

# 転移性肺腫瘍に対する Nd-YAG あるいは半導体レーザーを用いた肺部分切除術

Partial Lung Resection by Nd-YAG or Diode Lasers for Pulmonary Metastases

小檜山律<sup>1</sup>・阿部典文<sup>1</sup>・石原照夫<sup>2</sup>・松谷章司<sup>3</sup>・石田博徳<sup>4</sup>  
岡田晋一郎<sup>4</sup>・長野 真<sup>4</sup>・目黒浩昭<sup>4</sup>・宮田道夫<sup>4</sup>

**要旨**：転移性肺腫瘍の肺部分切除術にレーザー（Nd-YAG および半導体レーザー）を使用した。1995 年以来 23 例（37 病変）に応用した。1～46 カ月（平均 21 カ月）の観察期間で、断端再発は認めなかった。手術時間、出血量からは、やや手術侵襲は大きくなるものの、局所コントロールに関しては、stapler を用いる一般的方法（胸腔鏡手術も含む）と比較し、有意に優れていた。その理由として①腫瘍から一定の距離をとって、必要十分な切除ができる、②切除断端の病理検索が容易、③レーザーそのものの殺細胞効果等が挙げられる。切離面の組織学的検索で、約 2.5mm の不可逆性壊死性変化が観察されている。さらに残存肺の変形をきたさないため、肺機能温存にも有用であった。レーザーによる部分切除術は、局所コントロールと肺機能温存の双方を満足させる優れた方法と考えられる。なお今後は半導体レーザーが Nd-YAG レーザーにかわって用いられる傾向になると思われる。

〔肺癌 40(1): 39～44, 2000, JJLC 40: 39～44, 2000〕

**Key words** : Metastatic lung tumor, Partial lung resection, Nd-YAG laser, Diode laser, Local recurrence

## はじめに

転移性肺腫瘍の手術の際にもっとも考慮すべき問題は、十分な局所コントロールをはかることと、残存肺機能を可能な限り温存することである。本症に対する術式として、われわれは肺部分切除術を基本としている。部分切除術では、現在 stapler を用いる方法が一般的と思われるが、stapler は、上記、特に局所コントロールの点からは不確実である。その欠点を解消するため、われわれは、レーザーを用いた術式を試みてきているが、今回その成績をまとめたので報告する。なお使用したレーザーは、1998 年までは Nd-YAG レーザー（MYL-3, オリンパス光学工業）、1999 年から現在までは半導体レーザー（UDL-60, DIOMED LIMITED 社）である。

## 対 象

1995 年 7 月以降の転移性肺腫瘍の手術のうち葉切 12 例、区切 4 例を除いた 33 例に部分切除術を施行した。そのうち 23 例には切除にレーザーを使用した。原発巣の内訳は、結腸癌 9、肺癌 6、直腸癌 3、腎盂癌 2、腎癌、子宮平滑筋肉腫、胸壁滑膜肉腫各 1 であった。一手術あたり

の切除された病変数は、一カ所 11、二カ所 10、三カ所 2 で全部で 37 カ所であった。両側にまたがる症例はなかった。腫瘍径は、5～50mm、平均 15.2mm だった。この 23 例、37 病変を対象とした。

## 手術方法

肺は虚脱させずに通常換気（15～18cmH<sub>2</sub>O）とし、腫瘍の後面をすくうように支持系をかける。まず接触型レーザーを用い、腫瘍縁から約 10mm の距離をとって、出力 25W で直視下にくりぬくように部分切除する。その際、腫瘍から等距離で切離していけるよう支持系を適宜牽引する（Fig. 1）。径 1mm 以上の細気管支、径 2mm 以上の血管は可能な限り結紮する。その後切離面を、非接触型レーザーを用い、出力 50W、約 2cm はなして非集光照射する。切離面には fibrin glue を噴霧し、原則として胸膜は合わせない（Fig. 2）。胸膜から 20mm 以上深部に存在する腫瘍は、表面の胸膜を腫瘍近傍まで切開して両開きにし、その面を仮の胸膜面とみなして上記方法を行う（Fig. 3）。なお Nd-YAG レーザーと半導体レーザーで出力、手順等使用方法に違いはなかった。

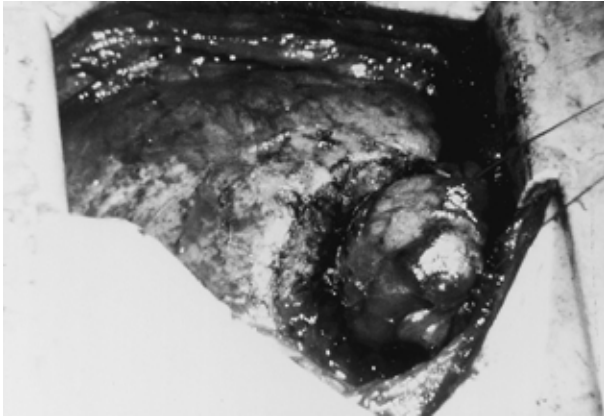
## 結 果

### 1. 手術成績

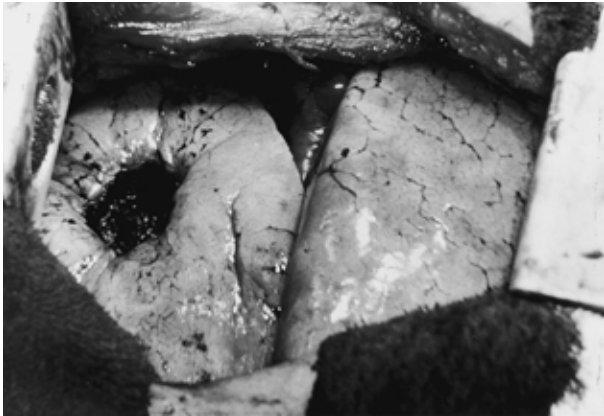
23 例中生存は 20 例（担癌 4、非担癌 16）であるが、1～46 カ月（平均 21 カ月、24 カ月以上経過は 8 例）の経

1. NTT 関東病院呼吸器センター外科  
2. 同 呼吸器センター内科  
3. 同 病理診断科  
4. 自治医大大宮医療センター外科

**Fig. 1.** Intraoperative findings. Retracting stay suture, and the incision line 10 mm from the tumor.



**Fig. 2.** Intraoperative findings. Excision has been finished. The incised pleura is left open.



過観察期間中、CTによる追跡では断端再発は一例も認めていない。死亡の3例は全例全身転移で、それぞれ6,10,13カ月で死亡した。不明の1例を除き、2例では断端再発は認めなかった。

## II. 手術侵襲

①手術時間：1時間40分から6時間25分、平均3時間38分であった。2時間以内4例、2~3時間5例、3~4時間6例、4時間以上8例。3時間以内は9例(39.1%)にすぎなかった。しかし3時間以上を費やした14例のうち6例は、再開胸による癒着剥離や、他部位に他術式を併用した例であった。

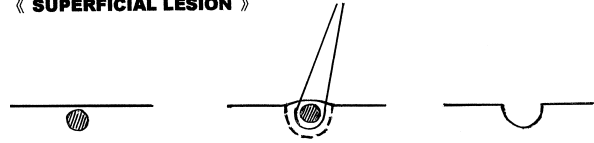
②出血量：100g以下7例、100~200g4例、200~300g2例、300~500g4例、500g以上6例と、300g以下は13例(56.5%)、胸腔鏡下部分切除術でおおむね許容されるであろう100g以下は7例(30.4%)にすぎなかった。しかし手術時間同様300gを越える出血量10例のうち6例は、癒着剥離や他術式併用の影響を受けていた。

③ドレーン抜去までの期間 (Fig. 4): 肺瘻が停止しド

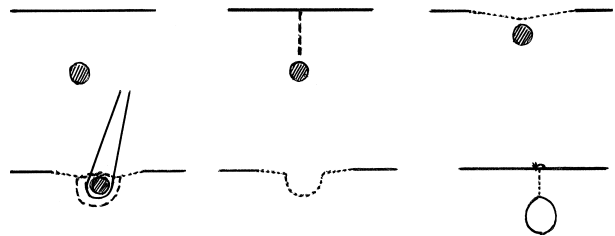
**Fig. 3.** If a lesion is situated deeply, the lung is incised down toward the lesion, and then a circumscribing incision is made.

## Schema of Operative Procedure

### 《 SUPERFICIAL LESION 》

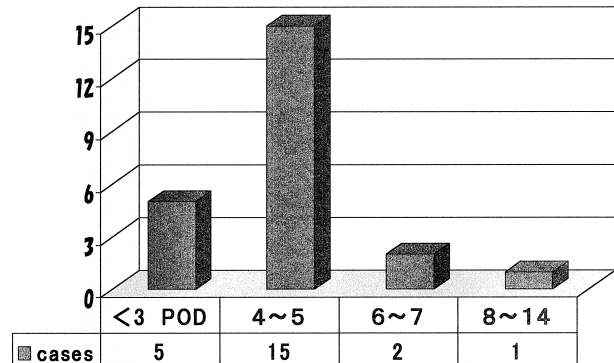


### 《 DEEP SEATED LESION 》



**Fig. 4.** Chest tubes are usually removed within 5 POD.

## Duration of postoperative chest tube drainage

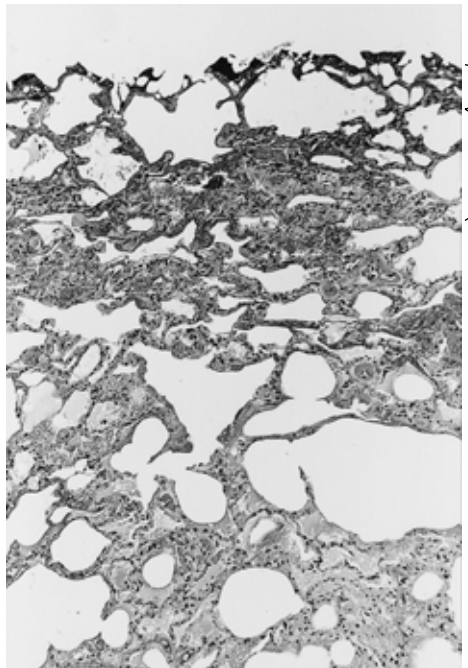


レーンが抜去されるまでの期間は、3日以内5例、4~5日15例、6~7日2例、8~14日1例と、5日以内に20例(87.0%)が抜去されていた。

## III. 組織学的変化

レーザー切離面の組織学的変化を観察した。その変化は2層に区別された (Fig. 5)。外層は約1mmで、完全に炭化、破壊されていた。内層は約3mmで、変性・壊死層を形成していた。核は膨化・濃縮から消失に到った。肺胞腔には血液を混じた滲出液が認められた。その内側は、レーザーの影響が及ばない正常構造であった。これらの組織学的変化は、切離面に露出している気管支や血管に沿って、さらに深部にまで及んでいた (Fig. 6)。また腫瘍組織自身に対しても、レーザーによる組織変化を観察したが、正常肺と同様に2層に区別される変化を示した。

**Fig. 5.** Histological findings of the cut surface that had been exposed to the laser. The outer layer is completely charred and the inner layer consists of degenerative or necrotic tissue in which cells have undergone irreversible change.



Charring layer  
Degenerative or necrotic layer

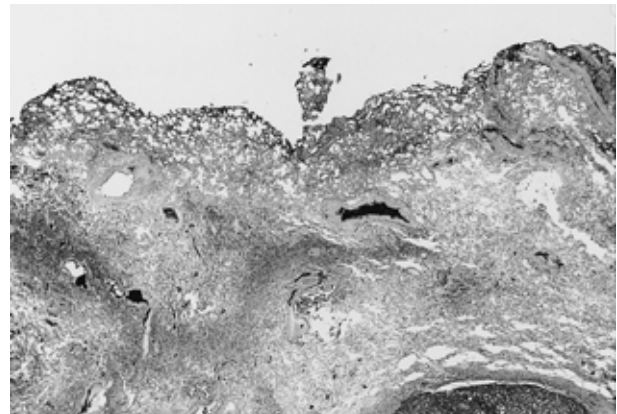
## 考 察

転移性肺腫瘍に対する手術適応については近年積極的になりつつあるが、術式は一定していない<sup>1)</sup>。原発性に準じて肺葉切除術を標準術式とすべきとの考え<sup>2)</sup>がある一方、転移である以上根治術とはいえないので、肺機能の温存を考慮した部分切除術がよいともいわれる。現在では、胸腔鏡を利用し、低侵襲性をさらに追求した部分切除術も多く施行されている<sup>3)</sup>。肺の部分切除には stapler が用いられることが多く、特に胸腔鏡手術の一般化に伴って、stapler の必要性はさらに増してきている。

しかし stapler を用いた部分切除術には、大きく分けて二つの欠点がある。切除断端再発の頻度が高いことと、切除部位、個数、大きさによっては、残存肺が変形することである。これら stapler の欠点を解消する目的で、われわれは 1995 年 7 月以来レーザーを用いた部分切除術<sup>4)-9)</sup>を試みている。

切除断端再発の頻度については、30～50% 前後の再発率を挙げる報告<sup>4)10)-12)</sup>が多い。われわれも 33 例の部分切除術のうち stapler を用いて行った 10 例中 4 例(40%)に断端再発を認めた。しかし、同時期にレーザーを使用した 23 例では、現在のところ最長 46 カ月、平均 21 カ月、死亡した不明の 1 例(3 カ所)を除き、22 例(34 カ所)に

**Fig. 6.** Bronchioles and vessels are more extensively and deeply affected by the thermal effects of the laser than other alveolar tissue.



は局所再発は経験していない。坂尾ら<sup>4)</sup>も、stapler 群では 27 例中 14 例(51.4%)に断端再発をみたのに対し、Nd-YAG レーザー群では 29 例中 1 例(3.4%)にすぎなかったと、レーザーを用いることの有用性を報告している。

局所再発を防止できる理由としては、次の三点が考えられる。①レーザーでは、腫瘍を直視しながら、腫瘍縁からほぼ等距離を保って切除できる。切離は自由自在の曲面で行うことができ、電気メスのような切離面の变色も認められないため、切離線が腫瘍に不用意に近接することがない。一方 Stapler では、直線的に切除されるため、腫瘍中枢側の切離線が予想以上に腫瘍に近接し、直視下に切除できないため、腫瘍辺縁との余裕の有無が保証できない。②stapler では、切除標本の断端が stapler 自身で閉鎖されるために、断端の組織学的検索が困難であるのに対し、レーザーでは断端に障害物がなく、迅速診断が可能で、必要なら追加切除も容易である。③レーザーそのものの殺細胞効果<sup>13)</sup>。われわれは、レーザー切離面を組織学的に検討し、厚さ 1mm の炭化層、厚さ 3mm の変性・壊死層を観察した。後者の末梢側半分は、核もほとんど消失し不可逆的变化と考えられるため、炭化層とあわせ、少なくともレーザー切離縁から 2.5mm の範囲の細胞は死滅するものと予想される。さらに肺胞という空気のバリアにさらされない気管支や血管に沿っては、さらに深部にまでその影響は及んでいた。この事実も、もし肉眼的には確認しえない近傍へ撒布された腫瘍細胞が存在した場合には、断端再発の防止に特に有用<sup>14)</sup>と考えられる。レーザー切離面の組織学的変化については、非接触型の照射のみではあるが、Moghissi ら<sup>15)</sup>も報告している。彼らはその変化を、表層から蒸散層、炭化層、完全凝固壊死層、不完全凝固壊死層の 4 層に分類した。蒸散層の出現の有無は出力によるとしている。われわれの区分の、外層が前二者に、内層が後二者に相当するものと考えられる。さらにこのような層別変化は、電気メ

スを用いての切離では認められない。

残存肺の変形については、stapler では、①切離面を強引に閉鎖してしまうため、残存肺の膨張が得られにくく、②直線的に切除するため、胸膜面での切除範囲が思いのほか大きくなってしまふ。特に複数カ所の切除を必要とする場合には、それぞれの切除部分が絡み合つて、意外なほどの肺容量の減少や残存肺の捻れや歪みを生じさせてしまふ。実際われわれも同一肺葉内で三カ所を stapler で切除した際、残存肺の変形が高度で葉切にきりかえざるを得なかった苦い経験がある。これに対し、レーザーを用いて肺をくりぬくように切除すると、必要充分量の切除ですますことができる。また切除面を縫合しないので、他の胸膜面には影響を及ぼさず、残存肺は変形することなく、加圧により術前と同じく胸郭にフィットするが、これは術後呼吸機能に対し有利に働くものと思われる。レーザー手術の前後での呼吸機能について、LoCicero<sup>7)</sup>は、努力肺活量・1秒量の平均が術前 2.4L・1.7L であったのに対し、術後はそれぞれ 2.2L・1.5L の低下にとどまったとし、宮元<sup>8)</sup>は、術前に対する術後の努力肺活量・1秒量の割合をそれぞれ 89.8%・93.7% と報告し、ともに呼吸機能への影響は軽微と結論している。しかし胸腔鏡下に施行する stapler 法との比較は、われわれもデータを持っておらず、文献的にも見出せなかった。今後の検討を待ちたい問題である。

一方この術式の欠点としては、①レーザーという設備を要す、②手術侵襲がやや大きくなる、③肺瘻が持続する可能性がある、④原則として胸腔鏡下には行えないことなどが挙げられる。①については、半導体レーザーを用いることでかなりその負担は軽減してきている(後述)。②については、確かにわれわれの検討でも、手術時間が長く、出血量が多くなつたが、本術式に慣れるに従い改善してきている。しかし特に胸腔鏡下部分切除術と比較すると、侵襲が大きくなるのは避けられない。③については、経験した例の 87.0% が 5 日以内にドレーンが抜去されており、これは通常の肺葉切除術となら差を認めなかった。レーザーと fibrin glue とを併用することで、胸膜を閉じあわさなくても肺瘻には充分に対処できた。④については、本術式が基本的に肺を虚脱させない状態でレーザーの操作を行うために、胸腔鏡下にこれを行うのは困難かと思われる。胸膜表面に近い小さな腫瘍に対してのみは、胸腔鏡を試みても良いかもしれない。しかし胸腔鏡の低侵襲性に必要以上にとらわれて、先に述べた手術の本質を見逃してはいけないと考える。

われわれは本術式に「Nd-YAG」と「半導体」という二種類のレーザーを使用した。1998 年までが前者、1999

年以降後者を用いている。これら二つのレーザーは、波長もそれぞれ 1064nm、864nm と近く、生体組織に対するレーザー光の吸収特性は変わらない。Judy<sup>16)</sup>は、軟部組織に対する影響、効果には差がないと報告している。しかし後者は前者に比べ、小型・軽量・安価であり、通常の 100V の電源で使用できるという圧倒的な利点がある<sup>17)</sup>。最近まで半導体レーザーは高出力が得られず、外科の領域ではなかなか臨床に応用できずにいたが、本術式に用いたレーザーは 60W までの出力が確保され、充分に使用し得た。今後はその利便性が発揮され、半導体レーザーの使用頻度がますます増加していくものと思われる。

レーザーの照射法としては、組織に接触させて電気メスのように切離をすすめる方法と、距離を置いて組織の面に向かって照射する方法とがある。雨宮<sup>14)</sup>によれば、止血能、気漏防止能、血管・細気管支凝縮能、さらに切離面の熱変性壊死深度などは後者の方が優れているという。その特性を理由に非接触型による非集光照射をすすめる報告<sup>5)-7)</sup>もあるが、肺切離能に関しては前者の方がシャープであり、切離方向の細かな修正も容易である。それゆえわれわれは、宮元<sup>8)</sup>、桑原<sup>9)</sup>と同様に、まず前者の接触法でくりぬくような部分切除を行い、その後切離面に後者の非接触照射を追加して、先に掲げたすべての点を補強している。しかし接触法は、切離面の出血や気漏が多くなるので、径 1~2mm の血管や気管支はなるべく結紮する。その後に追加する非接触照射でコントロールは可能ではあるが、切離面に生じた血液は、レーザー光を吸収して、その切離・止血効果を低下させ、多量の空気の「アワ」は、術野をおおって肉眼的判別を困難にさせるので、とりあえず結紮しておく方がよいと思われる。やや手間はかかるが、この接触・非接触の組み合わせが合理的かと考えている。

## 結 語

転移性肺腫瘍に対して 1995 年以来レーザー (Nd-YAG および半導体) を用いた肺部分切除術を好んで施行しているが、以下の結論を得た。

①術後観察期間が最長 46 カ月ではあるが、断端再発を認めていない。

②手術はやや煩雑とはなるが、術後肺瘻をはじめ臨床問題が生じなかった。

③レーザーによる切離縁の組織変化は、肺泡領域では炭化層、壊死・変性層を含め約 4mm に及んだ。

④局所コントロール、残存呼吸機能の温存の両面から、肺部分切除の際のレーザーの使用は合理的と思われた。

## 文 献

- 1) 小山 明 : 特集 : 転移性肺腫瘍によせて 転移性肺腫瘍に対する手術適応と術式 . 日胸 55 : 689 691, 1996.
- 2) Nakagawa K : Surgical treatment of metastatic lung tumour. Principle of Lung Cancer Surgery 3 : 50 65, 1991.
- 3) 白日高歩, 白石武史, 川原克信, 他 : 転移性肺腫瘍について . 日胸 57 : 11 15, 1998
- 4) 坂尾幸則, 宮元秀昭, 田中真人, 他 : 転移性肺腫瘍の手術 術後局所(断端)再発からみた Nd-YAG レーザー使用による肺部分切除の効果 . 日呼外会誌 8 : 686 691, 1994.
- 5) Kodama K, Doi O, Higashiyama M, et al : Surgical management of lung metastases. Usefulness of resection with the neodymium : yttrium-aluminum-garnet laser with median sternotomy. J Thorac Cardiovasc Surg 101 : 901 908, 1991.
- 6) Fanta J, Rehak F, Horak L, et al : Open lung surgery with Nd-YAG laser. Lasers in Medical Science 4 : 13 16, 1988.
- 7) LoCicero J, Frederiksen JW, Hartz RS, et al : Laser-assisted parenchyma-sparing pulmonary resection. J Thorac Cardiovasc Surg 97 : 732 736, 1989.
- 8) 宮元秀昭, 正岡俊明, 早川和志, 他 : Nd-YAG レーザーを用いた転移性肺腫瘍の手術 . 胸部外科 45 : 56 59, 1992.
- 9) 桑原正喜, 糸井和美, 大久保憲一, 他 : Nd-YAG レーザーを用いた肺の無縫合部分切除術 . 日胸外会誌 41 : 1286 1290, 1993.
- 10) 白日高歩, 草野卓雄, 筒井正好, 他 : 転移性肺腫瘍の外科治療成績, 予後影響因子および手術法に関する検討 . 肺癌 27 : 761 767, 1987.
- 11) 呉屋朝幸, 土屋了介 : 肺転移 原発巣による治療法選択の意義 . 癌と化学療法 17 : 771 775, 1990.
- 12) 田中文啓, 北野司久, 神頭 徹, 他 : 転移性肺腫瘍に対する外科治療成績の検討 . 胸部外科 46 : 307 311, 1993.
- 13) Hayakawa K, Takizawa N, Yamada R, et al : Evaluation of the viability of malignant tumor cells scattered during Nd-YAG laser vaporization. Laser Tokyo'81 pp 11-33 34, 1981.
- 14) 雨宮隆太, 興石義彦, 松島 康, 他 : 肺外科領域におけるレーザー手術 . 手術 40 : 1255 1263, 1986.
- 15) Moghissi K, Dench M, Neville E : Effect of the non-contact mode of YAG laser on pulmonary tissues and its comparison with electrodiathermy : An anatomo-pathological study. Lasers in Medical Science 4 : 17 23, 1988.
- 16) Judy MM, Matthews JL, Aronoff BL, et al : Soft tissue studies with 805nm diode laser radiation : Thermal effects with contact tips and comparison with effects of 1064 nm Nd-YAG laser radiation. Lasers in Surgery and Medicine 13 : 528 536, 1993.
- 17) 鈴木博昭, 増田勝紀 : 高出力半導体レーザー . 医学のあゆみ 168 : 809 811, 1994.

(原稿受付 1999年11月16日/採択 2000年1月5日)

## Partial Lung Resection by Nd-YAG or Diode Lasers for Pulmonary Metastases

*Ritsu Kohiyama<sup>1</sup>, Norifumi Abe<sup>1</sup>, Teruo Ishihara<sup>2</sup>  
Shoji Matsuya<sup>3</sup>, Hironori Ishida<sup>4</sup>, Shinichiro Okada<sup>4</sup>  
Makoto Nagano<sup>4</sup>, Hiroaki Meguro<sup>4</sup>, Michio Miyata<sup>4</sup>*

- 1 ) Kanto Medical Center NTT EC Department of Respiratory Surgery
- 2 ) Kanto Medical Center NTT EC Department of Respiratory Medicine
- 3 ) Kanto Medical Center NTT EC Department of Diagnostic Pathology
- 4 ) Jichi Medical School Omiya Medical Center Department of Surgery

**Objective :** Though the use of staplers for partial lung resection in cases of pulmonary metastases is popular, a high incidence of local recurrence in such cases has been pointed out. We therefore applied a laser device instead of a stapler to resect the lesion and evaluated the rate of local recurrence between these two kinds of apparatus.

**Patients and Methods :** Since July 1995, we performed partial resection of the lung in 33 patients with pulmonary metastases. In 23 of those patients we employed an Nd-YAG or diode laser. First we incised the pleura and lung parenchyma using the Nd-YAG or diode laser in contact mode with an output of 25W. The incision line must be kept at least 10 millimeters apart from the margin of the tumor in all directions. Then in addition we performed the laser irradiation in non-contact mode with an output of 50W in order to prevent postoperative hemostasis and air leakage. The incised pleura was not sutured and the excavated lesion was left open.

**Results and Comment :** 23 patients ( 37 pulmonary lesions ) underwent the laser procedure. No local recurrence has been detected in these patients for intervals of one to 46 months( mean, 21 months ) . The reason is probably that we can ensure an adequate surgical margin, especially at the bottom of the tumor and also examine the cut surface pathologically. We can eliminate residual malignant cells by thermal effects. On the other hand, 4 of 10 patients who underwent the stapler method showed recurrence at the suture line.

**Conclusion :** Compared with the ordinary stapler method, the laser method is superior from the viewpoint of preventing local recurrence.

[ JJLC 40 : 39 ~ 44, 2000 ]

---