

УДК 616.71

## ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РЕЗКИ БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ СО<sub>2</sub>-ЛАЗЕРОМ ДЛЯ ОНКОХИРУРГИИ (НА ПРИМЕРЕ ЛИПОСАРКОМЫ)

К. А. Филатов<sup>(1)</sup>, М. А. Мельникова<sup>(2)</sup>

Студент 5 курса<sup>(1)</sup>, кандидат технических наук, доцент<sup>(2)</sup>,  
кафедра «Лазерные технологии в машиностроении» (МТ-12)\*

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: М.А. Мельникова,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Лазерные технологии в  
машиностроении»

Современная онкохирургия предъявляет высокие требования к инструментам для резки мягких тканей: необходимы высокая точность, гемостаз, асептичность и абластичность [1]. Традиционные скальпель и электронож имеют недостатки, связанные с риском диссеминации опухолевых клеток и значительной кровоточивостью. Лазерные технологии, в частности СО<sub>2</sub>-лазеры ( $\lambda=10,6$  мкм), излучение которых интенсивно поглощается внутриклеточной водой, предлагают уникальное сочетание режущего и коагулирующего действия. Однако их применение сопряжено с образованием зоны термического повреждения (ЗТП), что требует точного расчета параметров воздействия. Данная работа посвящена решению этой проблемы применительно к удалению липосаркомы — злокачественной опухоли жировой ткани. В качестве биологической модели использовалась свиная кожа, обладающая наибольшим гистологическим и оптическим сходством с кожей человека (III-IV фототип по Фицпатрику). Теоретический анализ показал, что при длительности облучения, превышающей время термодиффузии ( $t=400$  мкс), процесс абляции определяется пороговой плотностью энергии  $\Phi_{th}$ . На основе физико-математической модели, учитывающей закон Бугера-Ламберта-Бера для поглощающей среды, была выведена формула для расчета глубины абляции  $H$  за один проход и необходимой мощности  $P$ :

$$H = \frac{4 \cdot P \cdot x_{opt}}{\pi \cdot d \cdot V \cdot \Phi_{th}} \quad 1)$$

где  $x_{opt}$  — глубина проникновения излучения,  $d$  — диаметр пучка,  $V$  — скорость реза.

Расчеты, выполненные в среде MathCad, показали, что для сквозного разрезания кожи средней толщины (~2,7 мм) при максимальной мощности доступной установки (40 Вт) требуется многопроходная обработка. Для верификации модели была проведена серия экспериментов на СО<sub>2</sub>-лазере Stepdir 5030 с варьированием мощности (5–40 Вт) и скорости реза (1–50 см/с). Качество резов оценивалось методом оптической микроскопии.

Экспериментально подтверждено, что однопроводные режимы приводят к чрезмерной карбонизации краев раны из-за длительного теплового воздействия и непригодны для клинического применения. Напротив, многопроходный режим с максимальной мощностью (40 Вт) и высокой скоростью сканирования (50 см/с) обеспечивает формирование чистого реза с тонким коагуляционным слоем (достаточным для гемостаза) и минимальной ЗТП. Увеличение количества проходов при снижении мощности приводило к плавлению подкожного жира и расширению ЗТП.

Анализ воздействия защитного газа показал, что использование сжатого воздуха, подаваемого под острым углом (30–45°), является оптимальным компромиссом для охлаждения зоны реза, удаления продуктов абляции и предотвращения возгорания. На

основе проведенного исследования разработаны практические рекомендации и предложена концепция специализированной хирургической установки с гальванометрическим сканером для повышения точности и скорости управления лучом.

Таким образом, определен оптимальный режим лазерной резки биологических тканей ( $P=40$  Вт,  $V=50$  см/с, многопроходная обработка), обеспечивающий сочетание абластичности, гемостаза и минимальной травматизации. Полученные результаты имеют прямое практическое значение для совершенствования методов лечения злокачественных новообразований мягких тканей.

### **Литература**

1. *Беликов А.В., Скрипник А.В.* Лазерные биомедицинские технологии. Ч. 1. — СПб.: СПбГУ ИТМО, 2008. — 116 с.
2. *Серебряков В.А.* Лазерные технологии в медицине. — СПб.: СПбГУ ИТМО, 2009. — 266 с.
3. *Шахно Е.А.* Физические основы применения лазеров в медицине. — СПб.: НИУ ИТМО, 2012. — 129 с.