レーザーメスによる血管剝離に関する基礎的研究

Basic study on vascular dissection with CO2 laser scalpel

○池田 正 榎本 耕治 朝戸 裕
石川 広記 竹下 利夫 阿部 令彦

T. IKEDA, K. ENOMOTO, H. ASADO, H. ISHIKAWA,
T. TAKESHITA, O. ABE

慶応大学 外科

Department of Surgery
Keio University

The advantages of using the laser surgery are in the sharp dissection, prevention from scattering of cancer cells, and so forth. To adopt laser scalpel to vascular surgery and to dissection of the lymph nodes, we have used it in the experimental condition in dog surgery researching for:

1. The influence of the laser scalpel on the vascular flow.
2. The suitable power of it for vascular dissection.
3. Histological change of vascular wall after irradiation.

The conclusions are as follows:

1. Laser scalpel is available on vascular dissection without influence on vascular flow.
2. Suitable condition for vascular dissection was in 10 W 0.07 sec. with pulse wave in power.
3. Histological study revealed that sharp dissection of laser scalpel seems to be favorable to the wound healing.

目 的 レーザーメスの特徴たる sharp dissection 無菌手術、癌細胞予防等の点で、レーザーメスに対する外科医の期待は大きい。しかし臨床の立場で実際に使用した経験ではその評価はまちまちである。特に腹腔内臓器の手術に使用した場合の隣接臓器及び血管の副損傷

が最も重大な問題である。そこで我々は癌の手術の基本的手技であるリンパ節廊清に伴う血管剝離という目的にレーザーメスを使用した際の血流に対する影響及びレーザー出力と血管壁の損傷の程度及び質的变化という問題を追求した。
装 置 使用したレーザーメスは、持田製

薬のメディレーザー S , モデル MEL-442 で、レーザー出力は 0 ~ 60 w 連続可変、continuous wave と pulse wave とに切替え可能で pulse wave の場合のタイマー動作は 0.02 ~ 9.99 秒の間で 0.01 秒ステップで可変である。レンズ焦点距離は 75 mm で焦点径は 0.15 mm である。また血流の測定に用いたのは日本光電の電磁血流量計 Model MF-27 で Probe は 2mm 及び 3 mm の Cuff 型を用いた。

方 法 実験には雑種成犬を用い、ネンブタールによる全身麻酔下に仰臥位とし、以下の諸項目につき検討した。

1) 開腹操作 レーザーメスを用いて腹部正中切開にて開腹し ①開腹に至適なレーザー出力 ②開腹操作と腹腔臓器の損傷 ③マニピュレーターの使用上の問題点。につき検討した。

2) 血管剝離操作 ①腸間膜動静脈 ②脾動脈、脾静脈 ③腎動脈、腎静脈 ④総腸骨動脈の各血管を用いてレーザーメスによる血管剝離の可否及びマニピュレーター使用上の問題点を検討した。

3) レーザー照射による血流量の変化 2) で露出した血管の各々につき、その径に適した電磁血流量計の Probe をとりつけ、剝離前・中・後の血流量を測定した。(写真1)

写真1 血管剝離及び血流測定操作

4) 血管壁に対する直接効果 総腸骨動脈

を剪刀にて露出した後、外径を測定し、5W・0.02秒、Focus 20W・0.02秒 Focus 及び Defocus 10W・0.1秒 Focus 20W・0.1秒 Focus、40W・0.3秒 Focus の各条件にてレーザービームを血管壁に対し直角に照射し、穿通の有無をみた。また腹部大動脈に対しても同様に、10W・0.04秒、0.05秒、0.06秒、0.07秒 Focus 15W・0.06秒、0.07秒 Focus 20W・0.02秒 Focus Defocus 20W・0.15秒 Focus の各条件下にてレーザーを照射し、穿通の有無をみた。次に上記実験に用いた血管を実体顕微鏡下に観察しながら切り出しを行ない、ホルマリン固定後パラフィン包埋して切片を作成し、Hematoxylin Eosin 染色及び Elastica-Van-Gieson 染色を施し光学顕微鏡下に観察した。

結 果

1) 開腹操作 (i) Continuous Wave を用い 40W より 60W 迄徐々に出力を上げた結果、40W では出血が多く、又切離に時間がかかった。60W では出血が少なく、切離に要する時間も短い。(ii) 開腹操作に伴う腹腔臓器の損傷は、成犬の場合、腹部正中切開を用いると、直下に表われるのは大網と腸管、胃であり、今回の実験では上腹部にて切開し、その後は濡れガーゼにて副損傷を予防した為、大網の血管よりの出血が見られたのみであった。

(iii) マニピュレータの使用上の問題点は、開腹操作のような比較的単純な粗大操作にも拘らず、斜方向への操作には力を要し、両手で支えねばならなかった事である。

2) 血管剝離 腸間膜動脈のように浅い所にあり走行も一定のものでは剝離は容易であり、かつ sharp にできる。但し静脈は損傷し易い。脾動静脈のように比較的浅いが走行がやや不規則で、又脾門部にて分枝している血管の剝離も Pulse wave で行なえば可能であるが、マニピュレーターの操作性にやや問題が残る。腎動静脈、総腸骨動脈のように比較的深い血管では、焦点距離 75 mm ではやや足りず、煙が腹腔内にたまり排煙装置が必要となる。しかし血管剝離は可能である。

3) レーザー照射による血流の変化 静脈
 の血流はCuff型Probeでは検知できなかった
 従って動脈の血流の変化のみを測定した。脾動
 脈、腎動脈、総腸骨動脈の外径は自然状態にお
 いて各々2mm、2.5mm、3mmであり、左右の腎
 動脈、総腸骨動脈間で差はなかった。脾動脈、
 総腸骨動脈においては出力30W、0.1秒の
 pulse waveにて剥離後血流を測定したが、剥
 離前の血流量と変わりなく、各々20ml/min
 73ml/minであった。左右の腎動脈において
 は出力40W・0.5秒 60W・0.3秒及び
 40W、continuous waveにて剥離したが、
 剥離前・中・後において血流量は変わらず、45
 ml/minであった。(写真2)

写真2 血流曲線(腎動脈)

4) 血管壁に対する直接効果 i) 穿通に
 要する出力について: 総腸骨動脈の外径は
 約3mmであり、内径は約2mmである。又腹部大
 動脈の外径は約6mmであり内径は約4mmであっ
 た。各々穿通に要する出力との関係は表1の如
 くである。 ii) 血管壁における組織学的変化:
 10W・0.07秒では血管壁はジョウ
 ゴ型に掘れており、その頸は外膜と中膜の境に
 一致する。H E染色にてはBeamの内側より3
 層に分けられ、最内層は組織が炭化した層でど
 の部位においても細胞2層程度の厚さである。
 第2層は強い変性を示す層であり、中膜側では
 細胞2層程度であるが外膜では急に範囲が広が
 っており、かつその間に無数の亀裂を認める。

A. iliaca communis (2.5mm)

Watt	Sec	Joule	Focus	Perforation
40	0.3	12	Focus	+
20	0.1	2	+	+
10	0.1	1	+	+
20	0.02	0.4	+	+
5	0.02	0.1	+	-
20	0.02	0.4	defocus	-

Aorta (2.5mm)

Watt	Sec	Joule	Focus	Perforation
20	0.15	3	Focus	+
15	0.07	1.05	+	+
15	0.06	0.9	+	-
10	0.07	0.7	+	-
10	0.06	0.6	+	-
20	0.02	0.4	+	+
20	0.02	0.4	defocus	-

(表1) 穿通に要する出力と時間との関係

表1

第3層は核融解を示す層で、第2層とは逆に外
 膜部では殆んど見られないのに対し中膜部では
 範囲が広がっている。Beamの先端はほぼ平
 滑、平皿状であるが、一部のみ内膜迄影響の及
 んでいる部分がある。Beamの穴には無溝造物
 質がつまっているが、最尖端には見られない。
 又、周囲の生体反応は殆んど認められない。
 (写真3)

写真3 10W 0.07秒 H・E染色(40x)

E-V-G 染色にては弾性線維は変性しながら
 もBeam辺縁迄明瞭に追える。又、変性の層
 は明らかに区別できないが、全体でみると中
 膜・外膜共ほぼ同じ厚さである。(写真4)

10W・0.04秒では外膜の一部に変性像が痕
 跡程度見られるのみである。10W・0.05秒

写真4 10W 0.07秒 E.V.G染色 (200×)

では外膜の一部に3層構造が認められるが Beam の形態はなさず、くぼみとして認められるのみである。また変性層は10W 0.06秒、0.07秒に比べ約2倍の広がりを見せ、広く浅く焼かれている。(写真5)

写真5 10W 0.05秒 H.E染色 (100×)

10W 0.06秒では外膜の一部に穴があき、周囲には熱変性融解による debris ができる。この巾は10W 0.07秒とはほぼ同じである。(写真6) 15W 0.04秒では僅かに外膜の一部にくぼみを形成するのみである。変性の範囲は10W 0.05秒よりも狭く、0.06秒以上と大体同じとなっている。10W 0.05秒では変性は中膜の部分でとどまり、巾は10W 0.07秒よりやや広い。

写真6 10W 0.06秒 E.V.G染色 (50×)

10W、0.07秒を代表例として深さと Beam 径及び、第2層迄の変性の範囲と Beam 径との比率を計測してみた。(図1.2)

図1. 深さと Beam 径 (2a)・変性層 (2b)

(図2) 深さと Beam 径 (上段) 及び変性層 (下段) の関係

Beam径はある一定の深さ迄達するとあとは一定となる。一番角度の急な所が外膜と中膜との境に一致する。一方第2層迄の変性帯の厚さもほぼBeam径と同じ型をとるが、一番傾斜の急な部位がややずれている。参考として第3層迄とった場合の推定曲線を点線にて示したが、Beam径に比べ深くなる程広がっている。

考 察 開腹操作のような単純な操作はレーザーメスにとっても行ないやすい操作の一つである。それはマニピュレーターを細かく操作する事なしにcontinuous waveで切開できるからである。しかしながら他の操作と同様、煙が多量に排出する為に吸引パイプが必要である。又、最初に開腹する部位はどこをとっても腹腔内臓器損傷はさけられず、メスで一部開腹し濡れガーゼを挿入した後レーザーメスにて切開すべきである。開腹時の出力は60Wが適当である。血管の剥離操作は、走行が一定の血管ならまだしも、複雑な走行を示す血管、殊に奥深く立体的な走行を示す血管等の剥離には微妙なマニピュレーター操作が必要となり、現在のマニピュレーターでは不便さを感じた。又重要な血管の場合には操作を誤って損傷する事を防ぐ為、慣れないうちはcontinuous waveとせずに

pulse waveで行う必要がある。pulse waveならば万一血管を損傷してし圧迫止血のみで十分止血しうる。 血流実験の結果からは、動脈に関する限り手術中に血管剥離をレーザーメスにて行っても血管壁縮等の副作用をおこさず、sharpに行える事がわかった。穿通実験では大体において出力と相関したが、出力が弱くても穿通する場合があった。このようなバラツキは動脈壁の厚さが一定でない等の生体側の条件と照射時間が短い為のタイマーの誤差・照射角度が完全に直角でなかった等機械側の原因が考えられるが、生体に応用する場合の予測の困難さを表現しているものといえる。照射部の病理組織学的検討では、レーザーメスのsharpさ、周囲組織への影響の少ないことが確認されたが、これは他の粘膜面における病理組織所見とおおよそ一致し、CO₂レーザーにおいては軟部組織間では反応に余り差がない事を

示す。即ち血管壁の特徴たる弾性線維、膠原線維等による差が余り出なかったといえる。しかしながら厳密にみると、三橋らの舌粘膜面での実験では照射部はクレーター型を示すのに対し、血管型ではジョウゴ型を示し、ある一定の深さ以上(中膜がbarrierとなつていてと考えられる。)では径が一定であった。また入口部では強い変性を示すが先進部でも軽度の変性の巾は変わらず、組織の熱伝導によるものと思われる。これらの違いは主に血管壁にはcollagen fiberの成分が多い為、通常の粘膜よりも組織内水分が少なく、又、血流分布も少ないが熱伝導は逆に高いといった特徴によるものであろう。これら組織学的にみると、レーザーメスはMesterらの言うように創傷治癒にも好影響をもたらす利点が推測される一方、実際の使用に当っては機械が大きい。マニピュレーターが使いにくい等の欠点も多い。又、最大の欠点は剥離面より奥に位置する臓器損傷の危険性であり、予め周囲に生食を注入する薬の工夫や、手元で微妙に出力をcontrolできるマニピュレーターの開発や高周波のpulse発振とメスの微動との連繋の工夫等があれば、かなり副損傷を防げるのではないかと考える。

結 語

- 1) 血管周囲にレーザーを照射しても血管壁の穿孔がない限り血流に対する影響は認めない。
- 2) 同じ出力でも血管側の条件により穿孔の程度が異なる。
- 3) 血管に対する作用も他の粘膜と同様 ジョウゴ型をした穴を周囲100 μ 程度の変性帯が主体である。
- 4) 実験結果からはCO₂レーザーは魅力ある機械であるが、臨床上の使用にはいま以上の工夫を要する。

参考文献

- 1) Kaplan, I. & Sharon, U.; Current Laser Surgery. Ann. N - Y. Acad. Sci. 267: 247-53. 1976
- 2) 三橋重信; 炭酸ガスレーザー照射による組

織変化. 日耳鼻, 79(11): 19-24.

1976

- 3) Mester. E. et al: Effect of laser rays on Wound healing. Am.J. Surg. 122:532-535, 1971