

Хирургический CO₂-лазер с электромагнитной системой управления мощностью

Аннотация

Рассмотрена возможность управления мощностью излучения углекислотного лазера, предназначенного для хирургических операций. Продемонстрировано, что электромагнитная система управления позволяет регулировать мощность излучения лазера в широком диапазоне значений, что дает возможность использования единственной лазерной установки в различных медицинских применениях. Приведены экспериментальные результаты воздействия модулированного лазерного излучения на биологические ткани.

Введение

Применение лазеров в хирургической практике имеет ряд преимуществ, обусловленных спецификой воздействия лазерного излучения на биологические ткани [1]-[3]. Возможность высокой концентрации световой энергии в малых объемах позволяет избирательно воздействовать на биоткани и дозировать степень этого воздействия от коагуляции до их испарения и разреза.

Лазерное излучение позволяет удалять пораженные ткани, не повреждая окружающие патологический очаг здоровые ткани; лазерные операции практически бескровные; заживление лазерных ран происходит быстрее и качественнее, чем при использовании других методов оперативного лечения. Бесконтактное удаление биологических тканей осуществляется с минимальной травматизацией и высокой точностью. Хороший гемостаз в зоне воздействия лазера приводит к тому, что практически отсутствует отек в области раны, а следовательно, послеоперационный период протекает без боли. Лазерное излучение обладает бактерицидным действием, поэтому лазерные раны стерильны. Проникая глубоко в ткани, лазер активизирует клетки, в результате чего ускоряются процессы заживления лазерных ран. Преимущества высокоэнергетических лазеров, в особенности углекислотных или CO₂-лазеров, обуславливают их широкое применение практически во всех областях хирургии.

Материалы и методы

Из основных применяемых методов управления выходной мощностью газоразрядных лазеров выделяют [4] механичес-

кий, акустооптический, электрооптический и токовый. При их достоинствах каждого из этих методов характерны определенные недостатки: так, механический способ не позволяет изменять амплитуду излучения; акустооптический модулятор имеет малую лучевую стойкость и большую инерционность; электрооптический модулятор достаточно хрупок и также имеет малую лучевую стойкость; при токовом методе управления возникают колебательные процессы установления когерентной мощности газоразрядного лазера, обусловленные изменением состава газовой смеси и температуры резонатора.

Для устранения перечисленных недостатков целесообразно рассмотреть возможность применения электромагнитной модуляции лазерного излучения [5]. В рассматриваемой работе для модуляции мощности CO₂-лазера используется поперечное магнитное поле. Электромагнитный метод модуляции основывается на плазменно-оптическом эффекте, который обусловлен взаимодействием магнитного поля с индукцией B с активной средой лазера. Этот метод позволяет управлять выходной мощностью P лазера непрерывного действия, меняя ее значение от максимального до нулевого по линейному закону при достаточном для рассматриваемых задач быстродействии.

Принцип работы CO₂-лазера заключается в следующем [6]. При его включении в разрядной трубке формируется тлеющий разряд. Электроны взаимодействуют с молекулами смеси газов и возбуждают верхние метастабильные уровни молекулы CO₂, тем самым обеспечивая инверсию населенности активной среды. Возникшие когерентные кванты за счет индуцированных переходов приводят к дополнительным индуцированным переходам. Плотность энергии этих когерентных кван-

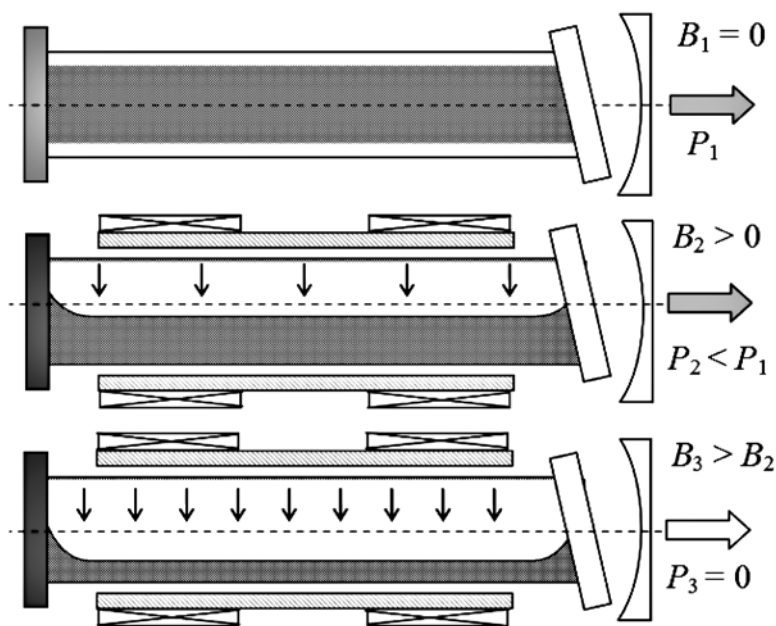


Рис. 1. Распределение заряженных частиц в разрядной трубке лазера

тов начинает увеличиваться. В соответствии с соотношением Эйнштейна вероятность индуцированных переходов возрастает. Сам процесс носит лавинообразный характер. В итоге лазер переходит в квазистационарный режим. Усиление когерентного излучения уравнивает выход когерентной мощности лазера и потери излучения в активной среде.

Между зеркалами оптического резонатора лазера устанавливается стоячая электромагнитная волна. Плотность энергии этой волны в поперечном сечении разряда носит гауссов характер, т. е. она максимальна на оси разряда и падает практически до нуля к стенкам разрядной трубки. Такое же распределение имеет плотность электронов разряда и возбужденных молекул углекислого газа. Следовательно, распределение плотности когерентных квантов и распределение плотности возбужденных молекул углекислого газа имеют приблизительно одинаковый характер, это обеспечивает необходимую вероятность индуцированных переходов и нормальную работу лазера (рис. 1, при $B_1 = 0$).

При пропускании тока через катушки электромагнита в воздушном зазоре управляющей системы возникает магнитное поле, вектор индукции которого перпендикулярен оси разрядной трубки [7]. Вследствие силы Лоренца электроны разряда устремляются к стеклянной стенке разрядной трубки и создают значительный отрицательный потенциал. Под действием этого потенциала ионы разряда также устремляются к стенке и весь газовый разряд плотно прижимается к одной из стенок разрядной трубки. Распределение электронов и соответственно возбужденных молекул углекислого газа в плоскости, перпендику-

лярной оси разряда, начинает носить неоднородный характер: концентрация возбужденных молекул углекислого газа на оси уменьшается практически до нуля, а у одной из стенок разрядной трубки увеличивается (рис. 1, при B_2, B_3).

В современных лазерах применяются зеркала оптического резонатора сферического типа и возникающие у стенки (вне оси резонатора) когерентные кванты будут в значительной мере теряться и не установят в резонаторе стационарной стоячей волны. В этом случае лазер прекращает генерировать когерентное излучение.

Разработанная электромагнитная система модуляции позволяет регулировать длительность и частоту следования импульсов, а также в широких пределах регулировать выходную мощность излучения лазера. Данный факт позволяет использовать такой лазер во многих областях хирургии, а не иметь набор разных лазеров с различной выходной мощностью.

Результаты

На базе Первого Санкт-Петербургского государственного медицинского университета им. акад. И.П. Павлова был проведен ряд экспериментальных исследований с использованием рассмотренного ранее CO_2 -лазера с электромагнитным управлением выходной мощностью излучения. Исследования проводились на тканях свиньи (кожа, почка и др.) как наиболее близких по свойствам к человеческим.

Результаты исследования глубины вскрытия h от длительности импульсов t представлены на рис. 2. При короткой длительности импульсов излучения лазера теплота не успева-

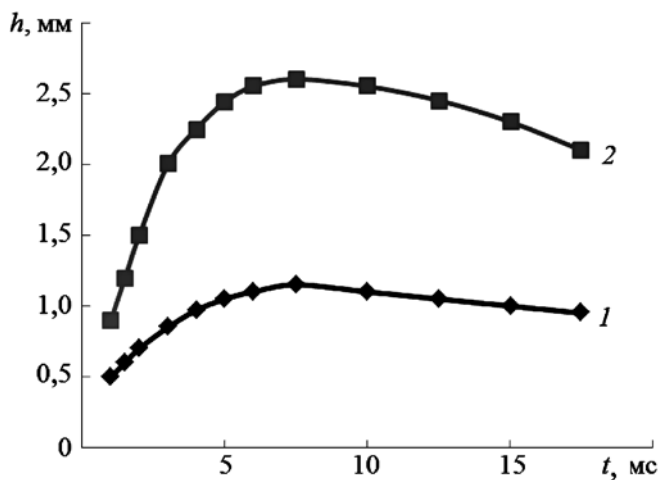


Рис. 2. Зависимость глубины вскрытия от длительности импульса: 1 – кость; 2 – почка

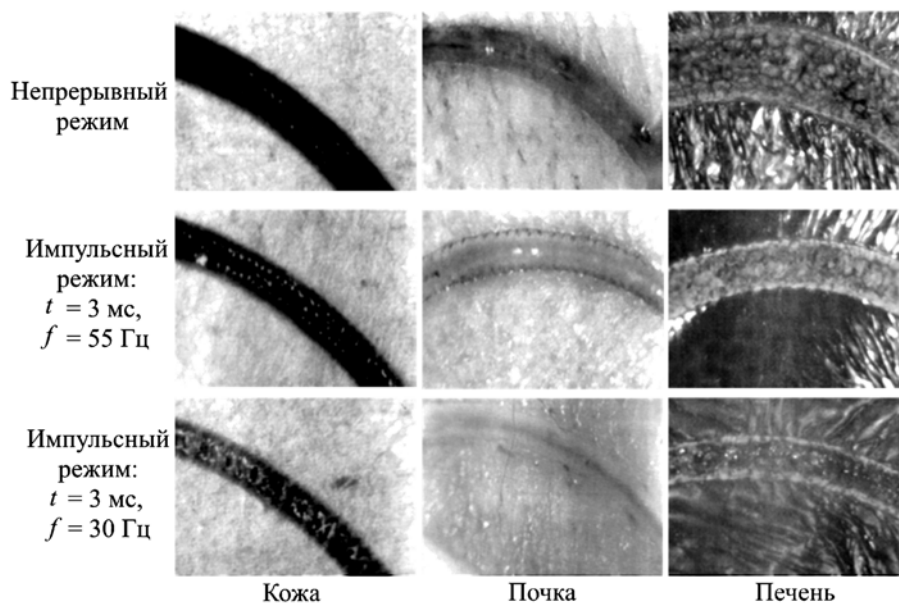


Рис. 3. Вид разреза, выполненного лазерным лучом в разных режимах работы

распространиться по объекту исследования и глубина вскрытия увеличивается с ростом длительности. Затем рост глубины вскрытия замедляется, так как тепло больше распространяется по объекту и изменяет его свойства. Соответственно, есть оптимальное значение длительности импульса, при котором происходит эффективное вскрытие, равное 5...10 мс для разных биологических тканей. Также исследования показали, что с увеличением длительности импульсов растут эффективность лазерной деструкции и уровень травматичности.

Режим работы лазера оказывает сильное влияние на ширину разреза: с ростом частоты следования и длительности импульсов излучения лазера увеличиваются ширина разреза и зона травматичности. Наименьшая зона травматичности наблюдалась при частоте следования импульсов в единицы герц.

Были проведены исследования качества разреза биологических тканей лазерным лучом при относительной скорости движения 3 см/с в непрерывном режиме работы лазера и импульсном режиме с длительностью 5 мс и частотой следования импульсов 30 и 55 Гц (рис. 3).

Из рис. 3 видно, что непрерывный режим работы лазера дает большую глубину и ширину разреза и высокий уровень травматичности. При импульсном режиме работы с частотой следования импульсов 55 Гц наблюдалась меньшая глубина разреза, но уровень травматичности был по-прежнему высоким. Чистый и хороший по качеству разрез был получен при частоте следования импульсов 30 Гц.

Заключение

Таким образом, для обеспечения низкого уровня травматичности здоровых тканей в лазерной хирургии предпочтительно использовать устройства на основе CO₂-лазера, работающие в импульсном режиме, при длительности импульсов несколько миллисекунд и частоте следования импульсов в неподвижном режиме до 10 Гц. При движении лазера частота следования импульсов может быть увеличена до нескольких десятков герц.

Список литературы:

1. *Беликов А.В., Храмов В.Ю.* Перспективы развития инновационных направлений исследований в области лазерных систем и биомедицинских оптических технологий // Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. 2010. № 5. С. 110-114.
2. *Щербаков И.А.* Лазерная физика в медицине // Успехи физических наук. 2010. Т. 180. № 6. С. 661-665.
3. *Шахно Е.А.* Физические основы применения лазеров в медицине. – СПб.: НИУ ИТМО, 2012. 129 с.
4. *Елохин В.А., Жданов И.Г.* Методы модуляции излучения CO₂-лазеров // Научное приборостроение. 2003. Т. 13. № 3. С. 46-51.
5. *Марцынюков С.А.* Исследование влияния электромагнитного управления на условия существования разряда в лазере на углекислом газе // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2013. № 4. С. 13-17.
6. *Шаймарданов Р.* Лазер CO₂: гибкое, надежное и испытанное средство // Фотоника. 2011. Т. 28. № 4. С. 8-12.
7. *Марцынюков С.А., Кострин Д.К.* Моделирование, разработка и исследование электромагнитной системы для управления мощностью лазера на углекислом газе // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. 2014. № 1. С. 50-54.

Сергей Александрович Марцынюков,
канд. техн. наук, доцент,
Дмитрий Константинович Кострин,
канд. техн. наук, доцент,
Виктор Владимирович Черниговский,
канд. техн. наук, доцент,
Александр Аркадьевич Лисенков,
д-р техн. наук, профессор,
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский
государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»,
г. С.-Петербург,
e-mail: lisran@yandex.ru

С.В. Белов, Ю.К. Данилейко, В.В. Осико, А.Б. Егоров, В.А. Салюк

Устройство для активации пролиферации клеток тканей организма методом дозированного радиочастотного воздействия

Аннотация

В статье приведены результаты исследований активации восстановительных процессов в биологических тканях под действием импульсно-модулированного тока радиочастотного (РЧ) диапазона. Показано, что слабое деструктивное воздействие активирует процесс пролиферации здоровых клеток. Описан экспериментальный образец устройства для дозированного энергетического воздействия импульсно-модулированным током РЧ-диапазона с помощью электродов игольчатого типа. Приведены результаты экспериментальных исследований на животных и рандомизированных клинических исследований на больных с помощью специализированного устройства для дозированного воздействия импульсно-модулированным РЧ-током. Показана клиническая эффективность применения дозированной РЧ-стимуляции при лечении гнойных, воспалительных и гнойно-воспалительных процессов.

Введение

В медицинской практике распространены методы и технологии, основанные на дозированном воздействии электромагнитных полей, ультразвука, лазерного излучения и других форм энергетического воздействия на организм человека с лечебной целью. Основным результатом воздействия радиочастотного тока на биологические ткани является выделение тепловой энергии. Диссипация этой энергии приводит к нарушению термодинамического равновесия внутри клеток и вызывает в цитозоле клетки высвобождение ионов кальция по-

вышенной концентрации, которые и запускают кальцийзависимые процессы. В зависимости от дозы воздействия кальцийзависимые процессы могут приводить к развитию вторичных эффектов, представляющих собой комплекс адаптационных и компенсаторных реакций, возникающих в тканях и органах. Среди этих реакций особо выделяются активация метаболизма клеток, повышение их функциональной активности, стимуляция репаративных процессов. Реакции становятся более интенсивными, когда радиочастотная стимуляция пролиферативных и метаболических процессов в ткани дополняется активацией Т-лимфоцитов местной иммунной системы [1]-[5]. Несмотря на