低出力炭酸ガスレーザーの医学的応用 —血管吻合法について—

A new method of vascular anastomosis by low power
CO₂ Laser

岡田昌義, 生田 博, 堀井弘幸, 清水一太, 中村和夫

Masayoshi Okada, Hiroshi Ikuta, Hiroyuki Horii,
Kazuta Shimizu, Kazuo Nakamura

神戸大学第2外科

Kobe University School of Medicine, Department of
Surgery, Division II

Recently, Laser has been widely used in the field of medicine and its favorable results have been obtained. Since fifteen years ago, we have performed surgical treatment for ischemic heart disease. There are a few cases among them who A-C bypass could not be performed because of diffuse and multiple stenosis of the coronary arteries. For the purpose to decrease mortality rate of severe those patients we have experimentally employed high power CO₂ Laser to make transventricular puncture for improving arterial blood perfusion in the ischemic area of the myocardium, which was produced by multiple ligation of the coronary arteries. Consequently, myocardial puncture could be made by CO₂ Laser and long term patency of it was observed microscopically which led to improve the ischemic myocardium. On the other hand, vascular anastomosis for the purpose of A-C bypass was experimentally done by application of low power CO₂ Laser. Eighteen dogs were utilized for this study. Both femoral artery and its vein were exposed under general anesthesia and mostly side to side anastomoses were made by CO₂ Laser (output 20-150 mW, irradiation time 15-240 sec). Subsequently, the following conclusions were obtained.

- 1) Vascular anastomosis could be satisfactorily done by CO₂ Laser.
- 2) 20-40 mW in output and 60-120 sec in irradiation time were optimal conditions for small vessel anastomosis.
- 3) Good healing at the site of anastomosis was observed in microscopic findings, as the time after surgery went on.
- 4) Vascular anastomosis by CO₂ Laser was useful method which could be indicated to clinical application in near future.

はじめに

近年、医学分野におけるレーザーの応用にはめざましいものがあり、追々とその成果がえられつつある。その応用されている領域は一般外科、耳鼻科、眼科、皮膚科などであるが、心臓・血管外科領域におけるレーザーの応用は世界的にみても極めてまれである。¹⁾ 著者らは従来から虚血性心疾患患者に対する外科治療を実施してきたが、かかる症例の中には、冠動脈が全体に狭小化し、A-C bypassの実施が不可能か、非常に困難な症例にしばしば遭遇する。このような症例に対する対策として冠動脈外科領域にCO₂レーザーを応用した。すなわち、その一つは、虚血心筋部に高出力CO₂レーザーを用いてmyocardial punctureをmultipleに作成する方法を試みた。これにより左室内の動脈血が心筋内を灌流するほか、これらと心筋内のsinusoidとの間にcollateral channelができ、新しいタイプのmyocardial revascularization 実現の可能性のある事実を認めたが、この詳細についてはすでに報告した。^{2) 3)}

現在、冠動脈外科領域でA-C bypass が広く実施され、かなりの成果がえられている。しかし手術成績向上のためには、なお多くの問題点が残されている。その中でもとくに問題となっているのはA-C bypass を行うにあたり内径1.5 mm以下の細い冠動脈との吻合をいかにすれば可能で、bypass graftの長期開存性がえられるかということであろう。著者らはこの問題点を検討するために今回低出力CO₂レーザーを血管吻合に応用し、若干の知見をえたので報告する。⁴⁾

1. 研究対象並びに方法

雑種成犬18頭（体重8～15kg）を用い、全身麻酔下に左右の大腿動脈と静脈とを露出し、CO₂レーザー（Medilaser S-442）による血管吻合にそなえた（図1）。

本研究を行う前に予備実験として、低出力CO₂レーザーのoutput（5～1000mW）と照射時間（10～20秒）を種々変化させて、大動脈壁における肉眼的並びに病理学的変化を検討した。その結果、100mW以上の出力を10秒間以上同一部位に

照射すると、そのpower density に応じて大動脈壁の弾力線維の膨化、断裂、蒸散による組織欠損などの所見がえられる事実を認めた（図2 a b）。

したがって、血管壁が薄く、直径も細い四肢の末梢動・静脈における血管吻合には出力50mW以下で、かつ1カ所での照射時間は高々10～15秒以下が望ましいことが判明した。

図1 低出力CO₂レーザー装置
(Medilaser S-442)

a 出力50mW 10秒照射後の動脈壁の病理所見（弾力線維の膨化がみられる）

b 出力100 mW 10秒照射後の病理所見
(組織の炭化像と欠損が認められる)

図2 レーザーPowerによる組織の反応

以上の予備実験にもとづき、両側の大動・静脈間で主として側々吻合を行ったが、一部では端側吻合あるいは静脈壁同志の吻合を実施した。

大動脈及び静脈の直径は2～7 mmであったが、吻合部の中枢側並びに末梢側にBulldog 鉗子をかけて血行を遮断し、側々吻合の場合には長さ10～20mmの縦切開を動・静脈に加え、後壁は5-0 Prolene あるいはTicron糸を用いる2点支持の連続縫合を、前壁の縫合線には幅5 mm間隔に5-0 Prolene ないしTicron 糸をかけてこれらをサポート糸として、吻合線がお互いに密着するように支持糸を軽く牽引し、この部分に低出力CO₂レーザーのfocused beamを照射した(図3)。この照射は、吻合部の中枢側より開始し、順次末梢側へ移動させて血管吻合を行った。以上のレーザー照射が終了した時点で吻合部の中枢側並びに末梢側に使用したBulldog 鉗子を除去して血行を再開し、さらに動・静脈瘻の完成していることを確認して手術創を閉鎖し、経過を観察した(図4)。

図3 CO₂レーザー使用による動・静脈吻合法

a 支持糸を軽く牽引し、血管壁を接合させる

b CO₂レーザーのfocused beamを吻合線上に照射

c 吻合完成図

図4 血管吻合法の実際(CO₂レーザーによる)

2. 研究成績

両側の大腿動脈及び静脈の血管吻合を18頭の成犬で36カ所に行ったが、吻合直後の出血は2カ所のみにみられた。このうち血管吻合部の病理組織の標本が犠牲死後摘出され、その所見がえられたのは14頭であった(表1)。これらの観察期間は最長2カ月半、最短10分(平均2週間)であったが、このうち5頭が死亡したが呼吸不全や衰弱死によるものであり、血管吻合部からの出血など、手術操作による死亡は全くみられなかった。残りの9頭では犠牲死せしめて動・静脈の血管吻合部の摘出を行ったが、この際9カ所中8カ所でスリルが触知され、吻合部の開存が明らかに証明された。CO₂レーザーの出力は20~150mW(平均40mW)照射時間は15~240秒/10mm(平均114秒)であった。直径2~7mmの血管吻合には、この程度の熱エネルギーで十分であることが立証された。血管吻合後は、出血もなく、100~130mmHgの動脈圧にも十分耐え、術後の血管造影においても吻合部の開存が認められたことから、低出力(20~40mW)CO₂レーザーによる血管吻合は容易かつ有用であることが確認された(図5)。

表1 動・静脈吻合時の所見とその成績

No.	CO ₂ レーザー出力(mW)	照射時間(sec/10mm)	観察時間	摘出時吻合部スリルの有無
1	30	120	24H	+
2	30	120	24H	+
3	50	240	12H	+
4	20	240	2W	+
5	100~150	90	2M1W	+
6	20	90	6H	+
7	50~100	15	2M2W	+
8	20	100	12H	+
9	20	30	1W	+
10	40	240	1W	+
11	30~40	40	2W	+
12	60	30	2W	-
13	40	120	24H	+
14	40	120	10min	+

M: Month, W: Week, H: Hour, min: minutes

次に、種々のレーザー照射の条件下で血管吻合を実施した吻合部の病理組織学的所見を示す。

低出力レーザー20mW,90秒照射6時間後における吻合部の病理組織学的所見では、薄いフィブリン膜が外膜にそって認められる以外には細胞浸潤もなくとくに異常は認められなかった(図6)。

図5 吻合部の血管造影像(対側FAから造影剤注入,動・静脈は良好に造影されその開存性が認められた)

図6 動・静脈吻合部の組織像(レーザー出力20mW,照射90秒,6時間後,Na.6)

次に、レーザー照射出力20mW,照射30秒1週間後の吻合部をみると、フィブリン膜が厚く網状に混入しているほか、fibroblastの増生が著明となり、血管壁の中央部まで完全に癒合している状態が明らかにみられた(図7)

a 全体像

b レーザー吻合部の拡大像

図7 動・静脈吻合部の組織像（レーザー出力20mW, 照射30秒, 1週間後, No.9）

一方、縫合糸使用による吻合部では、糸の周辺に異物巨細胞をはじめ、細胞浸潤がみられた。さらに、レーザー照射後2カ月半の吻合部の病理学的所見では、吻合部断端の血管壁は全層にわたってお互いに collagen fiber によって強硬に癒合している理想的な所見が認められたが、縫合糸使用による吻合部には著明な肉芽形成がみられた(図8)。

図8 血管吻合部の組織像（レーザー出力50mW, 照射15秒, 2カ月半, No.7）

以上の病理学的検索より、低出力レーザー使用による血管吻合部は組織反応が非常に少ない上に良好な癒合状態が経日的に進行している事実が明らかに認められ、本法による血管吻合の可能性が立証され、臨床応用へのあしかりがえられた。

3. 考察

1) 血管吻合における低出力CO₂レーザーの power

血管吻合における低出力CO₂レーザーの予備実験でえられた成績から、四肢の動・静脈ではその最大径は高々10mm以内であり、血管壁も厚くないため出力50mW以下で、かつ1カ所の照射時間は10～15秒以内であれば、内膜にまで熱エネルギーが到達しないため望ましい条件ではないかと考える。これ以上の熱エネルギーを加えると、それに応じて血管壁が逆に萎縮、炭化などの現象で破壊され、ひいては穿孔につながるおそれがあるからである。すなわち、低出力レーザーの focused beam を少し時間をかけてあてて組織を加熱、癒合させることが血管吻合時における要点であると考えている。このような点に留意し検討したところ、四肢の動・静脈（直径2～7mm）での血管吻合に適切な power は20～40mW, 照射時間60～120秒が許容範囲と考えられた。

2) 血管吻合法のポイント

上述のような条件下で血管吻合を行ってきたが、この際手技的な面で二つの大きなポイントのあることを知った。すなわち、その一つは血管吻合部の断端面を支持糸を用いることによってこれを軽く牽引し完全に接合させること、さらに、他の一つはこの血管吻合部の接合線上に focused beam をゆっくりと連続的にくり返し照射し、血管吻合部が灰白色からやや茶褐色に変色するのを確認すればただちに照射を中止することがポイントであった。この二つの重要な点に留意するようになってからは、良好な血管吻合が完成された(図9)。

図9 レーザー使用による血管吻合法の可否

現在著者らは、動・静脈吻合を行い、その後壁を5-0ないし6-0 ProleneやTicron系を用いて連続縫合し、前壁をレーザー照射により吻合したが、これは後壁では縫合糸による反応を観察して、レーザー使用による所見と対比するために対照として行ったわけである。

長さ10mmの吻合線上に3本の支持糸をおきレーザーを照射したが、満足すべき血管吻合がえられた事実より、前述の条件下では糸と糸との間隔5mmというのが必要にして十分な距離と考えられた。今後は、数本の支持糸のみで端々並びに端側吻合をレーザーのみで行う予定である。

3) 血管吻合部の抗張力について

縫合糸を用いる血管吻合部については長年にわたる歴史があり、太い血管ではとくに問題はないが、細い血管吻合ではなお長期開存性に問題が残されている。ところで、レーザー照射で吻合された血管吻合部がどれほどの動脈圧に耐えうるかということは重要、かつ非常に関心のあるところである。⁵⁾⁶⁾著者らの研究成果で血管吻合後血流を再開しても出血が認められなかった事実から、その際の動脈圧100~130 mmHgに十分耐応していることが立証された。しかし、吻合直後の抗張力には、数本の支持糸が大きな役割を果たしていることは、間違いないものと考えられる。動脈圧の上昇による吻合部の耐圧試験については現在200~300 mmHgまで検討中であるが、前述したごとく、吻合後の出血が遠隔期においても全くみられなかったことから、吻合直後において、100 mmHg前後の血圧下で出血がみられなければ、まず問題はないものと考えている。

4) 血管吻合部の癒合の状態

レーザー照射による血管吻合部の病理組織学的検索より、経時日的に外膜側よりフィブリン膜、fibroblast, collagen fiberの増生が認められ良好に癒合している事実が確認された。しかし、この癒合がどのようなメカニズムによってなされ、100 mmHg前後の動脈圧に耐えているかについては、なお不明の点が多いが、現在Mesterらのいうごとく、collagen fiberがレーザーエネルギーによってゾル化し、再びゲル化に移行することや、豊富な蛋白成分を含む組織液が糊状となるために血管断端に一時的な癒合が生じるものと推察され

る。この点については、病理組織面での修復過程でその一端はみられたが、詳細についてはなお検討すべきものと考えている。

結語

低出力CO₂レーザーを用いて血管吻合を実験的に行って検討し、以下の結論をえた。

- 1) 低出力CO₂レーザー使用により、簡単かつ安全に血管吻合を行うことが可能であった。
- 2) 小血管の吻合に際しては、レーザー出力20~40mW,照射時間60~120秒(吻合径10mm当り)が適切と考えられた。
- 3) 血管吻合部の病理組織学的所見で、縫合糸を用いた部位よりもレーザー吻合部で組織反応が軽く、良好な癒合状態が経日的に進行している事実が呈示された。
- 4) 小動脈並びに静脈の血行再建術には、レーザー吻合法が有用であり、臨床応用への可能性が示唆された。

文献

- 1) Mirhoseini, M., Cayton M.M.:
Revascularization of the heart
by Laser J. Microsurg. 2:253, 1981
- 2) 岡田昌義, 生田 博, 堀井弘幸, 清水一太,
中村和夫: 冠動脈外科におけるレーザーの応用
胸部外科 37: 100, 1984.
- 3) Okada, M., Ikuta, H., Shimizu, K., Horii, H., Nakamura, K.:
An alternative procedure of
myocardial revascularization
by CO₂ Laser J. Jpn Soc. for
Laser 4:201, 1984
- 4) Okada, M., Ikuta, H., Shimizu, K., Horii, H., Nakamura, K.:
Myocardial revascularization
by CO₂ Laser Presented at the
1st Congress of Cardiotectno.
Marseille, Oct. 1984
- 5) Jain, K.K.:
Sutureless microvascular
anastomosis using a neodymium-
YAG Laser J. Neurosurg. 1:436, 1980
- 6) Strutly, K.J., Bronx WZY:
The effect of Laser on blood
vessel wall; A method of non-
occlusive vascular anastomosis
Pl30, Macro-Micro-Vascular
Surgery, Thieme, Stuttgart, 1982