

О ДОПУСТИМЫХ РЕЖИМАХ ЛАЗЕРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ
В МЕДИЦИНСКИХ ПРИЛОЖЕНИЯХ

Ю. В. Афанасьев, В. А. Исаков

УДК 621.378.33:535.21

Показано, что в операциях, связанных с удалением поврежденных участков биологической ткани, используемые лазерные потоки должны быть достаточно велики с тем, чтобы в действие вступили газодинамические процессы. В этом случае опасность теплового поражения неповрежденной ткани существенно снижается.

Для весьма широкого круга медицинских задач лазер представляет интерес как источник тепловой энергии, выделяющейся при поглощении лазерного излучения в биологической ткани. То, что источником тепла является электромагнитное излучение видимого или ИК диапазона, позволяет в широких пределах управлять тепловым потоком. Например, фокусируя излучение на малые участки объекта и добиваясь тем самым высокой концентрации в них тепловой энергии, можно осуществлять такие энергоемкие процессы, как плавление или испарение вещества.

При этом очень важным и острым становится вопрос о безопасности для живого объекта возникающих тепловых режимов. Действительно, с одной стороны, необходимо нагреть обрабатываемый участок до высокой температуры, превышающий порог процесса, а с другой стороны, не допустить даже весьма незначительного (обычно, не более 5°) повышения температуры в толще биологич-

Таблица I.

q_0 , Вт/см ²	$5 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^6$	$5 \cdot 10^7$	$5 \cdot 10^8$
ρ_1 , г/см ³	$3,9 \cdot 10^{-4}$	$3,7 \cdot 10^{-3}$	$3,4 \cdot 10^{-2}$	$3,1 \cdot 10^{-1}$
p_1 , бар	2,05	22,1	235	2530
\bar{D} , см/с	16,8	165	$1,6 \cdot 10^3$	$1,6 \cdot 10^4$

При $q_0 > 5 \cdot 10^8$ Вт/см² плотность паров такова, что становится необходимым учитывать поглощение в них лазерного излучения. Реализуемые при этом режимы испарения характеризуются существенно более резкой, чем в (I) зависимостью от q_0 давления на границе раздела фаз /2/. В связи с этим использование излучения с $q_0 > 5 \cdot 10^8$ Вт/см² должно, по-видимому, приводить к образованию заметных дефектов в структуре неиспаренной части зуба.

Факт формирования на границе раздела фаз импульса давления представляет самостоятельный интерес. На наш взгляд, представляется целесообразным исследовать возможность применения этого явления, например, для закрепления на поверхности зуба защитных покрытий, а возможно, и как способ внедрения в толщу биологической ткани лекарственных препаратов.

До сих пор речь шла лишь о допустимых потоках излучения, верхняя граница которых определяется предельными напряжениями в неиспаренной ткани. Предельную энергию лазерного импульса, которая определяет максимальное значение массы испаренного вещества эмали, для потоков $q_0 > 10^6$ Вт/см² можно оценить, учитывая тот факт, что практически вся передаваемая конденсированной фазе энергии идет на создание напряженного состояния. Действительно, тепловой поток внутрь твердого тела в этом случае крайне мал, область прогрева за счет теплопроводности $l_T \sim a/D$ не превышает ~ 1 мм.

Учитывая, что неиспаренной части ткани передается малая доля поглощенной энергии лазерного импульса, нетрудно показать, что напряженное состояние характеризуется энергией

$$E = E_0 \frac{P_0}{\rho_0 c_0^2} \approx E_0 \frac{1 + \alpha}{\alpha} \frac{P_1}{P_0}, \quad (3)$$

где $c_0 \approx (\alpha p_1 / \rho_1)^{1/2}$ - скорость звука на границе раздела фаз.

Единственный известный нам энергетический критерий безопасного воздействия на зуб - требование малого ($\sim 5^\circ$) повышения температуры в пульпе. Используя этот критерий и считая, что вся энергия напряженного состояния в конечном итоге реализуется в равномерном нагреве зуба (характерный размер зуба $\sim 0,5$ см, средняя удельная теплоемкость $\sim 1,25$ Дж/г·град /1/), получаем $E \leq 10$ Дж/см². Отсюда следует, что при использовании лазерного излучения мощностью $10^6 - 10^8$ Вт/см² допустимые значения плотности энергии в лазерном импульсе могут достигать $E_0 = 10^2 - 10^4$ Дж/см².

Авторы благодарят Э. М. Беленюва, В. Т. Глыбу, Е. Л. Кошелева, Г. К. Лебедеву, Е. П. Маркина за обсуждение настоящей работы.

Поступила в редакцию
23 апреля 1982 г.

Л и т е р а т у р а

1. Е. В. Боровский и др., *Стоматология* № 6, 982 (1982).
2. Ю. В. Афанасьев, О. Н. Крохин, *Труды ФИАН*, 52, 118 (1970).
3. Yu. M. Pantsyrev, O. N. Krokhin, In: *Lasers in Medicine*, John Wiley and Sons Publishers, N.Y.-L., 1980, v. 1, p. 257.