レーザーメスによる肺外科の基礎と臨床

Basic and clinical studies using laser cutters in lung surgery

○大谷高義 雨宮隆太 平良 修 小川一平 於保健吉 早田義博

T. Ohtani, R. Amemiya, K. Hayakawa, O. Taira,
I. Ogawa, K. Oho and Y. Hayata

東京医科大学外科

Department of Surgery, Tokyo Medical College
Hospital

The authors compared the results of partial pulmonary resection using 3 types of laser cutters in a total of 32 adult mongrels. The laser cutters consisted of a carbon dioxide gas laser, an argon ion laser and a YAG laser. The results were compared macroscopically and microscopically and on their basis the instruments were employed in clinical cases and their characteristics further evaluated.

The CO₂ gas cutter at a power output of 40W showed cutting characteristics resembling those of the conventional scalpel and had the least effect on surrounding tissue of the three. However its hemostatic ability was limited and the jointed surgical arm has the drawback of rendering it difficult to manipulate easily intrathoracically. Although the argon ion laser provided effective hemostasis its cutting characteristics were poor and it did not qualify for employment as a cutting instrument. While the YAG laser was slightly less effective than the CO₂ laser in terms of cutting characteristics it provided excellent hemostasis and the effect on surrounding tissue was also low. It was recognized as the most suitable instrument of the three types of lasers for employment in lung surgery.

On the basis of clinical experience the following points were recognized to be important when performing pulmonary resection with laser cutters:-

1. The blood vessels in the hilar region should be compressed to reduce blood flow.
2. The vessels which are roentgenologically recognized as being involved with the tumor should be occluded as quickly as possible.
3. Alveoli and bronchioles are cauterized easily but larger bronchi and blood vessels remain in a string-like condition. They should be ligated then transected.

1.はじめに

レーザー光線は1960年Malman⁽¹⁾がルビー結晶で始めて発振に成功して以来、急速に発展し、これを医学の分野へ応用、実用化すべく種々の研究が行われている。その中のレーザーメスはレーザー光線照射により組織の切離、凝固止血、気化という現象が手術に応用され、眼科、耳鼻科、脳外科、皮膚科、一般外科等の領域で臨床に使用されている。しかし、肺外科領域においては、著者らの研究発表⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾以外、基礎、臨床共に報告例は見られない。

著者らは肺外科領域へのレーザーメスの臨床応用をめざし、1978年より雑犬を用いて基礎的研究を開始し、更に、臨床例を経験したので報告する。

2.方法および対象

使用したレーザーは波長 10.6μ の炭酸ガスレーザー(Lasery60:日本赤外工業、Medilasers, Model-442:持田)と波長 1.06μ のYAGレーザー(NEC.SL115)および波長 0.5μ のアルゴン・イオン・レーザー(LEXEL, MOPEL 295)である。炭酸ガスレーザーの導光路はミラー関節方式で、YAGとアルゴン・イオン・レーザーの導光路は可屈性のある光学ファイバー方式を用いた。ハンドピースの部分はペンホルダー型とした。導光ファイバーは日本板ガラス製、直径 0.4 mm 、全身 4 m の石英ファイバーをCoreとし、テフロンチューブを外装とし径 2 mm としたものを用いた。図(1)。レーザー

照射時には外装のテフロンチューブより空気を吹き出させ、先端部に焼灼物が付着するのを防止した。又、炭酸ガスレーザー、YAGレーザーは不可視であるため、ヘリウムネオンレーザーの赤色光をガイド光として用いた。術者および助手は各レーザー光に対する防禦メガネを着装して操作した。

以上の装置を用いて雑犬32頭に対し、気管内麻酔下に肺部分切除を行った。又、炭酸ガスレーザーおよびYAGレーザーでの臨床例を経験した。

図(1)。

3.結果

a)YAGレーザーメスによる雑犬の肺部分切除の肉眼的所見

図(2)は、気管内麻酔下に、雑犬の左肺の第2葉をYAGレーザーで部分切除したもので、メス先端を切開創より5～10mmはなし、出力40Wで肺門側の血管系を指で圧迫することにより約10cm²の範囲を外科的結なく切除したものである。切断面は茶褐色を呈し、少量の炭化物の付着を認める。出血やair leakageは殆んどみられない。40Wで距離5mmから照射すると、1秒で胸膜が白濁膨化後、1mm程度のクレーターを作る。次いで肺胞部分が先に焼灼され、比較的太い血管、気管支は索状物として残るので血管腔内に血栓を作製するようにして血流を止めて、その後切断するようにした。創面に出血するとレーザー光は血液に吸収され、深部にある血管及び断裂した血管壁に直接レーザー光が作用しない。したがって出血時は、肺門部の血管を強く圧迫し、血流を減少、遮断するとレーザーが照射で止血可能となる。しかしこのような操作でも止血不能時には、外科的結を行う。出力40Wで肺の切断面約10cm²の範囲では60～80秒間で完全に切断出来た。図(3)は、切離後20cm水柱圧で加圧したものであるが、わずかなalveolar leakageが見られるのみであった。肺の末梢側で切離するほどair leakage 出血は少なかった。

図(2)

図(4)は、気管内麻酔下に、左開胸し、葉気管支、肺動静脈を一塊にして鉗子をかけ、これらをYAGレーザーメスで切断したものである。出力40Wで80～160秒間で完全に切離できた。

図(3)

図(4)

切離後徐々に鉗子を開きながら血管断端部にレーザー照射をすることにより、肺動静脈の葉支レベルでの離断が可能であった。しかし気管支断端部は葉支レベルでのレーザー照射のみによるシールドは困難であった。

図(5)

図(5)は一週後の切離面である。表面は乳白色の線維性被膜に被われ、血管や気管支の断端は認められない。その他は胸壁胸膜に癒着していた。

b)YAGレーザーメスによる雑犬の肺部分切除の組織学的所見

図(6)はYAGレーザーメスにより肺部分切除を行った直後の肺組織像である。表面に焼けこげたCharred layerが付着し、壊死層、熱凝固層がわずかに認められる。切断端部は肺胞が

図(6)

変性、融合し不規則な薄い膜を作り、組織が熱凝固により熔接的にシールドされている。YAGレーザーで肺を切除した時の熱による変性範囲は断端部より2mm以内である。

図(7)

図(7)はYAGレーザーメスにより犬肺部分切除後1週間目の肺組織のルーベ像である。照射端より5~7mmの範囲まで順に、凝固壊死層、出血変性層、線維化層の所見がみられる。同部分で直径2mmの肺動脈が完全に閉塞して断端部がシールドされているのが認められる。

図(8)

c) YAGレーザーメスによる雑犬の肺部分切除の気管支及び血管造影像

図(8)左は部分切除直後の摘出肺の気管支及び血管造影像である。切断端からの造影剤の流出は認められない。切離後20cm水柱圧で加圧しても肺胞からの少量の空気もれが認められただけである。右は切除後1週目の摘出肺の気管支及び血管造影像である。断端部より約5mmの部分まで、気管支、肺動脈、肺静脈が尖型及び桿棒状に閉塞して造影剤の入らない層が認められる。又、残存気管支、血管の集束像がないことから、残存肺の容積の減少がないことを意味している。気管支は直径約3mm、肺動脈は約2mm、肺静脈は約2.5mmまでのものがYAGレーザーメスにより閉塞することが可能であった。

以上は雑犬を用いての実験であるが次いで臨床例を経験したので報告する。

症例1. 78才 女性

図(9)

図(10)

症例は乳癌の肺転移例で、2×2cm大の腫瘤が右肺S⁶とS⁵の間に位置し、A⁶b、V⁶b、A⁸aの各V~V1次の肺動脈、肺静脈がこの腫瘤に入り込んでいるのが認められる図(9)。この腫瘍に対しYAGレーザーメスによる肺部分切除を行った。

図10は右下葉の中下葉葉間面よりYAGレーザーメスで腫瘍を切除している所である。出力30～40W、cut waveで、ヘリウムネオンレーザー光をガイド光として切離線を決めて照射した。末梢側では出血、Air leakageは認められなかったが、肺門側で出血があり、肺門部を強く圧迫して血流量を減少させ出血部を照射したが、レーザーでの止血は不能であったので外科的結を行った。止血不能な血管は術前の胸部断層写真で病巣に入り込んでいたと思われるA⁵b、A⁵aのV～V1次の肺動脈であった。肺静脈はレーザー照射により止血可能であった。術後経過は良好で、退院し現在腫瘍の再発は認められない。

f) 症例 2

図11

39才の男性の肺癌瘤例に対し、炭酸ガスレーザーで末梢肺の部分切除を行った。図11。炭酸ガスレーザー(Mediluser S MEL-442: 持田)は図11右上方に見られるようなミラー関節方式のマニピュレーターを用いるため、深部操作が行いにくい欠点がある。出力60W、CWでハンドピース先端よりヘリウムネオンレーザー光をガイド光として切離線を確認し、focused beamとdefocused beamを組み合わせで切除した。切断端はYAGレーザーに比し出血が少なかった。

g)肺外科におけるレーザーメスの種類と比較
表(1)は肺外科における炭酸ガス、YAG、アルゴンイオンレーザーの三種類のレーザーメスを比較したものである。多量の空気を含む肺という特殊な臓器では、切離能、止血能の点からYAGレーザーが最も有用と思われる。炭酸ガスレーザーの切離能はYAGレーザーよりも優れるが、止血能は弱く、また伝導系がミラー関節方式のために深部操作が行いにくい欠点がある。アルゴンイオンレーザーはYAGと同様に光学ファイバー方式のため、操作は容易であるが切離能が弱いために「切子」というメスとしては不十分である。

肺外科におけるレーザーメスの種類と比較

	炭酸ガスレーザー	Nd-YAGレーザー	アルゴンイオンレーザー
1. 材 料	気体レーザー	固体レーザー	気体レーザー
2. 発振波長	10.6μm	1.06μm	0.49-0.51μm
3. 吸収係数	200cm	6-12cm	30-55cm
4. 浸透深度	0.05mm	0.8-4.2mm	0.2-0.8mm
5. 使用装置出力	20-60W	1-40W	0.2-12W
6. 発振様式	連続波(CW)	連続波(CW)	連続波(CW)
7. 色	無色(HeNeレーザーで導光)	無色(HeNeレーザーで導光)	淡青緑色
8. レーザー伝達法	ミラー関節方式	光学ファイバー方式	光学ファイバー方式
9. 肺切開能	あり	あり	なし
10. 無出血切離可能血管径	肺動脈、静脈とも に1.5mm以下	肺動脈 2.5mm以下 肺静脈 2.5mm以下 中枢側完全圧迫切離 肺動脈、静脈5.5mm以下	
11. 止血能	軽度	中等度	中等度

表(1)

4. 考察

レーザー光学は近年急速な進歩を遂げ、医学の分野でも広く応用されるようになってきた。胸部外科領域においては、1974年硬性気管支鏡下に炭酸ガスレーザーで気道内の乳頭腫の焼灼が行なわれたのが最初である。⁽⁵⁾現在、レーザー光を肺疾患の診療に応用しているのは主として気管支鏡の分野である。⁽²⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾他にレーザー光の干渉性を利用して、気管支鏡やX線像のホログラフィの研究⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾もなされているが臨床的には未だ使用されるにいたっていない。著者らは肺外科領域へのレーザーメスの臨床応用をめざし、1978年よりYAGレーザーメスを中心に炭酸ガス、アルゴンイオンレーザーを用いて一連の基礎実験を行ってきた。今回種々の面から比較検討を行い、更に臨床例についてその価値を検討した。YAGレーザーメスの切離能は炭酸ガスレーザーにやや劣るも凝固止血能が強く、多量の空気を含有する肺組織の熱凝固層は2mm以内で周囲組織への影響も少く肺外科においては最も有用と思われた。炭酸ガスレーザーの切離能は優れ、周囲組織への影響も最も少ないが止血能が弱く、またミラー関節方式のため深部操作が行いにくい欠点があった。アルゴンイオンレーザーは切離能に乏しくメスとしては不適であった。臨床例での肺部分切除ではレーザー肺手術の手技として以下のことが肝要と思われた。(1)肺切離時肺門部の血管を圧迫し、循環血液量を減少することにより、血管の凝固止血は容易である。出血した時には速やかに肺門部を強く圧迫して出血部を照射し、それでも止血不能な時には外科的結紮を行う。(2)術前の胸部断層写真上認められる病巣に流入する命名可能なV～VI次の肺動脈、肺静脈が出血の危険性がある。したがって、予め予測して出血の危険性のある血管を他の方法で処理すること。(3)特に病巣が肺門部より位置している例では、病巣に入る血管、特に肺動脈は最も深部に位置するため、この部は最後に照射切離することが必要である。(4)レーザー照射により肺泡や細気管支は容易に焼灼され、気管支や血管は索状物として残存するので、索状物を結紮切離していくと最も安全である。(5)直径1cm以下の小さな病巣は

部分切除をせずに直接Vaporizationする方が容易である。

図1

現在著者らはYAGレーザーのノードピースの先端に集光レンズを装置してペンホルダー型とし、focused beamとdefocused beamを使えるよう改良中である。図12. focused beamとdefocused beamを組み合わせることにより、より高い切離能と凝固止血能が得られるであろう。

文献

- 1) Maiman, J.H.: Stimulated Optical Radiation in Ruby. Nature, 187, 493~494, 1960.
- 2) 雨宮隆太、他: 気管・気管支に対するLaserの応用、日本気管支研究会報、1. 65~68, 1979.
- 3) 大谷高義、他: YAGレーザーメスによる肺外科の基礎的研究、日本胸部外科学会雑誌、28、5、803~804、1980.
- 4) 雨宮隆太、他: 肺外科におけるレーザーメスの研究。第80回日本外科学会総会号、263、1980.
- 5) Strong, M.S. et al.: Bronchoscopic carbon dioxide laser surgery. Amn. Otol. 83, 769~776, 1974.

- 6) Hayata, Y. et al : Experimental central type lung cancer induced in Beagles : Clinical applications for diagnosis and treatment using hematoporphyrin derivative and laser photoradiation. 11nd World Conference on Lung cancer, abstracts, 30, 1980.
- 7) Ontani, T. et al : Experiments on tumor vesection by laser surgery via the fiberoptic bronchoscope. 2nd World Congress for Bronchology, 75, 1980.
- 8) Dumon, J. F. et al.: Endoscopic fiber irradiation of tracheo bronchial stenosis. 2nd World Congress for Brouchology, 76, 1980.
- 9) 鈴木正根、他：内視鏡ホログラフィ撮影の試み、第3回医用レーザー研究会論文集、7～9、1979。
- 10) 鈴木正根、他：ホログラフィック・ステレオグラムによるX線像の立体視。第3回医用レーザー研究会論文集、29～31、1979。