Er:YAGとCO₂レーザーの生体切開特性の比較

渡代峰雄、厚見昌宏、望月孝^{*}、久保宇市

近畿大学理工学部電気工学科

^{*} HOYA(株)オプトロニクス事業センター

Incision of Biotissue by Er:YAG and CO₂ Lasers

Mineo WATASHIRO, Masahiro ATSUMI, Takayasu MOCHIZUKI^{*}, Uichi KUBO

Department of Electrical Engineering, Faculty of Science and Technology,
Kinki University

^{*}Optronics Business Center, HOYA Co.LTD.

ABSTRACT

Incision of biotissue by Er:YAG laser (2.94 μ m) and TEA-CO₂ laser (10.6 μ m) has been investigated. Incision ability of Er:YAG laser for biotissue (beef, bone) was experimentally confirmed to be superior to TEA-CO₂ laser. For moisture biotissue incision by Er:YAG laser is efficient. Er:YAG laser is more strongly absorbed by water (in biotissue) than CO₂ laser, so Er:YAG laser is supposed to have high incision ability.

1. はじめに

レーザーを医療に応用する場合、レーザー光を生体組織に効率良く作用させるには、対象とする生体組織に対して吸収率の高いレーザーを使用する必要がある。

生体組織の主たる成分は水である。含水率は各種器官によって異なるが、筋肉では重量比で約76%、骨では約22%である。¹⁾ 使用する状況により異なるが、水に対して吸収率の高いレーザーを使用するのが効果的である。

可視域から赤外域における水による光吸収波長特性を図1に示す。²⁾ 図1に示すごとく水による光吸収のピークは波長約3 μ mの付近に見られる。最近実用化されたEr:YAGレーザーはこの光吸収のピーク付近の2.94 μ mの発振波長を持ち、レーザーメスとしての応用が期待される。

その他、Er:YAGレーザーは次の様な点に特徴がある。

- (a) フッ化物系のファイバーが使用可能である。
- (b) 発癌などの悪影響の心配がない。
- (c) レーザー装置がコンパクトである。

今回は、Er:YAGレーザーの各試料に対する穿孔特性を実験により調べ、CO₂レーザーと比較しレーザーメスとしての能力を検討した。

2. 実験装置および方法

Er:YAGレーザーはYAGのクリスタルロッドに希土類元素のErubiumをドープしたものをレーザー媒質として用いる固体レーザーである。実験に使用したEr:YAGレーザーは発振波長2.94 μ m、繰返しは最大10pps、パルス幅は240 μ s、最大平均出力は10W、最大ピークパワーは4.2kWのパルスレーザーである。比較のために使用したTEA-CO₂レーザーは発振波長10.6 μ m、繰返しは最大10pps、パルス幅は80ns、最大平均出力は18W、最大ピークパワーは22MWのパルスCO₂レーザーである。これらのレーザー装置の性能を表1に示す。

試料には水分を多量に含んだ模擬生体組織として牛肉の赤身を使用し、水分量のコントロール可能な模擬生体組織としてゼラチンを使用した。また水分量の少ない模擬生体組織として牛肋骨を使用した。

実験方法は、Er:YAGレーザーおよびTEA-CO₂レーザー光をレンズにより点集光し試料に照射して穿孔深さを測定し切開能力を評価した。

Attenuation length, Attenuation coefficient vs Wavelength in WATER

図 1. 水による光吸収波長特性

表 1. レーザー装置の性能

LASER	Er:YAG	TEA-CO ₂
Wavelength	2.94μm	10.6μm
Pulse duration	240μsec	80nsec
Max peak power	4.2kW	22MW
Max average power	10W	18W
Repetition rate	~ 10pps	~ 10pps
Beam size	6mmφ	20x15mm

3. 牛肉赤身に対する穿孔特性

牛肉赤身に対する切開能力、切開面の様子を調べた。1パルス当りのレーザー照射強度 56 J/cm²、照射スポットサイズ 0.5 mmφ、繰返し 10 pps、約 2 mm/sec でレーザー光を走査しながら牛肉赤身を切開したときの切断面の写真を図 2 に示した。図 2 に示す如く CO₂ レーザ

ーの場合は切開深さがわずか 2 mm であるのに対して、Er:YAG レーザーの切開深さは約 10 mm で CO₂ レーザーの場合よりも深く鋭利に切開されている。

次に、レーザー光を牛肉赤身に点状に集光照射したときの穿孔深さの照射強度依存性を調べた。繰返し 5 pps、照射スポットサイズ 0.5 mmφ で 1 秒間 (5 pulses) 照射したときの穿孔深さを測定し、その結果を図 3 に示した。測定結果にばらつきが多く見られるのは牛肉赤身の

組織自体に繊維層や脂肪層などが不均一に存在しているためと思われる。図3に示すごとく、Er:YAGレーザーの方がCO₂レーザーの場合よりも深く穿孔されておりEr:YAGレーザーと同程度穿孔しようとするCO₂レーザーの場合は約5倍のエネルギーが必要となる。Er:YAGレーザーの方がCO₂レーザーよりも牛肉赤身に対する切開能力は優れていることがわかった。

(a) Er:YAG

(b) TEA-CO₂

図2. 牛肉赤身の切断面

図3. 牛肉赤身穿孔特性

4. 水分量の異なる組織に対する穿孔特性

Er:YAGレーザーについて組織の水分量の違いによる切開効果の違いを調べるために、ゼラチンの水分量に対する穿孔深さの依存性を調べた。照射スポットサイズ0.5mmφ、1パルス当りのレーザー照射強度を10, 30, 60 J/cm² で一定にして1パルスだけ照射したときの穿孔深さを測定した。ゼラチンの含水率を横軸に穿孔深さを縦軸にとって実験結果を図4に示した。図4を見ると、水分量が多くなるに従って1パルス当りの穿孔深さも深くなっており、水分量が約75%の付近から穿孔深さが飽和する傾向にあることがわかった。また、レーザー照射強度が大きいほどゼラチンの含水率に対する穿孔深さの変化率が大きいことがわかった。

水分量の多い生体組織ほどEr:YAGレーザーによってより効率良く切開され、照射強度が大きいほどその効果は顕著である。

図4. ゼラチン穿孔特性

5. 牛肋骨に対する穿孔特性

水分量の少ない生体組織、骨に対するEr:YAGレーザーの切開・穿孔能力を調べた。レーザー照射強度10 J/cm²、照射スポットサイズ1.0mmφ、繰返し10 pps、約0.5 mm/secでレーザー光を走査しながら牛肋骨を切開したときの切開溝の断面の顕微鏡写真を図5に示した。図5(b)は切断面を斜め上方より撮影した写真で、写真下部は牛肋骨の断面で写真上部は牛肋骨の表面である。図5に示すごとく、CO₂レーザーの場合は、レーザー照射部の牛肋骨表面は炭化し浅い溝状に掘れており、切開深さは約0.05mmであるのに対して、Er:YAGレーザーでは約1mmの深さまで鋭利に切開されている。

次に、レーザー光を牛肋骨に点状に集光照射したときの穿孔深さの照射強度依存性を調べた。繰返し5 pps、

照射スポットサイズ 0.5mm ϕ 、1秒間(5 pulses) 照射したときの穿孔深さを測定し、その結果を図6に示した。

骨に対してもEr:YAGレーザーの方がCO₂レーザーよりも切開能力が大きい。水分の少ない骨組織に対しても牛肉赤身の場合同様大きな切開能力の差が観られるため、切開機構の解明にあたっては組織のレーザー光吸収特性も考慮しなければならない。また表1に示すように比較のために用いたTEA-CO₂レーザーとはパルス幅が大きく異なっている。従って、パルス幅が切開性に及ぼす効果も含めて考える必要もある。

(a) Er:YAG

(b) TEA-CO₂

図5. 牛肋骨切断面

図6. 牛肋骨穿孔特性

6. まとめ

Er:YAGレーザーの模擬生体組織に対する穿孔・切開特性を調べ、以下のことがわかった。

- (1) Er:YAGレーザーの生体組織(軟組織および硬組織)に対する穿孔・切開能力はCO₂レーザーよりも優れている。
- (2) Er:YAGレーザーをレーザーメスとして用いる場合は、水分量の多い組織ほどより効果的に穿孔・切開される。

今後実用化の為に以下の点について調べる必要がある。

- (1) 止血能力
- (2) 切開機構
- (3) 伝送系の確立

参考文献

- 1) 久保宇市: 医用レーザー入門, (オーム社, 1985) p. 69
- 2) G. J. Jako, T. G. Polanyi: Laser Surgery (Proc. 1st Inter. Sympo.), Jerusalem (Academic Press, 1976) p. 150