レーザー光による細小血管吻合術の開発

Application of Laser Beam to Facilitate Microvascular Anastomosis

田口喜雄^{*}, 大原 到^{*}, 益子信郎^{**}, 稲場文男^{**}, 葛西森夫^{*}

Yoshio Taguchi, Itaru Ohara, Shinro Mashiko,
Humio Inaba and Morio Kasai

東北大学医学部第二外科^{*}, 東北大学電気通信研究所^{**}

In order to facilitate microvascular anastomosis, application of irradiation with Argon laser was attempted. Preliminary studies revealed that 1) the site of puncture or cut wound of the lower abdominal aorta of guinea pigs were closed by Argon laser irradiation: 100 mW, 60 seconds, 2) completely transected aorta was closed by Argon laser: 100 mW, 500 μm^2 , 40 seconds or 100 mW, 800 μm^2 ~1 mm^2 , 120 seconds. As to microvascular application, cross over carotid anastomosis in a rabbit was closed by Argon laser: 175 mW, 500 μm^2 , intermittent irradiation (30", 30", 30", 25"). Carotid arteriogram showed complete patency.

実験的に低エネルギーのレーザー光は、創傷治癒促進効果をもたらしている^{1,2)}。そのため、種々の外科的創傷を作製し、創傷の治癒促進因子の検討を行なっている。一連のこれら実験の中で、血管損傷に伴う瞬時の止血効果を認めたことから、レーザー光による血管吻合への応用を計り、細小血管吻合を可能としたので、病理組織学的標本、血管撮影像を呈示するとともに、われわれの経験について報告する。

レーザーおよび照射エネルギー

使用したレーザーは、アルゴンレーザー（NEC-GLG-3300, 出力1, 2W）であり、単一波長：5145 Åを用いた。レーザー光は、コア径400 μ mの光ファイバーにより導き、レンズ系を用いて、直径1mm～400 μ mに集光した。焦点における出力は100 $\pm$ 10mW～175 $\pm$ 10mWとした。

実験材料および方法

実験動物としては、モルモットとウサギとを選び、予備実験として、モルモット腹部大動脈、およびウサギ大腿動脈に、21～27ゲージ注射針で穿刺創を作製するか、または血管壁の一部を鋭的にきり、同部にレーザー光を照射した。また、血管を切断し、断端を密着させ、その部分にレーザー光照射をした。

本実験としては、モルモット腹部大動脈を切断した後、8-0ナイロン糸による三点縫合を行い、各縫合部の間をレーザー照射した。この方法では、血管剥離部の余裕が少いため、後面へのレーザー照射に精確さが欠けるうらみがあり、モルモットおよびウサギの左右頸動脈を剥離し、左右頸動脈の長さに余裕をもたせて、8-0ナイロン糸による三点縫合（ときに四点縫合）をおき、各縫合部間をレーザー照射した。

結果

基礎実験として、約1mmの血管創に対してレーザー光を直径1mmに集光した、出力100mWのレーザー光では、3分照射からはじめ照射時間を短縮していくと、15秒照射で完全血ができることが判った。一部10秒照射でも全止血が出来た。

図1は、モルモット腹部大動脈、直径1.5mmに対して1mm弱の血管創を26G針で作製し、焦点直径1mm、出力100mWを、60秒間照射し、完全止血をみたもので、図中矢印部分が融合し、瘢痕化したものである。

次に、照射エネルギー量、焦点面積等を検討すべく、モルモット腹部大動脈の断端照射をしたものでは、密着した切断端横径1.5mmに対して、出力100mW、焦点直径500 μ mで40秒間照射、一照射野10秒で、断端の完全融合が可能であることが判明した。同様の径に対して、出力175mW、焦点直径800 μ m～1mmとしたものでは、120秒間照射すれば、確実に断端の完全融合が大動脈内膜でおきていた。しかし乍ら焦点のスポットが小さくなると、血管外膜側に熱性の変化と思える色調の変化が観察された。

細小血管吻合

図2はウサギ左右頸動脈を露出し、左右頸動脈をクロスさせ、四点縫合を行い、縫合部の間にレーザー光照射を行った一連の実験過程である。

図 3

図3は、レーザー光照射後の血管開存を示す血管写像であり、矢印部位が照射部位である。この動脈の径は1.7mmで、出力175mW、焦点直径500 μ mで各縫合点間にそれぞれ、30秒、30秒、30秒、25秒と4回間歇照射した。

同様実験をモルモット頸動脈直径0.5～0.6mmで行ったところ、照射前には、縫合部から出血を認めたものの開通している状態であったが、照射後、同部位での閉塞があり、開通しなかった。また、出力を下げ150mW、10秒内外としたところ、縫合部から出血は止まり、開通例を得ることができた。

考 案

低エネルギー状態のレーザー光による外科的創傷の治癒促進効果の実験的研究を行い、その効果を認め、実質臓器の損傷、腸管等管腔臓器の損傷、血管損傷に対しての応用を考え、はては、各種管腔臓器の吻合、神経、血管吻合とく

に細小血管吻合への応用を夢みていたとき、Freeman, R.H. と Gordon, J.A. が本年のCLEOSで炭酸ガスレーザーを用い、細小血管吻合を可能とした報に接した。驚きであり、追試も一連の実験過程から、必要と考え、手持ちのアルゴンレーザーを使用して、われわれも細小血管吻合を可能とした。

文献的にレーザー光による血管吻合例を求めたところ、Jain, K.K. らが1979年に血管創に対しNeodymium-YAGレーザーで止血に成功、つづいて1980年同じレーザー光を用いて細小血管吻合術を行ったことも判明した。

Jainらの行った方法は、マイクロバルーンを用い、血管内腔を拡張し、創面が密着した状態で200 μ mの直径に集光したYAGレーザーを照射している。どのくらいのエネルギー量か定かでないが、止血実験での報告では、直径500 μ mに集光し、17 $\pm$ 2Wを20分の1秒間照射している。

また、Freeman らは、低出力レーザーを一

血管あたり5～8秒間照射していると報告している。血管吻合の方法は、われわれと同じく、三点支持をした上で、その支持点間を照射し、その結果2支持点間の照射時間は、1～3秒ということになる。

われわれの方法では、2支持点間の照射時間はウサギ頸動脈で30秒程度、モルモット頸動脈では10秒前後と、彼らの方法に比較して、照射に要する時間は長かった。この実験中、血管吻合部を照射する際に、一定の集光量で、照射時間と照射部位との関係をみたところ、一部では血管創密着部表層のみならず、内腔閉塞をもきたしたものがあつた。この結果から、われわれは血管融合の照射時に於ける血管内腔の保持が重要なことと考えている。この点につきJainらは内腔マイクロバルーンを入れていたことを考えると吻合した血管の開存のためには、時間的に短い照射を行う場合では、何らかの内腔保持の補助手段が必要であろうと推察する。

われわれの行った方法では次の点が明かになった即ちレーザー光を光ファイバーで導き、焦点を定めて、フリーハンドで照射したため、実験に際して焦点が一定にならないので、安定した成績を得るのが困難であつた。フリーハンドであるための有利さ、とくに臨床応用に際しては、この方法の方が良いとは考えるものの、固定焦点による集光で確実な血管吻合の融合を得るためには、実地応用上の工夫をこらす必要があつたと思える。

とあれ、アルゴン・レーザーの低エネルギー状態での照射は、血管吻合とくに細小血管吻合を可能にした。

血管の種類、壁の厚さ等によるエネルギー量の設定、レーザー種を選択をすることにより、従来限られた人々が苦勞の上に苦勞を重ねている細小血管吻合は、今より容易になり、また、医学の部野を広げることになると考える。

むすび

微小血管吻合を容易ならしめる目的で ARGON レーザー照射の動脈吻合部における影響を検討した。その結果次の成績が得られた。

- 1) モルモットの腹部大動脈に21～27g 注射針による穿刺創、および切創は ARGON レーザー100mW, 60秒間照射で創が融合した。
- 2) モルモット腹部大動脈切断端はアルゴンレーザー出力100mW 焦点直径500 μ m 40秒間照射、または100mW 焦点直径800 μ m - 1mm, 120秒間照射で夫々完全融合した。
- 3) 兎頸動脈交叉吻合した後アルゴンレーザーを血管吻合部に出力175mW, 焦点直径500 μ m, 30秒, 30秒, 30秒, 25秒4回の間歇照射で完全融合がみられ、血管撮影で確認された。
- 4) モルモット頸動脈交叉吻合では、兎の場合に比し、アルゴン・レーザーの出力を落とし、焦射時間を短かくすることで、血管の完全融合がみられた。

文 献

- 1) 益子信郎, 田口喜雄, 大原 到, 田久長一, 稲場文男, 葛西森夫:
創傷に対するレーザー光の治療効果に関する研究(第一報)
本誌: 投稿中
- 2) Mester, E., Toth, N. and Mester, A.:
The Biostimulative Effect of Laserbeam,
Laser in Basic Biomedical Research,
IV, 22, 1981.
- 3) Freeman, R.H. and Gordon, J. A.:
Microsurgical anastomosis using a CO₂
Laser: a preliminary report CLEOS
Abstract, 60, 1982.

4) Jain, K. K.:

Repair of small blood vessels with the
Neodymium – YAG laser:

A preliminary report Surgery:

85 (6), 684, 1979.

5) Jain, K. K.:

Sutureless Microvascular Anastomosis
using a Neodymium – YAG Laser

Journal of Microsurgery:

1, 436, 1980.