему не развивается атрофия мышц, значительно сокращаются сроки восстановительного лечения. А это, в свою очередь, более чем на месяц уменьшает период нетрудоспособности. При лечении открытых переломов с помощью лазера гораздо быстрее заживают раны, образуются мягкие, не спаянные с подлежащими тканями рубцы. Значительно уменьшается частота осложнений, характерных для медикаментозного и физиотерапевтического методов лечения.

Перспективно применение низкоэнергетического лазерного излучения и при лечении воспалительных заболеваний слизистой оболочки полости рта (герпетического и хронического рецидивирующего стоматита, герпеса губ). Лазерное излучение стимулирует заживление послеоперационных ран, ожогов слизистой оболочки рта и кожи лица. Положительные результаты получены при лечении одного из наиболее трудно поддающихся терапии стоматологических заболеваний — пародонтоза.

Изучение биологического действия низкоэнергетического лазерного излучения красной области спектра показало, что даже при местном поверхностном применении оно оказывает благотворное влияние на организм в целом и, в особенности — на состояние крови. Облучение неповреждающим лазерным светом клеток крови *in vitro*, то есть вне организма, стимулирует их функциональную активность. Так, облучение эритроцитов человека приводит к повышению их устойчивости, активизации функций клеточной мембраны. Облучение лейкоцитов в несколько раз повышает присущую им способность к фагоцитозу, то есть заглатыванию и перевариванию посторонних частиц, в частности, микробных клеток. Фагоцитоз является важным звеном в защите организма от инфекций, составной частью системы, от которой нередко зависит исход борьбы с повреждающим агентом.

Большую роль в иммунологических реакциях играют лимфоциты, разновидность лейкоцитов, функция которых — организовывать систему самозащиты организма. Лимфоциты обладают способностью не только отличать «свое» от «чужого», но и инициировать борьбу за уничтожение последнего. Именно лимфоцит является носителем иммунологической памяти —

готовности предпринять молниеносную контратаку против любого, уже встречавшегося, чужеродного фактора.

В организме обычно насчитывается около триллиона лимфоцитов. Воздействие на эти клетки крови излучением гелий-неонового лазера повышает их функциональную активность. Результаты клинических работ по исследованию показателей состояния крови у больных, подвергнутых лазерной терапии путем облучения патологического очага, также свидетельствуют о благоприятных изменениях в крови: увеличивается количество эритроцитов, гемоглобина, улучшаются показатели иммунитета. Низкоэнергетическое лазерное излучение оказывает защитное влияние на систему крови, проявляющееся в ускорении восстановительных процессов после действия различных повреждающих факторов: ионизирующего излучения, отравления ядами.

Таким образом, реакция крови, развивающаяся при поверхностном лазерном облучении патологического очага, является одной из важных составляющих клинического эффекта биостимуляционной лазерной терапии. Это позволило предположить, что более глубокий, генерализованный ответ организма может быть достигнут путем прямого облучения крови. Действительно, внутривенное введение облученной светом гелий-неонового лазера крови оказывает определенный лечебный эффект при гнойном перитоните, способствует повышению эффективности антибиотикотерапии. В крови больного увеличиваются концентрация гемоглобина и количество эритроцитов.

Еще большая эффективность лазерного воздействия на кровь может быть достигнута путем облучения ее непосредственно в сосуде, что позволяет влиять на всю массу циркулирующей крови. В последние годы предложен новый метод лазерной терапии — внутрисосудистое лазерное облучение крови. Для этого используется гелий-неоновый лазер, сочлененный с тонким моноволоконным оптическим световодом, который через инъекционную иглу вводят в одну из центральных вен. Передаваемое по световоду в сосуд излучение поглощается протекающей кровью. Предварительные экспериментальные исследования, выполненные на животных, показали, что процедура безопасна. Проведение внутрисосудистого лазерного облучения крови у собак даже при 2-часовой экспозиции не вызывало какого-либо повреждения клеток крови или стенок сосуда в месте нахождения световода.

Первые попытки клинического применения ВЛОК были сделаны в начале 80-х годов. При этом раньше других областей медицины

эффективность метода были продемонстрирована в хирургии сердца. У больных с острым инфарктом миокарда уже после одного сеанса наблюдалось повышение (на 38 %) напряжения кислорода в капиллярной крови и снижение парциального давления углекислого газа. Примененное у больных с острым инфарктом миокарда в течение 3—7 сут лазерное облучение крови, проведенное в полости правого предсердия, приводило к резкому снижению количества осложнений. Метод использован также для лечения больных со стенозирующим атеросклерозом ветвей брюшной аорты и артерий нижних конечностей.

Авторами брошюры показана эффективность ВЛОК. при использовании его в целях профилактики и лечения гнойно-септических осложнений у хирургических больных в послеоперационный период и при лечении ряда хирургических заболеваний. Проводятся исследования по изучению влияния лазерного облучения крови на течение опухолевого процесса. В экспериментах на животных удалось показать, что облучение крови приводит к торможению роста и метастазирования ряда опухолей.

Хотя круг показаний к применению лазерного облучения крови определен еще далеко не окончательно, а механизмы, лежащие в основе терапевтических эффектов этого метода воздействия, остаются неясными, изложенные данные свидетельствуют о безусловной перспективности дальнейшего развития экспериментальных и клинических работ в этом направлении.

Суммируя материал, касающийся применения низкоэнергетического лазерного излучения в целях биостимуляции, можно с уверенностью сказать, что появился новый перспективный метод лечения, возможности которого исчерпаны далеко не полностью.

Итак, лазер, освоивший прежде сотни технических профессий, вступает на поприще медицины в двух ролях: выполняет функции необычного хирургического инструмента — идеально стерильного, незатупляемого, позволяющего уменьшить потери крови при операциях, и стимулирует, мобилизует скрытые резервы организма на борьбу с недугами.

Каждый день открывает новые перспективы применения лазеров в медицине. Специалисты уверены, что в ближайшем будущем лазер станет обычным и незаменимым инструментом в кардиологических центрах. В частности, он будет применяться для прочистки закупоренных сосудов сердца. Сейчас для лечения больных с заблокированным коронарным сосудом у врача есть два пути: попытаться удалить причину

закупорки — атеросклеротическую бляшку, добравшись до нее с помощью специального катетера; наложив шунт (обходной канал), обойти препятствие.

Оба пути имеют свои недостатки. Устранение бляшки с помощью использования катетера не гарантирует от сравнительно быстрого рецидива закупорки. Кроме того, катетер трудно применить, если атеросклеротические бляшки возникли во многих местах. С другой стороны, шунтирование представляет собой серьезную операцию с негарантированным долгосрочным прогнозом.

Возможность подвести лазерный луч к месту закупорки с помощью тонкого катетера-световода открывает перед хирургами-кардиологами блестящие перспективы. Быстро и эффективно лазерный луч очистит коронарный сосуд, исключив необходимость в какой бы то ни было операции на открытом сердце.

Однако, чтобы иметь возможность контролировать дозу небезопасной энергии лазерного луча, исследователь должен видеть «мишень» и глубину ее повреждения. Для этой цели используется метод сосудистой эндоскопии или ангиоскопии. В последнее время появилась перспектива использования лазеров для ангиоскопии, что поставило перед исследователями целый ряд технических проблем, связанных, в частности, с конструкцией гибких световодов, в том числе управляемых, с поддержанием прозрачности поля зрения и герметичности, с геометрией изображения, с безопасностью системы для больного. Активная разработка лазерных ангиоскопов различных конструкций производится в США, Японии и СССР. Ангиоскопы в диагностических целях применяли и ранее, не пытаясь воздействовать на бляшки. Использование лазерных ангиоскопов в диагностических целях в первой же серии клинических испытаний позволило изменить планировавшуюся на основании других методов обследования тактику лечения больных.

Предложен оригинальный подход к диагностике атеросклеротических изменений сосудов с помощью лазерной ангиоскопии, который позволил преодолеть трудности обнаружения атеросклеротических бляшек в непрозрачной среде при отсутствии выраженных различий в цвете между бляшкой и стенкой сосуда.

Суть метода заключается в том, что спектры поглощения бляшки и неповрежденной сосудистой ткани отличаются лишь в определенной области за счет содержания в атеросклеротической бляшке окрашенных веществ — каротиноидов. Однако если осветить бляшки лазерным светом, они начинают флюоресцировать, то есть светиться. Это

явление и может быть использовано для обнаружения локальных атеросклеротических изменений артериальных сосудов путем компьютерной обработки спектрофлуоресценции. Значение еще одной вырисовывающейся на горизонте перспективы применения лазеров становится понятным, если критически оценить прошлое. Развитие медико-биологической науки в текущем столетии происходило под знаками поиска, создания и применения разнообразных химических агентов, обладающих одним главным свойством,— более или менее избирательно влиять на определенные процессы, происходящие в организме человека. Химиопрепараты, витамины, гормоны, антибиотики — без них невозможно представить сегодняшнюю медицину.

Отдавая должное тем революционным преобразованиям, которыми медицинская наука обязана препаратам химической природы, нельзя забывать и об оборотной стороне медали. Широкое их применение привело к появлению различных осложнений, побочных реакций, лекарственных болезней, обусловило распространение устойчивых форм патогенных микроорганизмов, потерявших чувствительность к действию антимикробных средств.

В связи с более осторожным отношением к назначению больному химиопрепаратов особое значение приобретает то обстоятельство, что применение лазеров позволит, вероятно, в будущем по-новому подойти к достижению избирательных биологических эффектов — не химическим, а физическим путем. Лазерный луч способен «стереть» татуировочный узор, не затронув кожу, избирательно разрушить клетку, содержащую пигмент, и не задеть здоровую ткань. Но избирательность действия лазерной радиации, очевидно, может простираться значительно дальше. Сочетание в лазерном излучении свойств монохроматичности и большой интенсивности, а также наличие арсенала лазеров, обеспечивающих получение света всех цветов и оттенков, позволяет воздействовать на отдельные химические ингредиенты клеток и тканей. Ведь молекула каждого вещества имеет свой характерный абсорбционный спектр, отличается особым, присущим только ей, «светопоглощающим портретом». Это значит, что подобрав излучение соответствующего цвета, можно возбудить определенное биохимически активное соединение и, следовательно, ускорить (или замедлить) протекающий с его участием процесс. Подобным образом советским ученым уже удалось стимулировать некоторые химические реакции. Осуществление световой активизации метаболитов открыло бы совершенно новые пути влияния на организм больного.

СОДЕРЖАНИЕ

От авторов	3
Гиперболоид XX века	5
Что такое лазеры?	6
Как лазерное излучение воздействует на органы и ткани живого организма	13
Возвращение зрения с помощью лазерных лучей	15
Хирургия без ножа	20
Лазеры против опухолей	24
Применение высокоэнергетических лазеров в других областях медицины	28
Лазерная биостимуляция	34

Научно-популярное издание

**Гамалея Николай Федорович
Рудых Зоя Михайловна
Стадник Владимир Ярославович**

ЛАЗЕРЫ В МЕДИЦИНЕ

Зав. редакцией *А. П. Романенко*
Редактор *В. К. Кулева*
Художественный редактор *Н. Ф. Кормыло*
Технический редактор *В. П. Бойко*
Корректоры *Н. Н. Шрамко, Н. К. Багдасарьян*

ИБ № 3922

Сдано в набор 06.01.88. Подп. к печати 07.04.88.
БФ 05110. Формат 84×108¹/₃₂. Бумага тип. № 2.
Гарн. лит. Печ. выс. Усл. печ. л. 2,52. Усл. кр.-отт.
2,84. Уч.-пед. л. 2,71. Тираж 20 000 экз. Зак. 8—40.
Цена 10 к.

Издательство «Здоровья»,
252601, ГСП, Киев-1, ул. Чкалова, 65.

Киевская книжная фабрика,
252054, Киев-54, ул. Воровского, 24.