

Лазеры: физическая характеристика лазерного излучения, виды лазеров и принципы их работы. Биофизические основы лазерной терапии. Области применения в медицинской практике

I. Исторические аспекты создания лазеров

Прогресс медицинской науки и клинической медицины в значительной степени обусловлен достижениями электроники. Использование этих достижений позволяет разработать новые методы медико-биологических исследований, диагностики и лечения ряда заболеваний. Одно из новых направлений электроники-квантовая электроника,оказалось весьма полезным для медицины. Эта область науки изучает теорию и методы генерирования и усиления электромагнитных когерентных колебаний,вызываемых индуцированным излучением квантовых систем.

Лазер-это устройство,в котором энергия,например тепловая,химическая,электрическая, преобразуется в энергию электромагнитного поля-лазерный луч.

Слово «лазер» составлено из начальных букв английского словосочетания Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, что в переводе на русский язык означает “усиление света вынужденным излучением”.

Создали мазер в 1955г-Басов,Прохоров,Таунс.Лазер создан в 1960г с рубином в качестве рабочего вещества.В 1964г Нобелевскую премию получили:Басов, Прохоров, Таунс.

Теоретические основы работы лазеров были заложены Эйнштейном.

II. Виды лазеров.

За 30 лет существования квантовой электроники были найдены и исследованы многие активные среды и разработаны методы преобразования различных видов энергии в когерентное монохроматическое излучение. Благодаря этому созданы разные типы излучателей, источников возбуждения и устройств для формирования и приема лазерного излучения,а также управления им. В настоящее время диапазон длин волн лазеров простирается от дальней инфракрасной области (сотни мкм) до ближнего ультрафиолетового излучения (сотни нм).

Существует очень много различных типов лазеров. Они отличаются:

1. Внешним видом (лазеры малютки и лазеры гиганты. Мощный CO_2 лазер разрезает стальные листы), мощностью
2. По типу применяемой активной среды:

- Диэлектрические кристаллы
- Полупроводники
- Жидкие растворы красителей
- Газовые смеси
- Специальные стекла

Современная лазерная техника обладает широким арсеналом средств:

1. Твердотельные лазеры на рубине (Rb) и стекле с ниодимом (Nd)-обеспечивающие получение энергии в импульсе до нескольких тысяч Джоулей и плотности мощности в импульсе до нескольких тысяч мегаватт (МВт).
2. Лазеры на алюмоиттриевом гранате с ниодимом (АИГ, Nd), работающие в импульсном и непрерывном режимах со средней выходной мощностью до 1 кВт.
3. Полупроводниковые лазеры, самые миниатюрные из всех существующих, в которых происходит прямое преобразование электрической энергии в лазерное излучение с мощностью порядка десятков милливатт (мВт) в непрерывном режиме и единиц кВт в импульсе.
4. Газоразрядные лазеры на нейтральных атомах, ионах благородных газов, парах металлов, молекулярных газах. (на углекислом газе- CO_2 , аргоне-Ar, гелий-неоне-He-Ne).
5. Электроионизационные, газодинамические лазеры, лазеры с перестраиваемой длиной волны излучения на основе растворов органических красителей, позволяющие получать в широком диапазоне частот излучение с выходной мощностью до десятков и сотен киловатт в непрерывном и импульсном режимах.

Разработка и практическое использование методов лазерной медицины в нашей стране начались с 1965г после создания лазеров непрерывного действия на углекислом газе.

III. Свойства лазерного излучения.

1. Когерентность ($\Delta\nu/\nu=10^{-6}-10^{-8}$, где $\Delta\nu$ - разброс частот).
2. Угол расходимости луча очень мал $\alpha=10^{-3}$ рад., что соответствует угловой минуте.
3. Сильная концентрация световой энергии в пространстве.
Маломощные лазеры $10^{-3}-10^{-2}$ Вт.
Мощные CO_2 -1кВт и выше, $I=10^5$ Вт/см²-можно плавить металл.
 $I=0.1$ Вт/см²-излучение солнца у поверхности земли.

Существуют лазеры непрерывного действия и импульсные. Мощность лазерного импульса можно повысить, одновременно уменьшив его длительность:

$$\tau=10^{-8}\text{с}, P=10^8\text{Вт}, \text{ если } \tau=10^{-12}, \text{ то } P=10^{12}\text{Вт}.$$

Таким образом, качество лазерной энергии определяется её высокой концентрацией и возможностью передачи на значительное расстояние. Лазерный луч можно сфокусировать в крохотное пятно диаметра порядка световой волны и получить плотность энергии, превышающую плотность энергии ядерного взрыва. С помощью лазерного излучения уже удалось достичь самых высоких значений температуры, давления, напряженности магнитного поля. Лазерный луч является самым емким носителем информации и в этой роли - принципиально новым средством её передачи и обработки.

IV. Устройство и принцип работы лазера.

Теоретические основы работы лазеров были заложены Эйнштейном

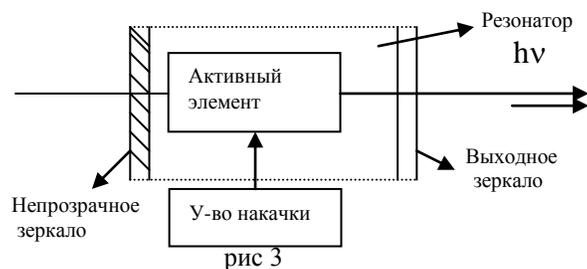
Основные составные части лазера:

1. Рабочее тело (рубин, газ и т. д.)
2. Устройство для накачки активного элемента.
3. Оптический резонатор

Системы накачки бывают различными: они в значительной мере зависят от типа активной среды. В газовых лазерах наиболее удобно осуществить возбуждение с помощью электрического разряда в активной среде (обычно тлеющего разряда). В твердотельных лазерах возбуждение осуществляется путем облучения активного стержня от некоторого достаточно мощного источника, например от импульсной лампы (оптическая накачка).

Оптический резонатор представляет систему зеркал, одно из которых является не прозрачным, а второе прозрачно. В твердотельных лазерах зеркалами обычно служат специально обработанные торцы активного стержня.

Рассмотрим функциональную схему лазера.



Спонтанные фотоны, случайно родившиеся в направлении оси активного элемента, будут проходить внутри активного элемента относительно длинный путь, который многократно увеличивается вследствие отражения излучения от зеркал резонатора. Взаимодействуя с возбужденными центрами эти фотоны инициируют мощную лавину вынужденно испущенных фотонов, которая и образует лазерный луч.

Лазер на рубине.

Рубиновый стержень-диаметр несколько мм., длина несколько см. с плоскими торцами, тщательно полированными. Один из торцов покрывают толстым слоем металла с высоким коэффициентом отражения (серебра). Другой торец покрывают полупрозрачным слоем серебра. В результате стержень и два параллельных друг другу зеркала на его торцах образуют оптический резонатор. Вокруг стержня лампа накачки, в качестве которой используют газоразрядную лампу. ($\tau=1\text{мс}$, W -неск. кВт).

ЛАЗЕРНАЯ ТЕРАПИЯ.

Лазеры все шире применяются в медицине. Прежде всего мощные (высокоэнергетические) лазеры используют в качестве хирургического инструмента (световой скальпель). В сочетании с фотосенсибилизаторами (такими, как гематопорфирин или фталоцианин) низкоэнергетические лазеры применяют для избирательного разрушения клеток раковой опухоли (фотодинамическая терапия). Наконец, получило распространение (особенно в России) облучение низкоэнергетическими лазерами плохо заживающих ран или крови человека - лазеротерапия.

ПРИМЕРЫ ЛАЗЕРНОЙ ТЕРАПИИ:

Облучение крови и суставов при ревматоидном артрите, лечение мужского бесплодия, глазных болезней, включая глаукому, дисфункции мочевого пузыря, ишемической болезни сердца, кожных болезней и болезней крови, осложнений при хирургических травмах, пиелонефрита, плацентарной недостаточности, туберкулеза легких, подготовка больных к хирургическим вмешательствам.

V. Механизмы биологического действия излучения лазеров.

Что же известно о действии лазерного облучения на более простые объекты, чем больной человек? Рассмотрим некоторые хорошо установленные факты.

1. Излучение с длиной волны 400-500 и около 600 нм вызывало увеличение скорости деления клеток некоторых микроорганизмов, а также увеличение белкового синтеза. При этом наблюдается выраженная экстремальная зависимость стимулирующего действия лазерного облучения от дозы; интервал интенсивностей, в пределах которых наблюдался положительный эффект,

составлял полтора-два порядка величины.

2. При облучении изолированных митохондрий печени светом гелий-неонового лазера (ГНЛ) в них увеличиваются содержание АТФ, электрический потенциал на внутренних мембранах и рН в матриксе, а также наблюдаются небольшие изменения формы матрикса.

3. Облучение фибробластов человека светом ГНЛ существенно увеличивает скорость роста популяции клеток в экспоненциальной фазе и (в случае эмбриональных фибробластов) адгезию клеток на подложке.

4. Лазерное облучение клеток, выделенных из эпителия сетчатки, приводит к увеличению митотического индекса.

5. Облучение ГНЛ обычно не вызывает бласттрансформацию изолированных лимфоцитов, но заметно увеличивает бласттрансформацию, вызванную фитогемагглютинином (ФГА), а также приводит к увеличению митотического индекса на 3-й и 4-й день после облучения низкими дозами ГНЛ.

6. Под действием облучения ГНЛ увеличиваются содержание внутриклеточного кальция в лейкоцитах, окрашивание нуклеиновых кислот в клетках флуоресцирующим красителем акридиновым оранжевым и изменение морфологической структуры хроматина. По всем параметрам действие лазерного излучения в оптимальной дозе было сходным с действием ФГА.

7. При облучении крови непосредственно в кровеносных сосудах наблюдается расширение сосуда выше и ниже места облучения; эффект исчезает при замене крови перфузируемым физиологическим раствором. Этот эффект (вазодилатация) приводит к улучшению кровоснабжения органов.

Таким образом, наблюдаемые в клинике эффекты (противовоспалительное действие лазерного облучения, ускорение регенерации поврежденных тканей и улучшение кровоснабжения органов) могут быть связаны с тремя эффектами лазеров, полученными в эксперименте:

- 1) рост активности фагоцитов;
- 2) усиление пролиферации клеток;
- 3) улучшение циркуляции крови по сосудистому руслу вследствие расслабления стенок кровеносных сосудов (вазодилатации).

ПЕРВИЧНЫЕ ФОТОХИМИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ

Клинические наблюдения, равно как и экспериментальные данные, полученные на изолированных клетках и лабораторных животных, сами по себе не позволяют ответить на вопрос о первичных, молекулярных механизмах действия лазерного облучения на биологические структуры, но дают возможность сформулировать рабочую гипотезу о возможных первичных механизмах. Такая

гипотеза должна содержать ответы на вопрос о молекулах — мишенях лазерного света, о механизме первичных фотохимических реакций, вызываемых лазерным облучением, и о последующих событиях, приводящих к конечному фотобиологическому эффекту. Некоторое время тому назад было сделано предположение, что лазерное облучение может вызывать три различные фотохимические реакции :

- 1) фотоокисление липидов в клеточных мембранах;
- 2) фотореактивацию фермента супероксиддисмутазы (СОД),
- 3) фотолиз комплексов окиси азота (NO).

ФОТООКИСЛЕНИЕ ЛИПИДОВ В МЕМБРАНАХ

Чистые фосфолипиды, которые составляют структурную основу всех клеточных и внутриклеточных мембран, не поглощают свет в видимой и инфракрасной областях спектра, характерных для излучения обычных лазеров. Но если к фосфолипидам добавить немного сенсibilизатора, например гематопорфирина или фталоцианина, то под действием света лазера, например ГНЛ, происходит окисление липидов (фотодинамический эффект), сопровождающееся образованием перекисей (фотопероксидация). Фотопероксидация липидов наблюдается также и при лазерном облучении суспензии клеток или митохондрий, всегда, если добавить сенсibilизатор, а иногда, если даже его не добавлять. По-видимому, в некоторых условиях, в частности при определенных заболеваниях, в мембранах накапливаются природные сенсibilизаторы, возможно тот же гематопорфирин или его производные.

ДЕЙСТВИЕ ЛИПИДНОЙ ПЕРОКСИДАЦИИ НА МЕМБРАНЫ И КЛЕТКИ

Действие липидной пероксидации на фосфолипидный слой мембран хорошо изучено и сводится к нескольким основным эффектам :

- 1) избирательно увеличивается проницаемость для ионов H^+ и/или OH^- ;
- 2) увеличивается проницаемость для ионов Ca^{2+} ; снижается электрическая стабильность и может наступить "самопробой" мембран собственным электрическим потенциалом.

В клеточных мембранах к этому присоединяются окисление SH-групп и повреждение кальциевого насоса (Ca^{2+} -АТФазы), который превращается в канал для ионов Ca^{2+} .

Один из главных результатов всех этих эффектов — повышение концентрации Ca^{2+} внутри клеток. В окружении клеток концентрация Ca^{2+} сравнительно высока

— около 1 мМ, тогда как внутри клеток в норме поддерживается низкая концентрация ионов кальция — около 1 ГМ, в основном за счет работы фермент-насоса Ca^{2+} -АТФазы, а отчасти, возможно, и за счет митохондрий. При перекисидации липидов кальциевый насос ломается, но трубка от насоса — канал для ионов — остается, и Ca^{2+} -АТФаза, вместо того чтобы качать кальций из клетки, начинает пропускать его в клетку (в сторону его меньшей концентрации). Митохондрии тоже плохо помогают, потому что под действием перекисного окисления их мембраны становятся проницаемыми для ионов и не держат мембранный потенциал.

Увеличение концентрации ионов кальция при лазерном облучении изолированных клеток наблюдалось, например, в суспензии лимфоцитов, что приводило к активации клеток и их пролиферации. Можно предположить, что последовательность событий при действии лазерного облучения в данном и многих других случаях выглядит так:

- 1) поглощение фотона эндогенным фотосенсибилизатором и последующая перекисидация липидов (фотоперекисидация);
- 2) вхождение ионов кальция в клетку;
- 3) активация внутриклеточных процессов.

ПРЕДСТИМУЛЯЦИЯ (PRIMING) ФАГОЦИТОВ

Биологические последствия увеличения концентрации Ca^{2+} в клеточном соке будут разными в зависимости от типа клеток, подвергнутых лазерному облучению. При облучении крови, быть может самой распространенной форме лазеротерапии, существенно действие облучения на лейкоциты (нейтрофилы и моноциты), которые защищают организм от микробов и участвуют в регуляции кровообращения. Ранее было показано, что продукты перекисного окисления липидов и окисленные липопротеины плазмы крови вызывают предстимуляцию клеток-фагоцитов (priming), то есть двух-трех-кратное увеличение выделения ими активных форм кислорода в ответ на действие стимула (которым могут быть оболочки бактериальной клетки — лектины, например фитогемагглютинин, кальцийпереносящие антибиотики и некоторые другие вещества.

Возможны два главных биологических последствия предстимуляции лейкоцитов (гранулоцитов и моноцитов) при лазерном облучении крови. Во-первых, более мощное выделение активных форм кислорода (супероксида, перекиси водорода, гипохлорита) и NO должно привести к более эффективному фагоцитозу, то есть разрушению бактерий и грибов этими клетками. Во-вторых, большее выделение NO должно сопровождаться расширением кровеносных сосудов и улучшением

кровообращения. Оба этих эффекта рассмотрены при действии облучения лазера на организм.

АНТИРАДИКАЛЬНОЕ ДЕЙСТВИЕ ЛАЗЕРНОГО ОБЛУЧЕНИЯ

Описанный выше механизм действия низкоэнергетического лазера основан на усилении продукции свободных радикалов: на первом этапе — радикалов липидов (при фотопероксидации), а на втором - супероксида и NO. Между тем в некоторых случаях облучение лазером приводит к отчетливому снижению уровня свободных радикалов в системе. Как мы уже говорили, положительное действие лазерного облучения наблюдается при его использовании для лечения долго незаживающих ран и трофических язв. В частности, было показано ускорение заживления ран у детей при облучении ран светом гелий-неонового лазера.

ФОТОЛИЗ КОМПЛЕКСОВ ОКИСИ АЗОТА

В последнее время появились новые факты, подтверждающие возможность третьего механизма действия **лазерного** облучения - фотолитза комплексов окиси азота.

Окись азота (NO) - это природный свободный радикал (NO), выполняющий в организме несколько функций, две из которых особенно важны для понимания действия лазерного облучения на кровь. Во-первых, NO - предшественник выделяемого клетками эндотелия стенок кровеносных сосудов фактора расслабления (EDRF — Endothelium derived relaxing factor), играющего ведущую роль в регуляции кровяного давления. Во-вторых, NO выделяется макрофагами крови и тканей и выполняет роль защитного средства против микроорганизмов, в первую очередь против грибковой инфекции. Кроме этих двух эффектов (вазодилатация и микотоксическое действие) NO выполняет и другие функции

Окись азота — весьма реактивное соединение, легко образующее комплексы с окружающими молекулами, например сывороточным альбумином и гемоглобином. В присутствии кислорода как сама NO, так и ее комплексы постепенно окисляются с образованием нитратов и других соединений. Многие производные окиси азота, включая лекарственные препараты, вызывающие расширение сосудов, под действием света распадаются с образованием NO. Имеются данные о том, что светочувствительные комплексы NO существуют и в тканях и распадаются при освещении. Это приводит к феномену фоторелаксации — расслаблению стенок кровеносных сосудов при освещении в ближней ультрафиолетовой области.

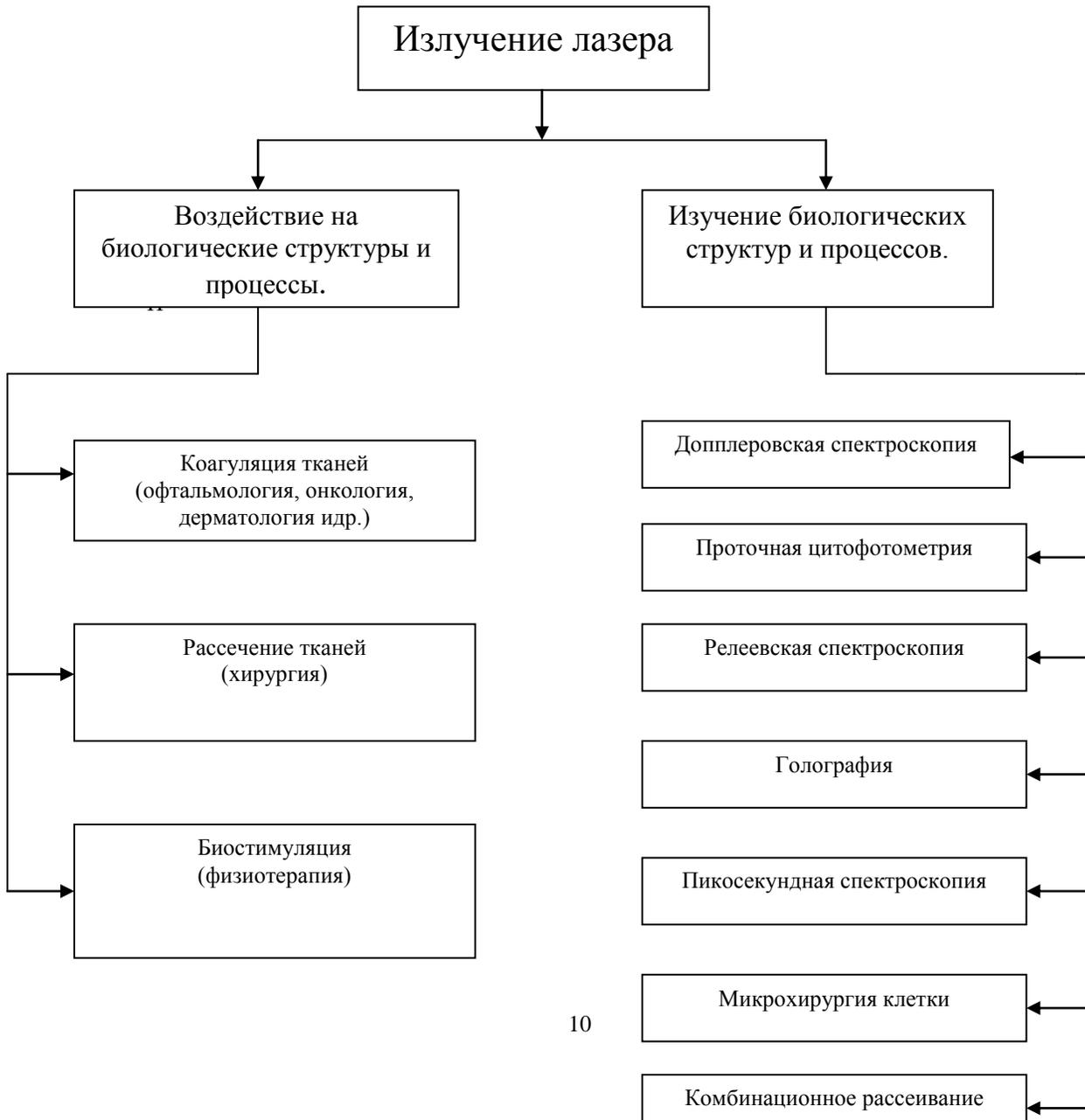
Однако какие именно соединения могут распадаться в живой ткани с образованием окиси азота, остается загадкой.

В числе кандидатов на комплексообразователи с окисью азота называют сывороточный альбумин и гемоглобин. Недавно методом ЭПР было показано фотохимическое расщепление комплекса NO-гемоглобин, при котором, по-видимому, происходит высвобождение окиси азота. Под действием лазерного излучения с длиной волны 436 нм (но не 633 нм!) происходит быстрое уменьшение сигнала ЭПР комплекса NO-гемоглобин как в растворах изолированного белка, так и в эритроцитах. При этом с помощью спиновой ловушки было обнаружено выделение свободной окиси азота.

- Литература: 1. С.Д.Плетнев “Лазеры в клинической медицине”.
2. Б.И.Степанов «Лазеры сегодня.»
 3. Л.В.Тарасов «Лазеры: действительность и надежды».
 4. Владимиров Ю.А. « Три гипотезы о механизме действия красного (лазерного) света» 1994.

VI. ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ И ЦЕЛИ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛАЗЕРОВ.

Современные направления медико-биологического применения лазеров могут быть разделены на две основные группы. (схема 1).



Первая –использование лазера в качестве **инструмента исследования**. В этом случае лазер играет роль уникального светового источника при спектральных исследованиях, лазерной микроскопии, голографии и др.

Вторая группа –основные пути использования лазеров в качестве **инструмента воздействия** на биологические объекты. Можно выделить три типа такого воздействия.

1. **Воздействие на ткани патологического очага импульсным или непрерывным** излучением при плотности мощности порядка 10^5Вт/ м^2 , недостаточной для глубокого обезвоживания, испарения тканей и возникновения в них дефекта. Этому типу воздействия соответствует, в частности, применение лазеров в дерматологии и онкологии для облучения патологических тканевых образований, которое приводит к их коагуляции.

2. **Рассечение тканей**, когда под влиянием излучения лазера непрерывного или частно-периодического (импульсы, следующие с большой частотой) действия часть ткани испаряется и в ней возникает дефект. В этом случае плотность мощности излучения может превосходить используемую при коагуляции на два порядка – 10^7Вт/м^2 и более. Этому типу воздействия соответствует применение лазеров в хирургии.

Обезболивание операций, борьба с кровотечением, предупреждение инфекции-эти проблемы всегда волновали хирургов.

Начиная со второй половины 60-х годов в хирургии в качестве скальпеля стал использоваться лазерный луч (лазер на углекислом газе непрерывного действия, мощностью в несколько десятков Вт). В фокусе лазерного луча концентрируется энергия, достаточная, чтобы нагреть и испарить биологическую ткань.

Преимущества лазерного луча:

- Бескровный разрез
- Постоянство режущих свойств
- Прозрачность лазерного луча
- Обеспечение стерильности(высокая температура)
- Относительно быстрое заживление раны.

3. **Влияние на ткани и органы низкоэнергетического излучения** (единицы или десятки Вт/м^2), обычно не вызывающего явных морфологических изменений, но приводящего к определенным биохимическим и физиологическим сдвигам в организме, т. е. воздействие физиотерапевтического типа. К этому типу следует отнести применение гелий-неонового лазера с целью биостимуляции при вяло текущих процессах, трофических язвах и др.

Несмотря на всю условность схемы (нетрудно видеть, например, что при рассечении тканей наблюдается одновременно гибель части клеток, т. е. реализуется и воздействие по первому типу, рассечение и коагуляция тканей сопровождаются определенными

физиолого-биохимическими изменениями и т. д.) она дает представление о тех основных эффектах, которое дает лазерное облучение. Следовательно, задача исследований механизма биологического действия лазерной радиации сводится к изучению тех процессов, которые лежат в основе тех интегральных эффектов, вызываемых облучением: коагуляции тканей, их рассечения, биостимуляционных сдвигов в организме.

Рассмотрим применение лазеров для изучения биологических структур и процессов.

Прежде всего следует выделить методы, основанные на явлении рассеяния лазерного света-лазерную нефелометрию, лазерную спектроскопию релеевского, доплеровского, комбинационного рассеяния света. Эти методы информативны при малых экспозициях, обеспечивают высокую чувствительность и быстроту анализа, технологичны и сравнительно легко могут быть автоматизированы.

1. Лазерная нефелометрия и другие методы счета фотонов, рассеянных на частицах, используются для обнаружения этих частиц. Спектр лазерного света, рассеянного медикобиологическими объектами, содержит в себе информацию о диффузных движениях биологических молекул и микрочастиц, о собственной подвижности микроорганизмов в растворах, о скорости потоков и микроциркуляции крови и других биологических жидкостей. В области вирусологии метод лазерной фотон-корреляционной спектроскопии использован для изучения строения вирусных частиц, их дифференциации по размерам. Измерены средние гидродинамические диаметры различных вирусов гриппа. В области иммунологии методы рассеяния лазерного света используют для регистрации реакции антиген-антитело. Проведенные исследования выявили ряд преимуществ методов лазерного светорассеяния по сравнению со стандартными методами, а именно:

- Возможность индикации реакции при более низких концентрациях антигенов и антител
- Возможность индикации реакций в начальной стадии реакции и как следствие этого
- Существенный выигрыш во времени регистрации .

В области судебной медицины методы рассеяния лазерного света используются для определения видовой принадлежности крови, слюны и других биологических жидкостей и выделений. Показано, что чувствительность этих методов примерно в 10^3 выше, чем в стандартных методах. Анализ можно проводить в микрообъемах до 20 мкл.

В области фармакологии и токсикологии развит новый экспресс- метод определения токсичности химических соединений по их действию на подвижность микроорганизмов. Сравнительная простота технологии и техники этого метода, малая продолжительность одного измерения (10-15с), возможность полной автоматизации, включая прямой вывод результатов измерений на ЭВМ, делают этот метод перспективным для массовой проверки токсичности или лекарственного действия химических соединений.

В области фармакологии и токсикологии развит новый экспресс- метод определения токсичности химических соединений по их действию на подвижность микроорганизмов. Сравнительная простота технологии и техники этого метода, малая продолжительность одного измерения(10-15с), возможность полной автоматизации, включая прямой вывод результатов измерений на ЭВМ, делают этот метод перспективным для массовой проверки токсичности или лекарственного действия химических соединений.

Для решения задач эндокринологии, кардиологии, дерматологии и других областей медицины развит лазерный метод оценки поверхностных микроциркуляций крови.

Микроциркуляция характеризуется средней скоростью движения эритроцитов, определяемой из спектров доплеровского рассеяния.

VII. Гигиенические аспекты использования лазерного излучения.

Интенсивное развитие лазерной техники, технологии и широкое использование ее в медицине обусловило необходимость разработки системы профилактических мероприятий, обеспечивающей безопасные условия труда с лазерными установками.

Лазерное излучение наиболее опасно для органа зрения, что связано с проходимостью передних сред глаз для электромагнитных излучений видимой и ближней инфракрасной области спектра (0.4-1.4 мкм), а также фокусированием его на сетчатке, вследствие чего плотность энергии на ней во много раз возрастает. Возможность повреждения сетчатки и сосудистой оболочки глаза зависит прежде всего от энергии лазерного излучения, времени воздействия, размера пятна засветки на сетчатке. Паталогия органа зрения может быть различной - от незначительных изменений до частичной или полной потери зрения. Наиболее типичными являются точечные ожоги без изменения функции зрения. Повреждения передних отделов глаза могут возникать при более высоких уровнях энергии лазерного излучения. При соблюдении гигиенических требований при работе с лазерным излучением ожоги кожи практически не встречаются. Систематическое воздействие лазерного излучения при его интенсивности, не вызывающей повреждающих эффектов, но превышающей предельно допустимый уровень, может привести к общим неспецифическим функциональным и биохимическим изменениям в организме.

Таким образом, в зависимости от энергетической экспозиции и дозы действующего на организм человека лазерного излучения оно может не только вызывать стимулирующие биологические эффекты, но и оказывать неблагоприятное влияние на здоровье лиц, работающих с лазерными аппаратами в медицине.

Как показывают результаты гигиенических исследований, обслуживающий персонал наиболее часто подвергается воздействию диффузноотраженного излучения и только в результате нарушений правил техники безопасности и гигиенических требований возможно воздействие прямого или зеркально отраженного лазерного излучения. Вредное влияние на функцию зрения работающих с лазерами могут оказывать световые вспышки ламп накачки и плазменного факела, образующегося при взаимодействии лазерного луча с обрабатываемым материалом. В офтальмологии применяют лазеры мощностью до 10Вт. Проведение хирургических и терапевтических манипуляций осуществляется через микроскоп. При этом создается возможность отражения лазерного излучения от тканей глаза пациента в сторону врача офтальмолога и другого медицинского персонала. Для защиты глаз врача от отраженного излучения применяют встроенные в окуляры микроскопа светофильтры, снижающие уровень лазерного излучения. Некоторые установки снабжены затворами (шторками), полностью перекрывающими отраженное лазерное излучение. Принимая во внимание большую опасность прямого и зеркально отраженного лазерного излучения, следует предпринимать все необходимые меры для того, чтобы исключить его воздействие на медицинский персонал. Для отделки полов, стен, и перегородок в помещениях, где будут находиться лазеры, не рекомендуется применять материалы с блестящими, глянцевыми поверхностями, имеющие высокий коэффициент отражения лазерного излучения.

В 1982г в нашей стране введены в действие "Санитарные нормы и правила устройства и эксплуатации лазеров".

В соответствии с этими критериями санитарные нормы и правила регламентируют суммарную энергию лазерного излучения на сетчатке глаза, получаемую персоналом за общее время облучения в течение рабочего дня в пределах $4 \cdot 10^{-7}$ - $3 \cdot 10^{-4}$ Дж

при $\lambda = 0.4$ - 0.75 мкм при фоновой освещенности роговицы в пределах 10^{-2} - 10^{-5} лк.

Меры безопасности:

1. Не следует смотреть навстречу лазерному лучу (особенно опасны поражение желтого пятна и центральной ямки сетчатки глаза, слепого пятна-место выхода зрительного нерва).
2. Необходимо использовать защитные очки.

ПДУ для рабочего дня ($t = 3 \cdot 10^4$ с), $I = 2.7 \cdot 10^{-6}$ Вт/см².

На роговицу глаза соответствующий минимальный ПДУ энергетической освещенности составляет $2.7 \cdot 10^{-11}$ Вт/см².

- Литература:
1. С.Д.Плетнев “Лазеры в клинической медицине”.
 5. Б.И.Степанов «Лазеры сегодня.»
 6. Л.В.Тарасов «Лазеры: действительность и надежды».
 7. Владимиров Ю.А. « Три гипотезы о механизме действия красного (лазерного) света» 1994.