

СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ ЛАЗЕРОТЕРАПИИ

Проф. И. Ю. КУЗЬМИНА, Т. М. КРАУЗЕ

UP-TO-DATE ASPECTS OF LASER THERAPY

I. Yu. KUZMINA, T. M. KRAUZE

Харьковский государственный медицинский университет, Украина

Рассмотрены современные аспекты лазерного воздействия, противопоказания к его применению, способы повышения эффективности лазеротерапии.

Ключевые слова: лазеротерапия, эффективность, методы воздействия.

Up-to-date aspects of laser therapy, contraindications, methods to improve the efficacy are discussed.

Key words: laser therapy, efficacy, methods of treatment.

Лазер — это аббревиатура английской фразы «Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation» — усиление света с помощью стимулированного излучения. Лазерное излучение является световым потоком (электромагнитным колебанием) в очень узком спектральном диапазоне и обладает следующими физическими свойствами: монохроматичностью (излучение электромагнитных колебаний в узком диапазоне длин волн); поляризацией (упорядоченность и ориентация векторов напряженности электрических и магнитных полей световой волны в плоскости, перпендикулярной световому лучу); когерентностью (согласованное протекание во времени нескольких колебательных или волновых процессов одной частоты и поляризации); направленностью (очень малое расхождение лазерного луча).

Первый лазерный аппарат был изготовлен в 1960 г. Мaiman в США (рубиновый лазер). Затем были изготовлены газовый гелий-неоновый лазер (1961 г., Япония), а в 1962 и 1963 г. — полупроводниковые лазеры (СССР и США). За разработку лазерной техники в 1964 г. русские физики Н. Г. Басов, А. М. Прохоров и американец С. Townes получили Нобелевскую премию. В медицинских целях лазерное излучение начали использовать в 1970-х годах [1].

В настоящее время всю медицинскую лазерную аппаратуру можно разделить по назначению на три группы: для хирургического лечения, для терапевтического лечения и для диагностики.

В лазерном аппарате постоянство длины волны, как правило, поддерживается однотипными средствами возбуждения — молекулой углекислого газа, аргона, паров меди или твердыми веществами — рубином, изумрудом. По названию средств возбуждения часто и называют лазеры: азотный (длина волны 0,2 мкм), ультрафиолетовый на азоте (длина волны 0,33 мкм), гелий-кадмиевый (длина волны 0,44 мкм), аргоновый (длина волны 0,51 мкм), гелий-неоновый (длина волны 0,63 мкм), рубиновый (длина волны 0,7 мкм), арсенид-галлиевый (длина волны

0,89 мкм), алюмо-итриевый гранат с неодимом (длина волны 1,06 мкм), эрбий-алюмо-итриевый гранат (длина волны 2,94 мкм), окиси углерода (длина волны 5–6 мкм), углекислого газа (длина волны 10,6 мкм). От длины волны лазерного излучения в основном зависит глубина его проникновения.

ПРИНЦИПЫ И МЕХАНИЗМЫ ЛАЗЕРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

В последние годы предложены три группы теорий, представляющих попытки в общих чертах объяснить механизм действия красного низкоинтенсивного лазерного излучения (НИЛИ) на уровне клетки. В соответствии с одной из теорий (биофизической) предполагается, что лазерное излучение (электромагнитные волны) взаимодействует с электрическими полями клеток [2], и фотоэффект обуславливается первичным поглощением кванта света молекулой-акцептором и переходом ее в возбужденное состояние. При этом возникает разность потенциалов между участками облучаемого объекта, а появившаяся фотоэлектродвижущая сила активизирует физиологические процессы.

По другой теории (физического и биохимического уровня воздействия) предполагается, что механизм действия связан в первую очередь с фотоакцепцией ферментами (каталазой, цитохромоксидазным комплексом, никотинамидфосфат (НАДФ)-оксидазой, глутатион-S-трансферазой, глутатион пероксидазой, дегидрогеназой, фосфатазой, цитохромоксидазой, НАДФ-дегидрогеназами), либо веществами, имеющими в составе ионы металла (церулоплазмином, порфирином, гемоглобином) [3, 4]. Энергия лазерного излучения первично поглощается этими ферментами, они переходят в активное состояние и запускают систему антиперекисной защиты (АПЗ).

Третья группа теорий (молекулярно-структурных изменений клеточных мембран) уточняет локализацию воздействия, описываемого гипотезами второй группы. Предполагается два механизма

лазерного воздействия на плазматическую мембрану: 1) акцепции и 2) рецепции квантов света [5]. Более детально клеточные механизмы низкоинтенсивного лазерного излучения рассматриваются в обзорах [6, 7]. К ним относятся: фотохимические изменения [8], стимуляция микроциркуляции, митохондрий, активация работы трансмембранных ионных каналов; усиление микроциркуляции [9]; снижение содержания пировиноградной кислоты в эритроцитах [10], уменьшение содержания Ca^{2+} в эритроцитах [11], усиление митотического индекса [12], повышение фагоцитарной активности лейкоцитов [13], увеличение содержания иммуноглобулинов G и T-лимфоцитов [14]. При этом происходит активизация антиоксидантной системы [15], развивается системный вегетативный эффект в виде относительного ослабления активности симпатической системы и возрастания ваготонии, что создает антиишемический эффект [16].

Лазерное излучение в красном и инфракрасном (ИК) диапазонах в терапевтических дозах действует на молекулярном уровне: стимулирует окислительно-восстановительные процессы, увеличивает скорость синтеза белка, ферментов. На клеточном уровне оно изменяет мембранный потенциал, повышает пролиферативную активность; на тканевом уровне — изменяет pH межклеточной жидкости; на органном уровне — нормализует функцию органа (результат рефлекторных реакций). Кроме того, оно вызывает генерализованную реакцию организма (активацию желез внутренней секреции, иммунной системы и микроциркуляции), нормализует тонус центральной и вегетативной нервной системы.

НИЛИ стимулирует функциональную активность капилляров за счет их дилатации и раскрытия резервных возможностей. При повторных сеансах лазерной терапии наблюдается увеличение капиллярной сети — неоваскулогенез (новообразование капилляров). Превышение оптимальных доз лазерного облучения ($0,1-100$ мВт/см² на протяжении $10-15$ сеансов) может привести к обратному эффекту — угнетению неоваскулогенеза. Под влиянием лазерного излучения скорость регенерации микрососудов возрастает в два раза [17]. В то же время следует помнить, что рекомендуемые параметры плотности мощности и дозы лечения в разных руководствах различаются в сотни и более раз [18], и поэтому начинать лечение надо с меньших доз.

В настоящее время в неврологии низкоинтенсивное лазерное излучение широко применяют для профилактики и лечения дегенеративно-дистрофических заболеваний позвоночника и суставов. В последние годы лазеротерапию начали успешно применять при сосудистых и воспалительных заболеваниях ЦНС. Лазеротерапия повышает эффективность лечения почти всех острых и хронических заболеваний, поскольку улучшает микроциркуляцию, метаболизм и процессы регенерации.

Кроме изменения мощности лазерного излучения, можно менять и время воздействия на биоткань. Тогда меняется доза лазерного излучения, и можно получить разные фотореакции организма — как положительные, так и отрицательные. Как правило, малые дозы улучшают микроциркуляцию, ускоряют рост капилляров, повышают pH тканевой жидкости, уменьшают отечность тканей и болевой синдром. Но в то же время слишком малые дозы вообще не оказывают влияния на организм. Большие дозы лазерного излучения вызывают отрицательные явления: спазм артериол, увеличение отека тканей, угнетение репаративных процессов и усиление болевого синдрома. Примером этому может служить исследование Э. В. Луцевич с соавт. [19], в котором показано, что если в первые три сеанса лазеротерапии воздействовать на рану дозой $0,002-0,005$ Дж/см², то усиливаются репаративные процессы, ускоряется рост капилляров, повышается pH тканевой жидкости, снижается отечность тканей и болевой синдром. Если лечение начинают с дозы, превышающей $0,005$ Дж/см², то возникают отрицательные изменения в ране (усиливается воспаление). По мнению И. М. Байбекова, А. Х. Касымова [20], оптимальной дозой облучения большинства клеточных типов при низкоинтенсивной лазерной терапии является доза 20 Дж/см². При больших дозах происходит альтернатива клеток, а при дозе свыше 50 Дж/см² — часто необратимые повреждения клеток. Однако при одной и той же дозе, но с увеличением плотности мощности и с уменьшением экспозиции усиливается фотобиоэффект, и наоборот [21]. Если сравнить воздействие на организм человека красного и инфракрасного излучения, то нарушения микроциркуляции в тканях наблюдаются при облучении их в первом случае в дозе более 10 Дж/см², а во втором случае — 3 Дж/см² [22].

При лазерной терапии в ответной реакции клеток в зоне воздействия (кожа, структуры головного мозга, миокард, эндокринные и иммунные органы) принимают участие практически все их структурные элементы. Характер реакций зависит от биологической специфики, электрических и оптических характеристик тканей, подвергающихся воздействию. Система внутренних сигналов, обусловленная включением в ответную реакцию отдельной клетки (или ткани в целом) процессов нейрогуморальной и гормональной регуляции, обеспечивает адекватную ответную реакцию в пределах гомеостатического регулирования, если интенсивность внешних сигналов не превышает функциональных возможностей регуляторных систем. С этой точки зрения лазерное излучение в терапевтических дозировках, не вызывающих каких-либо патологических изменений клеток, можно рассматривать как физиологический раздражитель — сигналы, вызывающие изменения естественно протекающих в клетке физико-химических, биофизических, биохимических и физио-

логических процессов. В терапевтических дозах лазерная терапия абсолютно безвредна.

Сущность лазерной терапии заключается в нормализации гомеостаза на молекулярно-биологическом уровне за счет восстановления физиологических концентраций важнейших молекулярных структур, нарушенных при патологических процессах [23]. Этот многоступенчатый процесс можно представить следующим образом: поглощение квантов света \Rightarrow первичный фотофизический акт \Rightarrow промежуточные стадии, включающие образование в тканях фотосенсибилизированных продуктов или перенос энергии на мембранных компонентах клеток \Rightarrow образование в тканях физиологически активных соединений \Rightarrow включение нейрогуморальных реакций \Rightarrow конечный фотобиологический эффект.

Инфракрасное излучение в диапазоне длин волны 0,85 – 1,3 мкм проникает в биологические ткани на глубину до 6–7 см и преимущественно поглощается в организме молекулами воды, кислорода, а также некоторыми ферментами. Различные биологические ткани обладают разными спектральными оптическими свойствами. Индивидуальный спектральный коэффициент отражения имеет очень большой разброс. Он зависит не только от возрастных, физиологических и патофизиологических параметров обследуемого пациента, от фазы патологического процесса, но также подвержен суточным, температурным, психоэмоциональным и другим изменениям.

Точность дозировки НИЛИ превосходит любые фармакологические методики в миллионы раз. Современная аппаратура позволяет конфигурировать зону облучения любой формы с точностью до сотых долей миллиметра. Проведены тысячи исследований на самых разных группах больных.

За долгие годы применения высокоэнергетических лазеров в хирургии были продемонстрированы их преимущества перед традиционными хирургическими методами и достигнуты почти оптимальные возможности при проведении операций. Дальнейшее совершенствование методов лазерной хирургии зависит от разработки и применения новых типов лазеров, таких как диодные лазеры, лазеры на свободных электронах и др.

При конструировании высокоэнергетических диодных лазеров для хирургии существенное значение имеет оптический дизайн – миниатюризация оптики для уменьшения инвазивности хирургических методов.

В хирургии используют высокоинтенсивные лазеры, вызывающие необратимые изменения в тканях: сваривание, испарение, абляцию (удаление и резка). Чаще всего применяют углекислые лазеры непрерывного излучения мощностью 20–40 Вт для резекции желудка, печени, головного мозга (аппараты «Скальпель-1», «Ромашка-1», «Саяны-МТ»). В неврологии применяют низкоинтенсивные лазеры, которые по длине волны в свою очередь делятся на три группы: ультра-

фиолетового, видимого красного и инфракрасного спектров. Постоянство длины волны, как правило, поддерживается однотипными средствами возбуждения – молекулой углекислого газа, аргонном, парами меди или твердыми веществами – рубином, изумрудом.

МЕТОДЫ И ХАРАКТЕР ВОЗДЕЙСТВИЯ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

В медицинской практике применяются следующие методы воздействия лазерным излучением – дистанционный (излучатель располагается на некотором расстоянии от тела); контактный (излучатель соприкасается с кожным покровом); внутрисосудистый (световод излучателя находится в просвете сосуда); надсосудистый (излучатель с помощью специального приспособления крепится над кровеносным сосудом); внутриорганный (световод находится внутри полого органа – мочевого пузыря); внутриволокнистый (световод находится внутри естественной полости – внутриволокнистое облучение вентрикулярного или спинномозгового ликвора).

Существуют следующие методики воздействия лазерным излучением на патологический очаг: стабильный и лабильный. При стабильной методике излучатель устанавливают над очагом и не перемещают его. Когда облучают глубинный очаг, нужно надавить излучателем на кожу и произвести компрессию. Для лучшего проникновения лазерного луча используют зеркальную или магнитную насадку. Для облучения пролежня применяют дистанционное воздействие: излучатель держат на некотором расстоянии. Если пролежень занимает большую площадь, то воздействуют по 4–6 полям, захватывая при этом и здоровые участки кожи. При лабильной методике излучатель перемещают над очагом со скоростью 1 см/с (сканирование), вдоль сосудисто-нервного пучка или нерва от центра к периферии или по периметру пролежня, от периферии к центру, начиная со здоровых участков кожи.

Для лазерной акупунктуры применяют разные лазерные аппараты, но наибольшее число исследований было проведено на гелио-неоновых лазерах. Время воздействия для стимуляции на одну точку – до 20 с, а для торможения – до 60 с и более.

Для более эффективного воздействия на организм больного лучше применять несколько лазерных устройств с различной длиной волны, импульсных и постоянных режимов. Например, для воздействия на акупунктурные точки, на зоны краниопунктуры, для сканирования и лазерного облучения крови (ЛОК) лучше подходит гелий-неоновое лазерное излучение различной мощности. Для воздействия на область позвоночника и суставов лучше использовать инфракрасное импульсное излучение. При лечении постгерпетической невралгии лучше применить ИК непрерывный лазер мощностью 60–100 мВт, длиной волны 0,83 мкм.

Дозу необходимо разделить на количество зон воздействия, учитывая, что экспозиция на самые болезненные зоны наиболее продолжительна. При передозировке излучения может возникнуть реакция обострения. В остром периоде болезни применяется импульсный режим в небольших дозах, преимущественно по сегментарно-рефлекторным методикам. В подостром периоде добавляют импульсный лазер местно. При хроническом течении заболевания интенсивность лазерного излучения увеличивается. При локальном облучении пораженных тканей достигается противовоспалительный, обезболивающий, противоотечный эффект, улучшается местное кровообращение.

Облучение рефлексогенных зон и точек акупунктуры дает рефлекторный саногенез (реституция, регенерация, компенсация и повышение иммунитета). Облучение крови приводит к десенсибилизирующему, иммунокорректирующему эффекту и способствует нормализации липидного обмена. Для лазерной стимуляции нервно-мышечного аппарата при легком поражении скелетной мускулатуры (понижении тонуса, атрофии, параличе) используют импульсную мощность 3–5 Вт, частоту 80–150 Гц, а при тяжелом поражении — частоту 20–80 Гц. Для ИК лазера доза до 30 Дж/см² активирует микроциркуляцию, а доза 70 Дж/см² и выше вызывает ее расстройство [18]. Доза 0,005–0,05 Дж/см² стимулирует пролиферацию клеток, доза 0,1–1,0 Дж/см² стимулирует метаболизм тканей и функции органов, доза 0,1–3,0 Дж/см² улучшает микроциркуляцию и вызывает анальгезию [14]. Импульсное лазерное воздействие с меньшей суммарной дозой оказывает то же терапевтическое действие, что и непрерывное в более высокой дозе [11]. Эффект лазерного воздействия зависит от частоты посылки импульсов.

ПРОТИВОПОКАЗАНИЯ К ЛАЗЕРОТЕРАПИИ

Противопоказаниями к лазеротерапии являются доброкачественные новообразования в зонах облучения; тиреотоксикоз (из-за возможного токсиче-

ского действия на сердце гормонов щитовидной железы); активная форма туберкулеза; заболевания крови; сахарный диабет в стадии декомпенсации; сердечно-сосудистая или легочная недостаточность 3-й стадии; стенокардия напряжения и др. Запрещается воздействовать на пигментные пятна, невусы, ангиомы и другие новообразования.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛАЗЕРОТЕРАПИИ

На эффективность лечения лазером оказывает влияние состояние вегетативной нервной системы. По утверждению авторов [8], наилучший эффект лазеротерапии в комплексном лечении достигается при наличии у больных исходного вегетативного тонуса по симпатикотоническому или эйтоническому типу с нормальной или гиперсимпатикотонической реактивностью вегетативной нервной системы. Напротив, при ваготонической направленности вегетативного тонуса, независимо от возраста, пола и фазы течения патологического процесса, отмечены менее выраженные результаты лечения [5]. Для увеличения эффективности лечения при ваготонии, перед лечением лазером назначают препараты, стимулирующие симпатический отдел вегетативной нервной системы (экстракт элеутерококка, настойки заманихи, аралии, витамины группы В), или воздействуют на надпочечники, вилочковую и небные железы, а также на центры симпатической и нейрогуморальной регуляции (паравerteбральный грудной отдел позвоночника) [14]. Следует отметить, что повысить тонус симпатической нервной системы можно путем понижения тонуса парасимпатической нервной системы. Для этого назначают М-холинолитики (атропин, беллоид, циклодол), витамин В₆, димедрол.

Применение лазеров в медицине имеет большие перспективы и возможности как мощное немедикаментозное средство, приводящее к биостимуляции, саморегуляции, коагуляции и рефлексогенной терапии различных патологических процессов в организме.

Литература

1. Морфологические основы низкоинтенсивной лазеротерапии / И. М. Байбеков, А. Х. Касымов, В. И. Козлов и др.— Ташкент: Изд-во им. ибн Сины, 1999.— 223 с.
2. Буйлин В. А. Низкоинтенсивная лазерная терапия с применением матричных импульсных лазеров.— М.: Техника, 1996.— 118 с.
3. Инюшин В. М. Лазерный свет и живой организм.— Алма-Ата, 1990.— 46 с.
4. Инюшин В. М., Чекуров П. Р. Биостимуляция лучом лазера и биоплазма.— Алма-Ата: Казахстан, 2005.— 120 с.
5. Гримблатов В. М. Современная аппаратура и проблемы низкоинтенсивной лазерной терапии // Применение лазеров в биологии и медицине.— Киев, 2004.— С. 123–127.
6. Кару Т. Й. Первичные механизмы воздействия низкоинтенсивного лазерного излучения в биологических системах: слабо поглощающие фотоакцепторы и структурное усиление локального фотовоздействия в биологических жидкостях // Лазеры и медицина.— М.: Знание, 1989.— 219 с.
7. Клебанов Г. И. К механизму лечебного эффекта гелий-неонового лазера у больных ишемической болезнью сердца // Применение лазеров в хирургии и медицине: Тез. докл. междунар. симп. / Под ред. О. К. Скобелкина.— М., 1988.— С. 23–25.
8. Козлов В. И., Кейси Х. М., Паниш М. Г. Лазеры на эгероструктурах. Т. 2.— М.: Элби — СПб., 2001.— 364 с.
9. Новые возможности портативных лазерных терапевтических аппаратов «Мотылек» / С. В. Москвин,

- А. А. Радаев, М. М. Ручкин и др. // Науч. -практ. конф. // Применение лазеров в медицине и биологии: Тез. докл.— Ялта, 1996.— С. 111–113.
10. Москвин С. В. Лазерная терапия, как современный этап развития гелиотерапии (исторический аспект) // Лаз. мед.— 1997.— Т. 1, вып. 1.— С. 45–49.
11. Прохончуков А. А., Жижина Н. А. Лазеры в стоматологии // Лазеры в клинической медицине: Руков. для врачей / Под ред. С. Д. Плетнева.— М.: Медицина, 2005.— С. 283–303.
12. Справочник по лазерам. Т. 1–2 / Под ред. А. М. Прохорова: Пер. с англ.— М.: Техника, 1998.— 397 с.
13. Справочник по лазерной технике: Пер. с нем.— М.: Энергоатомиздат, 1991.— 544 с.
14. Титов М. Н., Москвин С. В. Фирма «Техника» — разработчик лазерной медицинской аппаратуры // Лазер-маркет.— 1993.— Т. 3.— С. 18–19.
15. Titov M. N., Moskvina S. V., Priezhev A. V. Optimization of the parameters of biostimulator «Mustang» in respect to the light scattering properties of the tissues // SPIE's Symposium «Biomedical Optics Europe'93».— Paper № 2086.— 22.— Budapest, 1993.
16. Федоров Б. Ф. Лазеры. Основы устройства и применение.— М.: ДОСААФ, 1998.— 190 с.
17. McKibbin L., Downie R. Treatment of Post Herpetic Neuralgia using a 904nm (infrared) Low Incident Energy Laser: a Clinical Study // LLLT Symposium for Postherpetic // Neuralgia, 2003.— P. 35–39.
18. Reddi G. K., Stehno-Bittel L., Enwemeka C. S. Lasers and their application // J. Med. Photobiol.— 1992.— Vol. 16, № 3.— P. 347–355.
19. Луцевич Э. В., Коновалов Р. Т., Пиркис Т. Г. Влияние низкоинтенсивного лазерного излучения на функциональный потенциал лейкоцитов // Бюлл. эксп. биол. и мед.— 1997.— Т. 123, № 4.— С. 395–398.
20. Байбекова И. М., Касымов А. Х. Физико-химические механизмы биологического действия лазерного излучения // Усп. совр. биол.— 1998; 103.— С. 31–43.
21. Effects on the mitosis of normal and tumor cells induced by light treatment of different wavelengths / M. Sroka, P. M. Schaffer, E. Duhmke, R. Baumgartner // Laser Surg. Med.— 1999.— Vol. 25, № 3.— P. 263–271.
22. Клиническое тепловидение / В. П. Мельникова, М. М. Мирошников, Е. Б. Брюнелли и др.— СПб.: ГОИ им. С. И. Вавилова, 1999.— 124 с.
23. Бельский В. Я., Вайнер Б. Г. Перспективы использования тепловидения в косметологии // Дерматовенерология Сибири. Наука и практика: Тез. докл. 2-й Сиб. конф.— Новосибирск: СО РАМН, 1997.— С. 89–90.

Поступила 11.04.2006