特集／ティッシュウェルディング

レーザー血管吻合法の有用性について Effect of laser assisted vascular welding

二宮 淳一, 庄司 佑, 田中 茂夫

日本医科大学胸部外科

Junichi NINOMIYA, Tasuku SHOJI and Shigeo TANAKA

Department of Thoracic & Cardiovascular Surgery, Nippon Medical School

要 旨

レーザー血管吻合法を Nd-YAG レーザーを用いた contact method で動脈実験で確立した後に、臨床63例に応用した。内胸動脈-前下行枝吻合の CABG 4 例は全例レーザー吻合に成功し、開存率も100%で、4 年の遠隔期にも虚血症状を認めていない。乳児の大動脈縮窄部切除後の端々吻合では術後の吻合部の成長が認められた。また末消血管吻合や内シャント術をレーザー吻合した群でも6ヶ月後1例の閉塞を認めたのみで、かつ7年後の開存率も77%と良好であった。

キーワード : Nd-YAGレーザー, 血管吻合, 人工血管, 遠隔成績

Abstract

Low energy Nd-YAG laser was utilized to make vascular welding with contact method. After success and good patency for vascular welding in canine experience, sixty three patients with 4 ischemic heart disease, 2 coarctation complex, 39 peripheral occlusive disease and 18 chronic renal failure were received laser vascular welding. these weldings succeeded in all cases except one and patency rate was excellent. The anastomotic sites of the aorta in infants were growable. Late patency rate was also excellent because of 77% seven years later.

Key words : Nd-YAG laser, vascular welding, biological grafts, late result

1. 目 的

約30数年前に、レーザーという新しい光が発振されて以来、この光は精密計測・通信・加工・エネルギー開発などに広く普及したが、医学分野への応用も近年めざましいものがあり、新しい応用方法と手技が開発されてきた、心臓血管外科におけるレーザーの応用も散発的に報

告¹⁻⁶⁾がされているが、解決されなければならない多くの問題が山積みしている。そのため著者らも1986年以来、心臓血管外科領域へのレーザーの応用を研究してきた。今日までレーザーを用いて血管吻合、血管形成、不整脈治療、ASD 作製、心室流出路狭窄解除、心筋内血行再建などの実験及び臨床研究を行ってきた⁷⁻⁹⁾。

表1 Patients Profile

1. Atherosclerotic obstructive disease :	39 cases (17)
2. Chronic renal failure :	18 cases (5)
3. Ischemic heart disease :	4 cases (3)
4. coarctation complex :	2 cases (2)

() : Number of vasc. welding by laser & collagen

今回、著者のレーザー血管吻合の有効性について遠隔成績を含めて検討し、興味ある知見を得たので報告する。

2. 方法及び対象

レーザー吻合法は著者らがこれまで報告してきた方法⁷⁻¹⁰⁾で Nd-YAG レーザーを用い、2～6 mm の probe で出力 1～3 W、照射時間 0.5～5 秒/回で、原則として contact method にて行った。又吻合部の補強の意味で適宜 collagen を吻合部に使用し、レーザーにて接合した。

この方法にて、まず成犬 38 頭を使用して、気管内挿管全麻下に、頸動脈、大腿動脈又は冠狀動脈を露出した。頸動脈と大腿動脈は切断後に直接端々吻合するか、又は biological grafts を interpose して端々吻合を行った。冠狀動脈は beating 下に左内胸動脈と LAD を端側吻合するか、又は biological graft を LAD と左内胸動脈間に interpose して吻合した。吻合の詳細はすでに報告⁷⁻¹⁰⁾しているのではぶく。

この実験結果をもとに、臨床応用を行なった。臨床の対象は、虚血性心疾患にて内胸動脈-左前下行バイパス (CABG) 4 例、乳児の大動脈縮窄複合で coarctectomy 後に胸部下行大動脈を端々吻合した 2 例、腹部・四肢血行再建又は腎不全に対する shunt 術 57 例の合計 63 例である (表 1)。

これら症例の初期成績から術後 1 年以上 7 年までの遠隔成績につき検討を加えた。

なお使用した biological grafts は heparinized biological graft⁽¹⁾ と Bioflow graft である。

3. 成績

実験結果

大腿動脈又は頸動脈での末消血管レーザー吻合の結果は初期の biological graft 吻合を行なった 2 例を除き

表2 Experimental results

1. Peripheral arteries	
Biological graft welding	
success :	92% (22/24)
patency :	100% (22/22)
Native arterial welding	
success :	100% (10/10)
patency :	100% (10/10)
2. Coronary artery	
Laser welding of IMA to coronary artery	
success :	100% (6/6)
patency :	83% (5/6)
Laser welding of biological graft to coronary artery	
success :	83% (5/6)
patency :	100% (5/5)

全例に成功し、その開存率は 100% であった。また CABG においては、ITA の直接吻合は 100% 成功し、1 例が術後閉塞を来した。biological graft を使用した群では成功率 83% であったが、開存率は 100% と良好であった (表 2)。

また術後 3 年目に犠牲死させた成犬の吻合部の血管内視鏡所見を図 1 に示すが、吻合部線には全く過形成もなく、smooth で、良好な開存所見を呈していた。

臨床結果 :

全体でのレーザー吻合術の成功率は 100% であり、又早期開存率も 100% であった。

次に各グループの成績を述べる。

ITA を用いて LAD にレーザー吻合を行った 4 例は、この吻合も比較的容易で、100% の開存が得られ、術後の冠狀動脈造影にて良好な開存のみならず、吻合部の過形成等もなく、術後最長 4 年の時点でも運動負荷テストにても全く虚血症状を認めていない (表 3)。図 2 に術中レーザー吻合時の写真と術後の造影所見を示したが、

図1 Laser vascular welding術後3年目の吻合部
血管内視鏡所見

図2 Laser assisted CABG の術中写真と術後 CAG

表3 Laser assisted CABG

▲ anastomotic site

- LITA-LAD (n = 4)
- Postop. graft patency : 100%
- Quality of anastomotic sites : excellent
- No ischemic sign on exercise

4 year follow-up period

Diameter

図3 Changes of Anastomotic sites after Laser welding of thoracic aorta

表4 Surgical Procedures

Arterial occlusive diseases (n = 39)	
ilio-femoro-popliteal bypass	: 2 cases
composite graft (E-PTFE + biograft)	
ilio-femoral bypass	: 3 cases
Femoro-femoral bypass	: 6 cases
Femoro-popliteal bypass	: 20 cases
composite graft (SVG + biograft : 10)	: 5 cases
Femoro-tibial bypass	
composite graft (SVG + biograft : 4)	
composite graft (SVG + biograft : 4)	
Aorto-IMA bypass	: 3 cases
Chronic renal failure (n = 18)	
Radial art-superficial v. bypass	: 11 cases
SVG bypass in forearm	: 5 cases
SVG bypass in thigh	: 2 cases

満足出来る結果であった。

乳児の coarctectomy 後の大動脈の端々吻合は、将来の吻合部の成長を期待して行った。術後の定期的な 2 DECHO による観察で、2 例共に有意に吻合部の成長を認めた (図 3)。

腹部・四肢血行再建と shunt 術を施行した 57 例の術式は表 4 に詳細を示す。手術死亡はなく、術後 6 ヶ月で shunt の閉塞を来した 1 例を除くと 100% の開存が得られた。その後経年的に開存率は減少傾向を示したものの術後 7 年で 77% の開存を得ており (図 4)、著者らの手

図4 Postoperative patency rate after peripheral vascular weldings

縫い吻合の成績に比べて満足出来るものであった。

4. 考 察

1) 血管吻合法の種類とレーザー

現在行われている血管吻合法は大別して、①手縫い法、②手縫い法以外の方法の二つに分けられ、手縫い法以外の方法としては③tube 又はcuff ligation法、④staple法、⑤ring-pin法、⑥clip法、⑦接着剤の応用、⑧電気凝固法、および⑨レーザーの応用法などがある。そのうち血管吻合器や他の器具などを用いる方法は直径1～2 mm以下の血管では応用しにくく、したがって現在では手縫い法がもっとも確実な方法であり、利用範囲も広く、安全である。しかし、手縫い法は手術手技が難しく、熟練を要するため、また誰にでもできるというものではない。また手縫い法によって吻合された血管の縫合部を組織学的に観察すると、針によって生じた穴は凝血によって閉塞されるがこの穴を中心に急性炎症細胞が浸潤し、外膜には著しい出血と変性を認める。さらに、血管内腔に露出した縫合糸は内皮細胞によって完全に被覆されるまでに2週間以上を要し、しかもその糸を中心に肉芽組織が形成され、線維化されて肥厚し、血管内腔に盛り上がるため、血管内腔に露出する糸が多ければそれだけ血管も閉塞されやすくなる。したがって、古くはServantら⁽²⁾も指摘しているように、縫合糸の数はできるだけ少なくした方が良い結果が得られるものと考えられる。また、この縫合法の欠点を補うものとしてレーザーによる方法がJainら¹⁾の微小血管吻合術が報告されて以来、著者らを含めていくつかのレーザー血管吻合法が報告されてきた^{4, 5, 8)}。

2) レーザーの種類と特徴

血管吻合に用いられるレーザーの種類にはCO₂、Nd-YAG、Argon、半導体レーザー等があり、それぞ

れ特徴を有している。その特徴は主にレーザー光の波長に由来して生じるもので、CO₂レーザーは深達度が浅く、水に吸収されやすいため比較的壁の薄い血管や微小血管に用いられるが、その照射エネルギー量は研究者により異なっている。すなわち、1.5～2.0 J/mm²のエネルギーのレーザー照射が適正であるとの報告もあれば、30～100 mWの出力で照射したときもっとも満足すべき結果を得たとの報告⁵⁾もある。これらの成績のバラツキは一つには血管組織性状の違いであり、レーザーエネルギーが照射された部位の温度、条件によって異なるものと考えられる。この点は他のArgonやNd-YAGレーザー等による血管吻合等にも言えることである。ArgonやNd-YAGレーザーは波長が長いため深達度がCO₂に比較して深い。そのため吻合部の強度は増すが、微小血管すなわち1.0 mm未満の吻合に使用する場合には工夫が必要である。しかし実際の臨床では1.0 mm未満の血管吻合は心臓血管外科領域では、非常に稀であり必要性は少ない。そのため、著者らは、Nd-YAGレーザーを使用して、しかもcontad methodにて行っているため、レーザー照射条件は常に一定であり、安定した成績を得ている重要な点である。

さらに著者らは、Nd-YAGレーザーによる吻合方法を単に自己血管の吻合のみならず、人工血管(biological grafts)との吻合も可能であることを、世界で初めて報告¹⁰⁾し、さらに今回の結果からも臨床例においても良好な成績を遠隔期にもおさめることができた。

3) レーザー血管吻合の利点

著者らのNd-YAGレーザーを用いた血管吻合の経験から、本法の利点は、①血栓形成がない、②不良・過剰肉芽形成が少ない、③開存率が良好である、④創傷治癒が促進される、⑤吻合部の成長が期待出来る、⑥操作が簡単で熟練を要しないなどが主たるところである。これ

表5 Indication of Laser vascular welding

Indications
<u>Small vascular anastomosis</u>
• coronary artery
• peripheral artery
• branches of aorta
• others
<u>Pediatric vascular anastomosis</u>
• original B-T shunt
• coarctation or interruption repair
• arterial switch operation
• others

らから冠状動脈バイパス術、末梢血管吻合術及び小児の成長を期待する血管吻合術にNd-YAGレーザーを用いて行い良好な結果を得た。現在著者らは心臓血管外科におけるレーザー血管吻合の適応は表5のように考えているが、今度本法を積極的に応用してゆくことにより、その適応の拡大に努めたいと考えている。

5. 結 語

レーザーによるvascular weldingの方法を動脈実験で確立したのちに、臨床63例に応用した。この方法は、従来の手縫い吻合に比して吻合部の過形成もなく、内面が平滑であり、かつ小児例では吻合部の成長も期待できる。また遠隔成績の上からも非常に有効な方法であると考えられた。

文 献

- 1) Jain KK and Gorish W : Repair of small blood vessels with the Neodymium-YAG laser : A preliminary report. Surgery, 85:684-688, 1979
- 2) Mirhoseini M, and Cayton NM : Revascularization of the heart by laser. J Microsurgery, 2 : 253, 1981
- 3) Choy DSJ and Stertz SH : Transluminal laser catheter angioplasty. Am J Cardiol, 50: 1206, 1982
- 4) White RA, Kopchok, G, Donayre C et al : Comparison of laser welded and sutured arteriotomies. Arch Surg 121 : 1133-1135, 1986
- 5) Okada M, Shimizu K, Ikuta H et al. : A new method of vascular anastomosis by low energy CO₂ laser : experimental and clinical study, Kobe j Med Sci 31 : 151-168, 1985
- 6) Seksen S and Gadhoke A : Laser therapy for

tachyarrhythmias : A new frontier, Pace 9 : 531-550, 1986

- 7) 二宮淳一, 庄司 佑, 田中茂夫他. 心臓血管外科へのNd-YAGレーザーの応用, 日レーザー医誌 9 : 37-40, 1988
- 8) Ninomiya J, Shoji T, Tanaka S et al : Laser vascular welding in biological grafts, ASAlo Transaction 35 : 208-211, 1989.
- 9) 二宮淳一, 庄司 佑, 田中茂夫他. Laser と collagen を併用した vascular welding, 脈管学 32 : 1125-1127, 1992.
- 10) 二宮淳一, 庄司 佑, 田中茂夫他. Laser welding の研究, 特に人工血管吻合の可能性について. 人工臓器 18 : 414-416, 1989
- 11) Noishiki Y, Miyata T and Kodaira K : Development of a small caliber vascular graft by a new cross-linked method incorporating slow heparin release collagen and natural tissue compliance. ASAlo Transaction 32 : 114-119, 1986
- 12) Servant JM, Ikuta Y, Harada Y : A scanning electron microscope study of microvascular anastomosis. Plast Reconstr, Surg 57 : 329, 1976