

07;12  
©1994**НЕТРАВМАТИЧНЫЙ ЛАЗЕРНЫЙ СКАЛЬПЕЛЬ***Г.Б.Альтшулер, А.В.Ерофеев, И.К.Ильясов, К.В.Приходько***Введение**

Лазерный скальпель стал уже привычным инструментом в руках хирурга. Однако в большинстве случаев мы далеки от уверенности, что лазерное излучение используется оптимальным образом.

Оптимальной можно считать ситуацию, когда при необходимой скорости удаления или рассечения тканей достигается минимальное травматическое действие лазерного излучения. Мы ввели два простых критерия для оценки оптимальности лазерной деструкции тканей.

Первый критерий — эффективность лазерной деструкции:

$$K = V_1/E$$

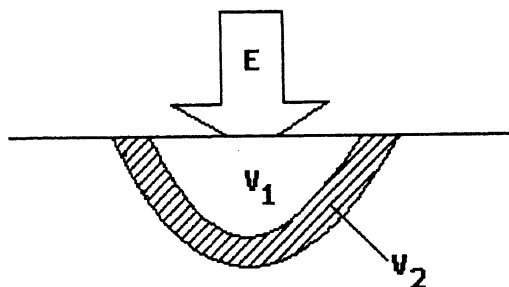
(отношение объема зоны удаленной ткани к затраченной на это энергии лазерного излучения).

Второй критерий — качество лазерной раны:

$$H = V_2/V_1$$

(отношение объема зоны некроза к объему зоны удаленной ткани, см. рис. 1).

Необходимо отметить, что эти критерии характеризуют эффективность и качество лазерного скальпеля лишь в первом приближении. В дополнение к ним могут появиться другие условия, например, качество коагуляции тканей.



**Рис. 1.** Схематическое изображение лазерной раны.

$V_1$  — удаленный объем,  $V_2$  — зона некроза.

Параметры  $K$  и  $H$  зависят от очень многих факторов, таких, как пространственная, временная, спектральная, энергетическая структура лазерного излучения.

Итак, задача оптимизации сводится к поиску областей оптимальных значений  $K$  и  $H$  в этом многомерном пространстве параметров лазерного излучения. Конечно, мы можем заранее сказать, в каких областях этот оптимум может быть, например, выбрав длину волны лазера из условия достаточного уровня поглощения. Но и после этого требуется тщательное исследование для того, чтобы установить, например, оптимальную временную структуру и характер пространственного распределения лазерного излучения, при которых  $K$  принимает заданные значения, а  $H$  не превышает допустимых пределов.

### Влияние временной и пространственной структуры излучения на характеристики лазерной деструкции

В настоящей работе мы исследуем влияние временной структуры лазерного излучения с длиной волны  $\lambda = 1.06$  мкм на величины параметров  $K$  и  $H$ . Мы докажем, что переход от обычно используемого в лазерных скальпелях на YAG:Nd<sup>3+</sup> лазере непрерывного режима в частотно-импульсный позволяет существенно улучшить качество лазерной раны.

Пространственная структура лазерного излучения будет определяться способом доставки его к биообъекту. Мы рассмотрим два способа: неконтактный (с применением фокусирующей оптики) и контактный (непосредственный контакт волоконного наконечника с биотканью).

Временные структуры лазерного излучения, которые можно использовать в лазерной деструкции, можно классифицировать как:

- а) непрерывный режим,
- б) квазинепрерывный режим,  $\nu > 10$  кГц,
- в) частотно-импульсный,  $\nu < 1$  кГц,
- г) повторяющиеся пачки импульсов.

Квазинепрерывный и непрерывный режимы должны давать близкие результаты, так как в обоих случаях деструкция связана с квазистационарным нагревом. При использовании частотно-импульсного режима или повторяющихся пачек импульсов вступают в действие механизмы импульсного разогрева, которые из-за действия ряда факторов могут существенно снизить зону некроза. Мы исследовали разрушение модельных биотканей, таких, как клубни картофеля, искусственная мускульная ткань. В эксперименте, кроме временной структуры и мощности лазера, мы могли

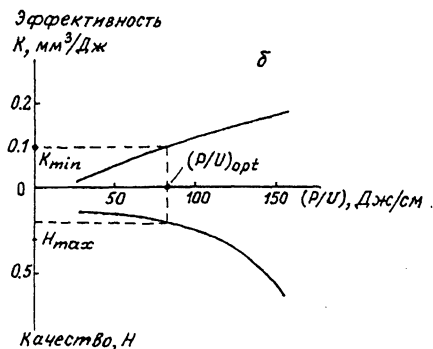
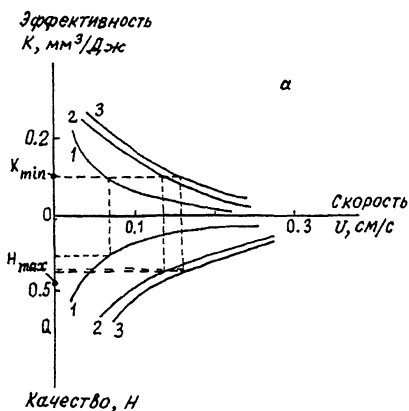


Рис. 2. Зависимость качества лазерной раны и эффективности лазерной деструкции (при нагрузке 20 мг).

*а* — от скорости  $U$  в различных режимах работы лазера; 1 — импульсно-периодический, 2 — модуляция добротности, 3 — непрерывный. *б* — от отношения вложенной энергии  $P$  к скорости перемещения наконечника  $U$ .

изменять скорость перемещения наконечника по отношению к биоткани и давление наконечника на биоткань, то есть основные параметры.

Как видно из графиков, показанных на рис. 2, *а*, эффективность лазера в непрерывном и квазинепрерывном режиме во всем диапазоне давлений и скоростей оказывается выше, чем в частотно-импульсном режиме. Для качества лазерной раны мы имеем обратное соотношение. Однако, если мы зададимся определенной эффективностью удаления ткани ( $0.1 \text{ мм}^3/\text{Дж}$ ), которая обеспечивает время иссечения такое же, как с обычным скальпелем, мы видим, что в этих условиях травматичность в частотно-импульсном режиме оказывается существенно ниже. Эта устойчивая зако-

номерность наблюдается для всех исследованных тканей и режимов деструкции.

Если мы установили оптимальную временную структуру, то важно оптимизировать и другие параметры, такие, как мощность и пространственную характеристику излучения.

Были проведены эксперименты, определяющие зависимость эффективности лазерной деструкции и качества лазерной раны в частотно-импульсном режиме при контактном и неконтактном воздействии. Преимущество контактного режима при деструкции биоткани здесь достаточно очевидно. Анализ экспериментальных данных показывает, что при контактном воздействии основной фактор деструкции связан с тепловым действием наконечника.

После того, как мы определили оптимальную временную и пространственную характеристику излучения, остается найти оптимальные энергетические характеристики. Ясно, что оптимальная мощность лазерного излучения должна быть связана со скоростью перемещения наконечника. На рис. 2, б показаны характерные зависимости эффективности деструкции и качества лазерной раны от отношения мощности излучения к скорости перемещения наконечника. Мы видим, что здесь отсутствуют экстремальные зависимости, по которым можно было бы найти абсолютный оптимум. Поэтому выбор мощности может происходить из условия максимально допустимой травматичности. Выбрав минимальную эффективность деструкции, мы можем определить качество лазерной раны при данной мощности и, если она укладывается в предельные нормы, поднять мощность до оптимального значения.

## Заключение

1. При выборе параметров хирургического лазера необходима тщательная оптимизация спектральных, временных, энергетических и пространственных характеристик излучения.

2. Первичными критериями оптимизации могут служить введенные в настоящей работе параметры: эффективность лазерной деструкции и качество лазерной раны.

3. Неодимовый лазер с длиной волны  $\lambda = 1.06$  мкм обеспечивает минимальную травматичность в частотно-импульсном режиме. И хотя в этом режиме его эффективность ниже, чем в непрерывном, использование частотно-импульсного режима оказывается предпочтительным.

4. В частотно-импульсном режиме контактная деструкция биоткани по сравнению с дистанционной обеспечивает большую эффективность и лучшее качество.

Институт точной  
механики и оптики  
Санкт-Петербург

Поступило в Редакцию  
7 января 1994 г.

---