



Title	気管, 気管支病変に対する内視鏡的Nd-YAGレーザー治療
Author(s)	江口, 誠一; 中村, 洋; 東, 祐一郎
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1988, 48(9), p. 1153-1166
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/15280
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

気管、気管支病変に対する内視鏡的 Nd-YAG レーザー治療

山口大学医学部放射線医学教室（主任：中西 敬教授）

江口 誠一* 中村 洋 東 祐一郎

（昭和62年12月28日受付）

（昭和63年2月22日最終原稿受付）

Endoscopic Nd-YAG Laser Therapy of Tracheobronchial Lesions

Seiichi Eguchi, Hiroshi Nakamura and Yuichiro Higashi

Department of Radiology, Yamaguchi University School of Medicine

Research Code No. : 609

Key Words : Lung cancer, Tracheobronchial lesions,
Bronchoscopy, Nd-YAG laser, Radiation therapy

After performing preliminary animal experiments, we made clinical use of Nd-YAG laser in 26 patients with tracheobronchial lesions during the period from October 1982 to June 1987.

Nine patients with newly diagnosed primary lung cancer were initially treated with Nd-YAG laser which attempted to vaporize the intraluminal tumor. Five patients had a greater than 50 percent reduction of the intraluminal volume of tumor. Although all these nine patients received conventional radiotherapy with or without chemotherapy after the laser treatment, only two patients showed satisfactory improvement and survived. These two, still alive now with no recurrence, were the patients who had central type early lung cancer among those nine.

Thirteen patients with recurrent lung cancer or metastatic cancer from other organs, who had received radiotherapy, chemotherapy or surgery previously, were treated with Nd-YAG laser for palliative relief from central airway obstruction or stenosis. Eight patients obtained successful reestablishment of airway patency, and six of whom obtained immediate clinical improvement. The remaining two patients did not improve clinically; one due to lymphangitis carcinomatosa of the lung and the other presumably due to chronic obstructive lung disease.

Two patients with tracheal granuloma were treated easily without any hemorrhage and one patient with recurrent hemoptysis obtained immediate and lasting hemostasis with the laser treatment.

Two fatal complications occurred among the overall group of 26 patients. One died of bronchopneumonia 7 days after the laser treatment, and the other died of acute respiratory failure within 12 hours of laser treatment. There was no serious hemorrhage or perforation encountered in our cases.

Laser therapy is extremely beneficial for the palliation in terminally ill patients with obstructing lesions of airway and also useful for the removal of granuloma and for hemostasis. Furthermore, laser therapy combined with radiotherapy may be curative in central type early lung cancer.

I. 緒 言

レーザー(LASER)は、Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation の頭文字から

*現在 岡村病院放射線科

成る合成語であるが、1960年 Maiman がルビーレーザーの発振に成功して以来、医学の分野にも広く応用されるようになった¹⁾。

呼吸器領域で最初に臨床応用されたのは CO₂ レーザーで、1974年 Strong ら²⁾が気管内乳頭腫の切除例を報告し、1976年には Laforet ら³⁾が粘表皮癌の治療を行っている。しかし、CO₂ レーザーは波長が10,600nmと長く、導光ファイバーを通すことができないため、硬性気管支鏡下に施行されたもので、その使用には自ら制約があった⁴⁾。1975年 Frümorgen ら⁵⁾が argon レーザーを用いて消化管出血の止血例を報告し、1977年 Kieffhaber ら⁶⁾が Nd-YAG レーザーを用いて消化管出血に対する多数の止血例を報告して以来、消化器領域においてレーザー内視鏡法が確立されるに至り^{7,8)}、呼吸器領域でも急速にレーザーの臨床応用が拡大された。

Nd-YAG (Neodymium-Yttrium-Aluminium-Garnet の略) レーザーは波長1,060nmの連続波を発振し、高出力で凝固能に優れているため、腫瘍の焼灼、昇華や出血性病巣の止血などに利用され、1979年 Godard ら⁹⁾の気管支腫瘍に対する内視鏡下 Nd-YAG レーザー治療の報告以後、多くの施設で臨床応用が施行されてきた。著者らも、1982年6月から基礎的検討を行い、同年10月から臨床応用を試みてきたので、その成績を呈示し、気管、気管支病変に対する有用性について検討した。

II. 基礎的検討

1. 摘出牛肝への照射

照射条件、照射方法の違いによる照射部の組織反応を比較検討するため、摘出牛肝に約1cmの距離から Nd-YAG レーザーを照射し、肉眼的ならびに組織学的变化を観察した。Fig. 1a は照射ジュール (J) を同一として Watt (W) 数を変化させたもので、W 数の大きい高出力の方が炭化の進行が大きく、深達度も強いことがわかる。Fig. 1b は連続照射と間歇照射を比較したもので、連続照射の方が深達度が強く、組織の欠損も大きい。炭化層の周囲にみられる凝固変性層も間歇照射に比して厚くなっている。したがって、間歇照射は凝固変性層を薄くすることの利点があ

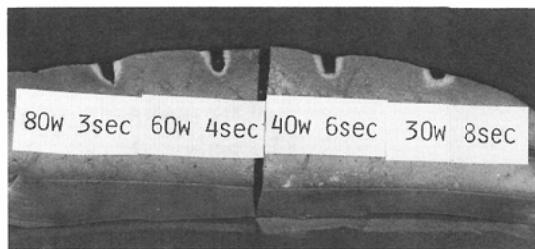
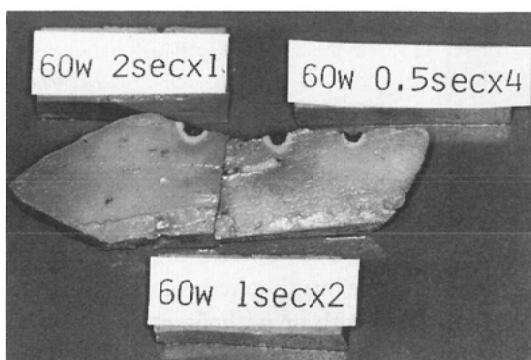


Fig. 1

a. Macroscopic view of a cow liver irradiated by Nd-YAG laser. The defects of irradiated tissue are larger at high power settings of wattage than those at low power settings of wattage with the same total joules.



b. Macroscopic view of a cow liver showing the difference between the changes of tissue irradiated with continuous laser exposures and those with intermittent laser exposures. The defects of irradiated tissue are larger in continuous exposures, while the coagulated layer surrounding the carbonized layer is thin in intermittent exposures.

る。すなわち、大きな腫瘍を効率よく照射する場合には、高出力、連続照射が有効であるが、腫瘍の深層を照射する場合や軟骨を欠く膜様部あるいは区域支などの末梢側の気管支に存在する腫瘍の照射では、穿孔を避けるため周辺への影響の少ない間歇照射の使用が望ましい¹⁰⁾と思われる。

2. 雜種成犬の正常気管支壁への照射

雑種成犬を静脈麻酔下で挿管した後、内視鏡下で、気管支壁に約1cmの距離から照射し、肉眼的、組織学的变化ならびに経時的变化を検討した。気管支壁に照射すると、肉眼的には白濁と膨化を経て炭化を生じる。炭化した部は火花と煙を出して

燃焼し、組織は瞬時に消滅して炭化物に被れた潰瘍を形成する。さらに照射を続けると穿孔を生じるが、大血管に穿孔すれば大出血をきたし死に結びつくため、気管支壁外の血管の走行を考慮し、照射の方向に注意する必要がある。連続照射と間歇照射の比較では、連続照射の方が深い潰瘍を形成するとともに周囲に広範囲の発赤帯が認められ、熱伝導による変化と考えられた。悪性腫瘍の治療には、この熱伝導を利用した腫瘍細胞の熱変性も期待できると思われた。正常気管支に形成された潰瘍は2~3週後には瘢痕治癒しており、組織学的にも肉芽腫による盛り上がりは認めていない。次いで、組織の色調の違いによる効果を比較するため、正常気管支と生検鉗子で出血させた気管支を同一の条件(60W, 1秒)で照射した。正常気管支では組織の欠損は軟骨の内側に留まっていたが、出血した気管支では深い潰瘍を形成し、組織学的にも軟骨の欠損が認められた。発赤あるいは出血した上皮では、レーザー光が良く吸入され、より早く黒化が生じるためと考えられている。正常気管支への誤った照射は絶対に避けねばならないが、照射部の組織の色調も考慮する必要がある。

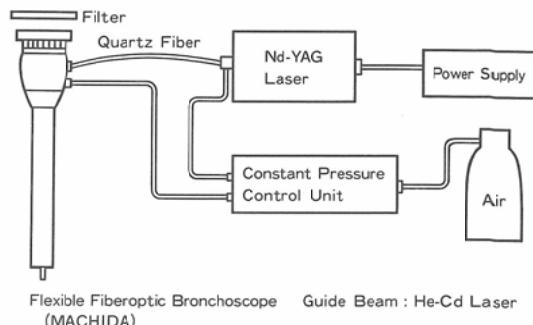
3. 基礎的検討から臨床応用への考察

以上の基礎的検討の結果から、本法の臨床応用においては、装置の熟知、肺区域解剖の理解^{10,11)}と照射手技の十分な体得が大切であるが、照射条件、照射方法により効果が異なることを念頭に置き、腫瘍の占居部位、大きさ、色調などを考慮する必要がある。また、照射に伴い発生する煙の吸入や内視鏡挿入による低酸素血症などの合併症も予想され、患者への酸素の投与や発生する煙の吸引、排除が望ましいと思われた。

III. 臨床的検討

1. 装置および方法

レーザー発生装置はAloka LMY-1001で、一部の症例ではMBB社Medilas YAGレーザーを用いた。国産機種であるLMY-1001については大下ら¹²⁾が既に報告しているが、自動停止装置などの種々の安全機構を備えており、最大出力は100Wで、ガイド光は青色のHe-Cdレーザーを用い



Flexible Fiberoptic Bronchoscope Guide Beam : He-Cd Laser (MACHIDA)

Fig. 2 System of the Nd-YAG laser treatment

ている。気管支ファイバー(MACHIDA)は外径6.5mmで、導光ファイバーを誘導する鉗子孔(径2.9mm)の他に排気孔(径1.0mm)を有している。Fig. 2に著者らの照射システムを示すが、導光ファイバーの先端から2l/minの流量で圧縮した空気を送り、同量の照射時に発生する煙を自動送排気装置(Aloka)を用いて気管支ファイバーの排気孔から吸引、排除した。照射は全例局麻下で、通常の気管支鏡検査と同様の前処置、麻酔方法を用い、気管チューブを挿入した上で施行した。

2. 対象症例

1982年10月から1987年6月までの期間に、気管から区域気管支までに病巣を有する肺癌19例、甲状腺癌と食道癌の気管浸潤各1例、胃癌と直腸癌からの気管支壁転移各1例、気管支アミロイドーシス1例および気管腺様囊胞癌と気管食道瘻の術後肉芽腫各1例の26例を対象とし、計52回のレーザー照射を施行した。年齢は36歳から79歳に分布し、平均66歳で、性別は男性22例、女性4例であった。

3. 結果

Table. 1に肺癌初回治療例の9例を示したが、70歳以上の高齢者が大多数であった。性別は全例男性で、病理組織型は扁平上皮癌7例、大細胞癌1例、不明1例であった。臨床病期はI期2例、II期2例、III期3例、IV期2例で、腫瘍の占居部位は主気管支から葉支に及んでいた。全例で気道内腔に突出する腫瘍を焼灼、昇華することを主な目的としたが、照射回数は1~5回、照射量は495~8,480Jであった。効果の判定は、気道内腔に

Table. 1 Summary of cases of primary lung cancer initially treated with Nd-YAG laser

Case. No.	Age	Sex	Diagnosis	TNM	Site	Purpose of procedure	No. of sessions	Watts	Sec	Total joules	Effect	Combined therapy	Survival after therapy	Current status
1	75	M	Squamous cell ca.	T ₂ N ₁ M ₀	LMSB and LLL	Vaporization of tumor	5	40-60	0.5-1.0	8,480	(-)	Rad(60Gy) +Chemo.	12 mo	Dead
2	73	M	Squamous cell ca.	T ₂ NoM ₀	LMSB and LUL	Vaporization of tumor	1	30-50	0.5-1.0	825	(+)	Rad(60Gy) +Chemo.	52 mo	Alive
3	56	M	Squamous cell ca.	T ₂ N ₂ M ₀	LMSB and LLL	Vaporization of tumor	1	30-40	0.5-1.0	840	(+)	Rad(50Gy) +Chemo.	12 mo	Dead
4	70	M	Squamous cell ca.	T ₃ N ₁ M ₀	RUL	Vaporization of tumor	2	20-60	0.5-1.0	3,180	(+)	Rad(60Gy) +Chemo.	14 mo	Dead
5	65	M	Squamous cell ca.	T ₂ N ₂ M ₀	LMSB and LLL	Vaporization of tumor	1	30-60	1.0	1,440	(-)	Rad(50Gy) +Chemo.	36 mo	Dead
6	70	M	Squamous cell ca.	T ₂ NoM ₀	TI and RLL	Vaporization of tumor	1	40	0.5-1.0	1,140	(+)	Rad(70Gy)	37 mo	Alive
7	79	M	Unknown	T ₂ N ₂ M ₁	LMSB and LLL	Vaporization of tumor	1	40-50	0.5-1.0	2,170	(-)	Rad(26Gy)	2 mo	Dead
8	72	M	Large cell ca.	T ₂ N ₂ M ₁	LUL	Vaporization of tumor	2	40-60	1.0	3,020	(+)	Rad(38Gy)	3 mo	Dead
9	77	M	Squamous cell ca.	T ₁ N ₁ M ₀	RUL and TI	Vaporization of tumor	1	50	0.5-1.0	495	(-)	Rad(53Gy) +Chemo.	13 mo	Dead

TI:Truncus intermedius, RUL:right upper lobe bronchus, RLL:right lower lobe bronchus,
LMSB:left main stem bronchus, LUL:left upper lobe bronchus, LLL:left lower lobe bronchus,
Rad.:radiation therapy, Chemo.:chemotherapy

突出する腫瘍をほぼ完全に焼灼できたものを(+)、腫瘍の大きさが50%以上減少したものを(+)、50%以下を(-)としたが、9例中5例で(+)以上の効果を得た。効果が(-)であった4例のうち2例は壁外進展の強い症例であった。他の2例のうちの1例(Case. No. 1)は著者らの経験した最初の症例で、主気管支を完全閉塞する腫瘍のため末梢気道の把握が困難で十分な照射が施行できず、1例(Case. No. 9)は部位的にレーザー光の照射が困難な症例であった。レーザー照射後、

全例に放射線療法を追加し、6例には化学療法も併用したが、50Gy以上の放射線療法を施行した7例では4例にCRを得たにすぎず、予後をみてても、2例は52ヵ月と37ヵ月現在生存中であるが、6例は14ヵ月以内に、1例は36ヵ月で死亡している。長期生存中の2例は肺門型早期肺癌と考えられる症例で、レーザー照射後の残存する腫瘍に対して放射線療法を追加し、腫瘍の完全消失を得た。36ヵ月後に死亡した症例は、レーザー照射は無効であったが、その後の合併療法によりCRに導入

Table. 2 Summary of cases of recurrent lung cancer treated with Nd-YAG laser

Case. No.	Age	Sex	Diagnosis	Site	Purpose of procedure	No. of sessions	Watts	Sec	Total joules	Effect	Survival after therapy	Current status
10	72	M	Large cell ca.	LMSB	Palliative widening of airway	1	40-70	1.0	2,800	(-)	7 days	Dead
11	57	M	Squamous cell ca.	R and L MSB	Palliative widening of airway	11	40-80	0.5-2.0	44,820	(+)	7 mo	Dead
12	63	M	Adeno ca.	RMSB	Palliative widening of airway	3	40-90	1.0	10,360	(-)	3 mo	Dead
13	65	M	Squamous cell ca.	RMSB	Palliative widening of airway	1	40-60	0.5-1.0	1,620	(+)	3 mo	Dead
14	73	M	Squamous cell ca.	LMSB	Palliative widening of airway	1	50	0.5-1.0	790	(-)	7 mo	Dead
15	65	F	Squamous cell ca.	LMSB	Emergency widening of airway	1	40-60	0.5-1.0	7,400	(+)	1 day	Dead
16	58	M	Squamous cell ca.	Trachea	Emergency widening of airway	1	40-80	1.0	5,320	(-)	1 day	Dead
17	72	M	Small cell ca.	RMSB and TI	Palliative widening of airway	1	40-70	0.5-1.0	2,050	(+)	7 mo	Alive
18	58	M	Adenoid cystic ca.	LMSB	Palliative widening of airway	2	50	0.5-1.0	1,260	(+)	6 mo	Alive

RMSB:right main stem bronchus.

できたもので、14カ月後に死亡した症例もレーザー照射と放射線療法の併用療法によりCRに導入されたが、いずれも遠隔転移のため死亡した。その他の症例は、レーザー照射が無効であった症例や多少の局所効果は得られても、その後の合併療法でCRに導入できなかった症例であり、いずれも満足な予後の改善は得られなかった。

Table. 2 に肺癌再発例の9例を示した。組織型は扁平上皮癌5例、腺癌1例、大細胞癌1例、小細胞癌1例、腺様囊胞癌1例と多種多様で、全例が以前に放射線療法や化学療法を施行されている。気管及び主気管支を閉塞、狭窄する腫瘍により換気障害を呈しており、2例で救急救命的な気道開大を、7例で姑息的な気道開大を目的とした。照射回数は1~11回、照射量は790~44,820Jで、肺癌初回治療例と比較して照射回数、照射量とも多くなっている。効果の判定は、気道の開大が得られ、窒息症状や自覚症状も改善されたものを(+)、気道の開大は得られたが、症状の改善がみられなかつたものを(±)、気道の開大が得られず、症状も改善されなかつたものを(-)とした。救急救命的照射を行った2例では1例に(+)の効果を得たが、他の1例は病巣の長軸径が5cmに及ぶ高度の気管狭窄例で、照射は無効であった。姑息的な気道開大を目的とした7例では、3例で(+)、1例で(±)の効果を得たが、3例では(-)であった。(+)の効果を得たCase No. 11では両

側主気管支の狭窄に対して11回の照射を繰り返し、Case No. 17では照射により換気障害が改善され、その後の合併療法が可能となった。(+)の効果を得た症例は慢性閉塞性肺疾患を伴っており、自覚症状の著明な改善は得られなかつた。照射が無効であった3例は、閉塞部位が左主気管支の全長に及ぶ広範囲な症例と以前に2回の放射線療法を受けた腺癌例で、間質の多い組織のため高エネルギー照射を施行したにも拘らず十分に焼灼し得なかつた症例およびレーザー照射時に発生する煙の吸入で咳嗽発作が誘発され、照射が困難な症例であった。

その他の症例をTable. 3に示した。他臓器悪性腫瘍からの転移浸潤例の4例は、肺癌再発例と同様に気道開大による換気障害の改善を目的とし、効果の判定も肺癌再発例に準じたが、4例中3例で(+)以上の効果を得た。効果が(+)の症例のうち、Case No. 19では照射後換気障害が改善され、その後に放射線療法が可能となり、39カ月現在生存中である。効果が(+)であったCase No. 22は、レーザー照射と放射線療法により気道閉塞は解除されたが、胸部X線写真で癌性リンパ管炎の所見を認め、自覚症状の著明な改善は得られなかつた。

気管支アミロイドーシスの1例では、左下葉気管支に結節状隆起を認め、気管支内腔に突出する腫瘍の焼灼を施行し、肺癌初回治療例と同様の効

Table. 3 Summary of cases of other tracheobronchial lesions treated with Nd-YAG laser

Case. No.	Age	Sex	Diagnosis	Site	Purpose of procedure	No. of sessions	Watts	Sec	Total joules	Effect	Survival after therapy	Current status
19	67	M	Tracheal invasion of thyroid ca.	Trachea	Palliative widening of airway	1	40~60	1.0	2,550	(+)	39 mo	Alive
20	73	M	Tracheal invasion of esophageal ca.	Trachea and LMSB	Palliative widening of airway	1	50~60	0.5~1.0	3,540	(-)	4 mo	Dead
21	54	M	Endobronchial metastasis of rectal ca.	LMSB and LUL	Palliative widening of airway	6	20~60	0.5~2.0	11,080	(+)	6 mo	Dead
22	71	M	Endobronchial metastasis of gastric ca.	RLL	Palliative widening of airway	1	30~40	0.5	990	(+)	6 mo	Dead
23	55	F	Bronchial amyloidosis	LLL	Vaporization of tumor	2	30	0.5	740	(+)	4 mo	Alive
24	36	M	Granuloma	Trachea	Vaporization of tumor	1	40~60	1.0	3,550	(+)	36 mo	Alive
25	65	F	Granuloma	Trachea	Vaporization of tumor	1	50~70	1.0	3,400	(+)	23 mo	Alive
26	76	F	Lung ca. (Large cell ca.)	LMSB	Hemostasis	2	10~30	0.2~1.0	580	(+)	27 mo	Alive

果判定では(++)の効果を得た。現在経過観察中であるが、腫瘍の増大は認めていない。

吻合部肉芽腫による気管狭窄の2例では、1回のレーザー照射で肉芽腫を焼灼、除去できた。いずれの症例も照射時に出血をほとんど認めず、容易に気道の開大を得た。

止血を目的とした症例は1例のみであった。Case No. 26は肺癌例で、放射線療法と化学療法で腫瘍は消失していたが、左主気管支に著明な毛細血管の増生、怒張を認め、頻回に喀血した症例である。気管支動脈塞栓術も不成功で、予防的にレーザー照射を行ったが、怒張した血管は消失し、以後喀血を認めていない。

合併症としては、重篤な出血や穿孔はみられなかったが、肺癌再発例の2例にレーザー照射後の肺合併症を認めた。Case No. 10は左主気管支の完全閉塞例で、レーザー照射時に発生する煙の吸入により誘発されたと思われる健常肺の気管支肺炎のため、照射の1週後に死亡した。Case No. 15は右主気管支の閉塞と左主気管支の狭窄のため窒息状態にあった症例で、レーザー照射により気道の開大を得、一旦換気障害も劇的に改善したが、数時間後に再び呼吸不全に陥り死亡した。死亡前の気管支鏡検査では、照射部に著しい浮腫を認め、気道の開大は照射終了時と比較して著明に減少していた。

本法の対象となる症例は低肺機能例が多く、さらに、レーザー照射時に発生する煙の吸入や気管チューブ、内視鏡挿入による肺機能の悪化が予想されるため、レーザー照射前と終了後に動脈血ガス分析を施行した10例について、 PaO_2 (Fig. 3)、 PaCO_2 (Fig. 4)、 $A-\text{aDO}_2$ (Fig. 5)の変動を検討した。1回の照射量は最大5,320J、最小825J、平均 $2,580 \pm 1,535$ [SD]Jである。換気障害の軽度な症例が多いが、照射終了後には、 PaO_2 は 17.4 ± 9.3 torrの低下($p < 0.01$)、 PaCO_2 は 4.3 ± 4.8 torrの上昇($p < 0.05$)、 $A-\text{aDO}_2$ は 12.5 ± 6.8 torrの開大($p < 0.01$)が認められた。

腫瘍の照射による肉眼的および組織学的变化の検討では、腫瘍組織にレーザーを照射すると、凝固、炭化を経て、腫瘍は気化、消滅する。照射直

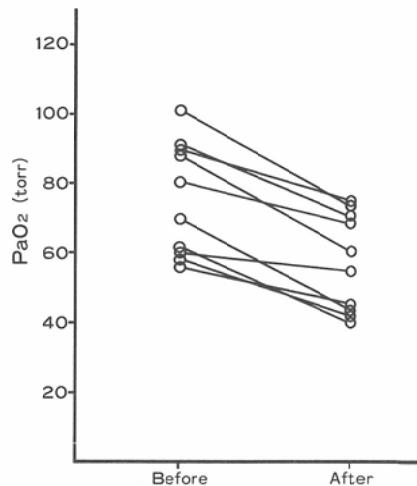


Fig. 3 Partial arterial oxygen pressure (PaO_2) before and after laser treatment

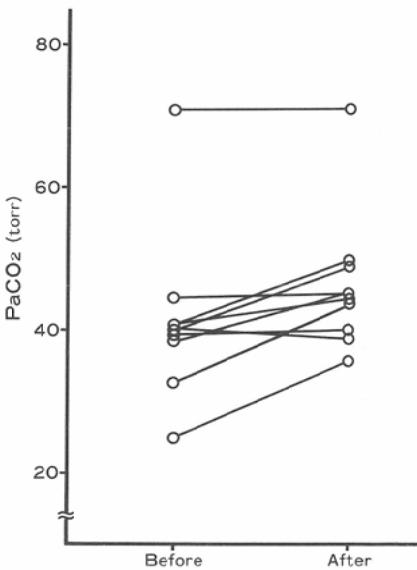


Fig. 4 Partial arterial carbon dioxide pressure (PaCO_2) before and after laser treatment

後の生検像(Fig. 6)では、表層の腫瘍組織は消失し、照射部の表面には炭化物の付着が認められ、水蒸気の消失に伴う空隙の形成が著しい。炭化層の下方の腫瘍細胞も熱変性のため核は濃縮し、核クロマチンの融解が認められ、照射部の周辺には血管の著しいうっ血がみられた。照射部の経時的变化の観察では、レーザー照射後には腫瘍表面に壞死、変性物質の付着が認められ、これらの物質

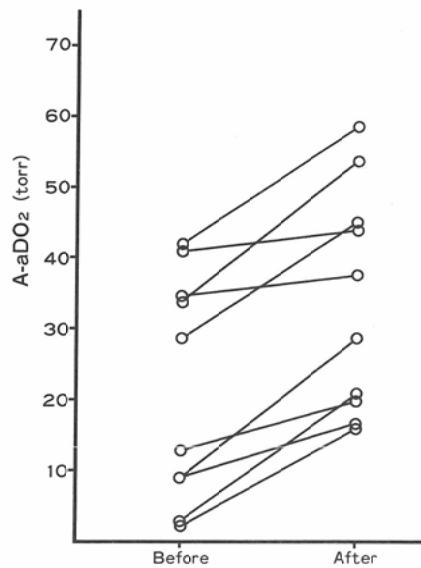


Fig. 5 Alveolar-arterial oxygen pressure difference ($A-a\text{DO}_2$) before and after laser treatment

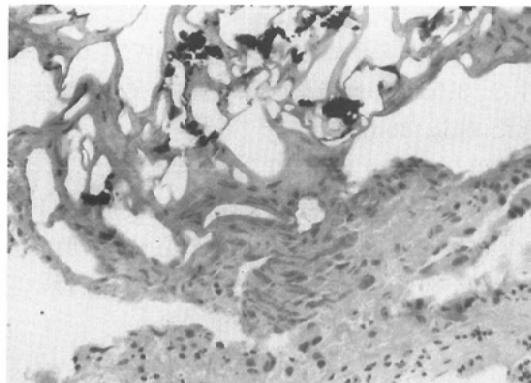


Fig. 6 Microscopic view shows the tumor tissue irradiated by Nd-YAG laser. The degenerated layer with pyknosis and nucleolar karyolysis is seen under the carbonized layer. (H. E. $\times 400$)

は腫瘍が残存する場合には長期に渡って付着していた。

4. 症例

症例 1 (Case No. 2). 原発性肺癌。

主訴は血痰で、胸部X線正面像では特に異常を指摘できない。肺門部補償フィルター使用断層像で左上、下幹分岐部に腫瘍影を認め、内視鏡像 (Fig. 7a) で左主気管支から上葉支に及ぶ腫瘍が

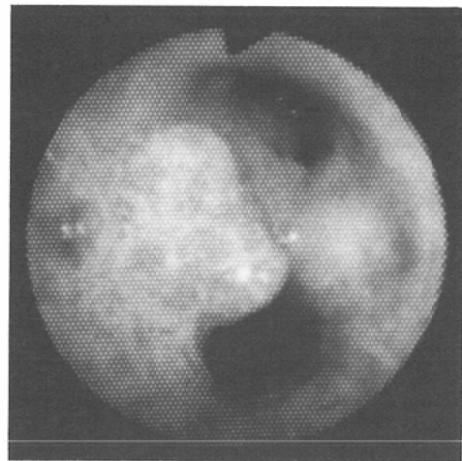
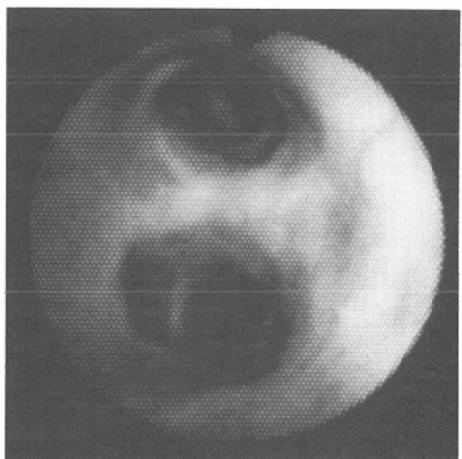


Fig. 7 Primary lung cancer in a 73-year-old male
a. Endoscopic view shows a polypoid tumor in the left main stem bronchus.



b. The tumor disappeared completely after laser and radiation therapy.

認められた。30~50W, 0.5~1.0秒の条件で、825Jの照射を行い、15MeV Linac X線にて60Gyの放射線療法を追加し、腫瘍は完全に消失した (Fig. 7b)。52ヵ月現在再発を認めていない。

症例 2 (Case No. 4). 原発性肺癌。

主訴は血痰。胸部X線正面像で右上葉の閉塞性肺炎がみられ、内視鏡像 (Fig. 8a) で右上葉支を完全閉塞する結節状の腫瘍を認めた。20~60W, 0.5~1.0秒の条件で、3,180Jの照射により腫瘍の大部分を焼灼、昇華した後 (Fig. 8b), 放射線療法を追加した。60Gyの照射で腫瘍は消失し (Fig.

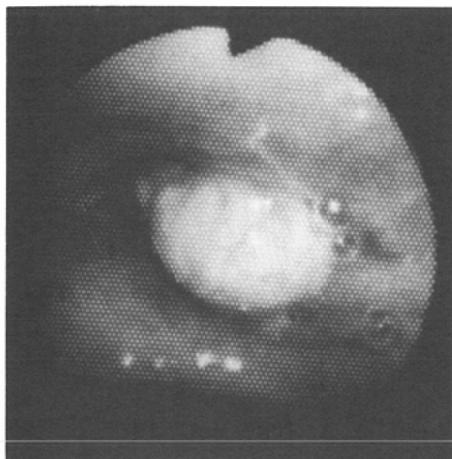
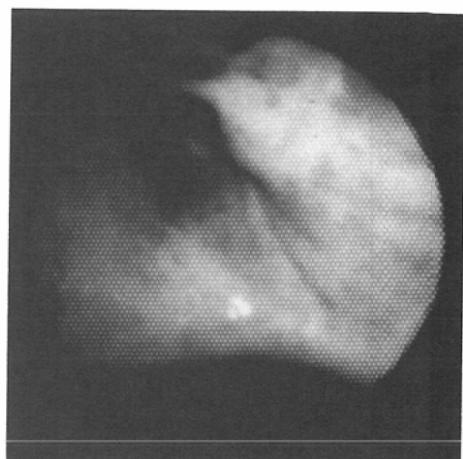


Fig. 8 Primary lung cancer in a 70-year-old male
a. Endoscopic view shows a polypoid tumor obstructing the right upper lobe bronchus.



(c)

b, c. A large part of an endobronchial tumor was vaporized with the Nd-YAG laser (b) and the residual tumor disappeared after radiation therapy (c).



(b)

8c), さらに化学療法も施行したが、レーザー照射後14カ月で遠隔転移のため死亡した。

症例3 (Case No. 11). 肺癌再発例。

呼吸困難、発熱、咳嗽および喀痰を訴えた。右主気管支の狭窄 (Fig. 9a) に対してレーザー照射を施行したが、40~60W, 1.0秒の条件で、4,230 J の照射により気道の開大が得られ、自覚症状も改善した。2週後の内視鏡像 (Fig. 9b) を示すが、右主気管支の開大が明らかである。

症例4 (Case No. 24). 肉芽腫。

気管腺様囊胞癌の術後に軽度の呼吸困難と痰の

喀出困難を訴えた。内視鏡像 (Fig. 10a) で気管吻合部に肉芽腫の形成を認め、40~60W, 1.0秒の条件で、3,550J の照射を行い、容易に焼灼、除去できた (Fig. 10b)。

症例5 (Case No. 26). 原発性肺癌。

止血を目的とした症例である。内視鏡像 (Fig. 11a) で左主気管支の毛細血管の怒張が著明である。10~30W, 0.2~1.0秒の条件で照射を行い、怒張した血管は消失した (Fig. 11b)。

IV. 考 察

気管、気管支病変に対する内視鏡的レーザー治療の最も良い適応は、腫瘍により気道が閉塞あるいは狭窄され、窒息状態にある患者で、他に有効な救急救命的手段のない場合である¹³⁾。著者らも、窒息症状を呈した肺癌再発例の2例に救急救命的照射を施行し、1例で劇的な臨床症状の改善を得た。緊急治療を必要とする高度の換気障害例に対する本法の有用性については、諸家の報告^{14)~21)}でも一致した見解である。

出血性病巣に対しても、他に止血の手段がない場合には良い適応となるが、区域支までの病巣で、内視鏡的に出血点が確認できることが必要である¹³⁾。著者らは、気管支毛細血管からの出血に対し

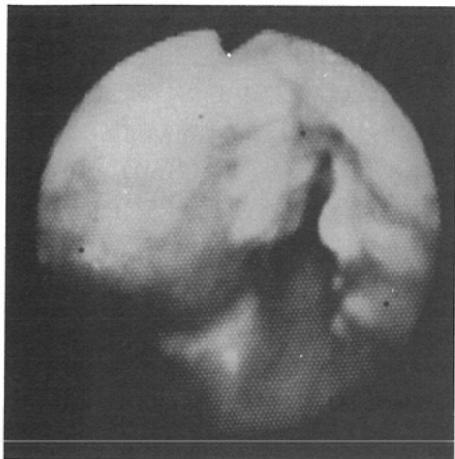


Fig. 9 Recurrent lung cancer in a 57-year-old male
a. Endoscopic view shows the narrowing of the right main stem bronchus due to the recurrent tumor.



b. The widening of the airway was obtained with laser treatment and subjective symptoms disappeared immediately.

て、10~30Wの出力を用い、予防的にレーザー照射を施行したが、極めて有効であった。腫瘍からの出血に対しては、通常、40~50W、0.5秒の照射が行われている。

区域支までの中枢側気管支に発生した気管支内良性腫瘍も良い適応とされている^{13)~15)}。本法は、副作用も少なく、完全に焼灼、昇華できるため、手術に代わる根治的治療法として利用できる。しかし、気管支鏡下での生検組織像からでも良性、

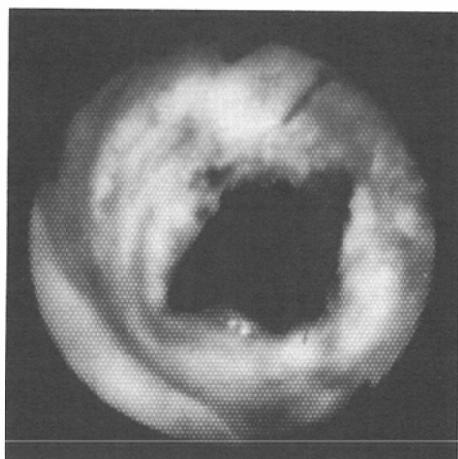
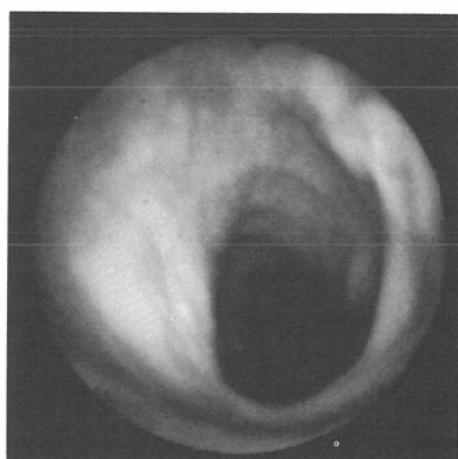


Fig. 10 Granuloma of the trachea in a 36-year-old male
a. Endoscopic view shows the stenosis of the trachea due to a granuloma.



b. The granuloma was vaporized very easily without any hemorrhage and subsequent widening of airway was obtained.

悪性の確定診断が困難な場合もあり、適応例の決定には慎重であると同時に本法施行後の厳重な経過観察が必要と思われる。

気管、気管支の吻合部肉芽腫も良い適応¹⁵⁾¹⁶⁾で、著者らも、気管腺様囊胞癌と気管食道瘻の術後の吻合部肉芽腫2例にレーザー照射を行ったが、出血もほとんど認められず、容易に焼灼、除去できた。これらの症例では、肉芽腫除去のための再手術も困難と考えられ、本法の持つ意義は極めて大

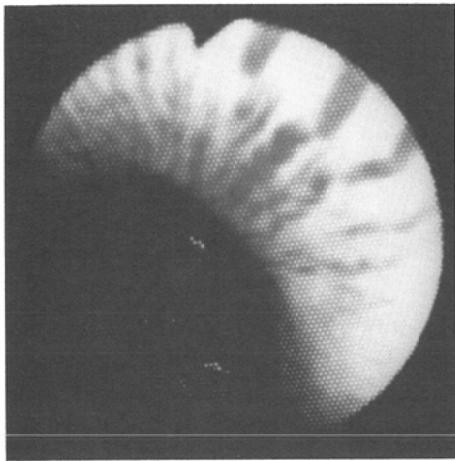


Fig. 11 Primary lung cancer in a 76-year-old female
a. Endoscopic view shows the extremely dilated capillary vessels in the left main stem bronchus.



b. The dilated capillary vessels disappeared after laser treatment and hemoptysis was stopped.

きかった。肺癌スリーブ切除後の場合には、吻合部は常に肺動脈に極めて近接していることを念頭に入れる必要のあることが指摘されている¹⁷⁾。

さらに、気管切開後や気管、気管支吻合後の医原性狭窄あるいは結核性狭窄も適応となるが、病巣の局在部位、長さ、内腔面の広さなどが症例に応じて多様であること¹⁶⁾や結核性狭窄では病変の活動性の有無や治癒過程も考慮し¹³⁾、個々の症例毎に適応の有無を決定することが大切である。瘢痕性気管、気管支狭窄例では、病巣の長軸径は1cm

未満のものに限定されている¹³⁾。

原発性肺癌に対する本法の評価は未だ定まったものではないが、適応の1つに肺門型早期肺癌が挙げられる。一般に、肺門型早期肺癌に対しては、ヘマトポルフィリン誘導体(HpD)とargon dye レーザーを用いた光線力学的治療(Photodynamic therapy; PDT)の良い適応とされ、諸家の報告でも良好な成績が得られている^{22)~24)}。PDTは腫瘍のみを選択的に破壊し、正常組織には何ら障害を与えず、穿孔の危険性も少ない利点があるが、レーザー光の到達性の問題から軟骨内側に限局する病巣に限られ、レーザー光の照射が可能な部位に発生した腫瘍で、病巣の範囲も3cm²以下²²⁾の症例が対象となる。一方、Nd-YAG レーザーを用いる場合も、穿孔の危険性から区域支までの中枢側気管支の軟骨内側に限局し、病巣の全範囲を正面視できることが必要である。腫瘍の局在部位によってはレーザー光の照射が困難で、腫瘍の残存がみられること²³⁾や現在の内視鏡診断では腫瘍の深達度及び浸潤範囲の診断にも問題が残る²⁴⁾ため、レーザー単独療法の適応となる肺門型早期肺癌は極めて限られたものにすぎないと思われる。自験例の2例では、レーザー光の照射が困難な部分が残り、残存する腫瘍に対して放射線療法を追加することで腫瘍の完全消失を得た。また、最近、PDTと放射線療法の併用療法を行い、良好な成績の得られている症例も数例経験しており²⁵⁾、著者らは、肺門型早期肺癌に対してはレーザーと放射線の併用療法が有用と考えている。

著者らが本法を施行した肺癌初回治療例では、気道内腔に突出する腫瘍を焼灼、昇華して腫瘍量の減少を図った後、残存する腫瘍に対して放射線療法を追加することで根治性の向上、予後の改善を期待したが、肺門型早期肺癌の2例を除けば、レーザー照射の効果は肺癌の治療成績の向上に結びつかなかった。壁外進展の強い症例や粘膜下浸潤の著しい症例に加えてリンパ節転移、遠隔転移を有する進行癌も含まれていたが、これらの症例は本法の適応外であったと考えられ、症例の選択に問題があったと思われる。於保ら¹³⁾²⁶⁾は、腫瘍の大部分が気道内腔に存在し、太い気管支に限局し

ている症例で、粘膜下浸潤、壁内リンパ管浸潤の少ない扁平上皮癌やカルチノイド、腺様囊胞癌などの低悪性度腫瘍が良い適応と報告している。今後、多数の症例を蓄積し、肺癌の組織型、病期、部位別の検討などの詳細な分析を行い、肺癌初回治療例に対する本法の適応を決定する必要がある。

手術不能な進行癌や肺癌再発例で換気障害を有する症例では、本法は姑息的な治療法ではあるが、換気障害の改善に極めて有用であり、さらに、その後の合併療法を可能にするため、予後の改善にも役立つ¹⁶⁾²¹⁾²⁷⁾。気道閉塞に対する本法の効果は、50%²⁸⁾から75%¹⁴⁾¹⁵⁾の症例で満足な結果が得られているが、自験例の肺癌再発例と転移浸潤例の計13例でも60%（8例）に気道の開大を得た。これらの気道閉塞例では、病巣が区域支までの中枢気道に存在し、かつ、病巣より末梢の気道が開存していることが必要である。病巣の長軸径は、Mc Dougall ら¹⁸⁾は4cm以下としているが、一般には3cm以下が安全かつ容易に処置できるとされ¹⁷⁾²⁹⁾。自験例でも、5cmに及ぶ気管狭窄例と左主気管支のほぼ全体を占める広範囲の閉塞例では気道の開大が得られなかった。また、Gelb ら¹⁹⁾は、完全閉塞例ではわずかに30%の有効率であったが、不完全閉塞例では90%近くが有効で、治療効果は気道閉塞の程度と相関していたと述べている。自験例では、不完全閉塞を呈した肺癌再発例8例と転移浸潤例3例の計11例では64%（7例）に有効で、完全閉塞を示した肺癌初回治療例の1例（本例では腫瘍の焼灼、昇華を目的とした）と肺癌再発例の1例および直腸癌からの転移例の計3例では33%（1例）で気道の開大が得られたにすぎなかった。完全閉塞例では、腫瘍の進展形式や末梢気道の状態の把握が困難で、穿孔の危険性も高く、十分な照射が施行できないことが多い。

これらの気道閉塞例に対しては、PDTやCO₂レーザーによる治療も行われている。PDTの効果は、原ら²⁸⁾は44%、Vincent ら³⁰⁾は41%の症例で有効であったと報告しているが、argon dye レーザーはNd-YAG レーザーと比較して出力も低く、効果の発現も遅れるため救急救命には使用で

きず、CO₂レーザーも硬性気管支鏡下で使用されるため、可視範囲の制約により主気管支までの病巣に限られる⁴⁾ことやNd-YAG レーザーよりも止血能が劣るなどの難点があり、各種レーザーの長所と欠点を把握した上で、症例に応じてレーザーの種類を選択することが大切である。

他臓器悪性腫瘍からの転移浸潤例も適応となるが³¹⁾³²⁾、肺癌再発例の場合と同様に姑息的な気道開大に終ることが多い。しかし、本法は、短時間で劇的な効果が得られるとともに放射線療法や化学療法と比較して副作用も少なく、癌末期患者の苦痛を軽減できる点で大きな意義がある。また、自験例の甲状腺癌例のように、限られた症例ではあるが、換気障害の改善の後に合併療法也可能となり、延命効果にも役立った。閉塞部位の長軸径と末梢気道の状態の診断法が解決されれば³¹⁾、その効果は一層大きくなると思われる。

一方、大谷ら³³⁾は、本法施行後の予後からみた検討を行い、レーザー照射後合併療法が十分に行われた症例に長期生存が期待でき、早期死亡例は多少の局所効果は得られても、十分な合併療法が行い得なかった症例であったと報告している。自験例でも、早期死亡例は進行癌であったことが大きな要因であるが、合併療法が十分に施行できなかった症例や合併療法でCRに導入できなかった症例であった。長期生存例は肺門型早期肺癌であったが、合併療法も十分に施行できた。レーザー療法はあくまでも局所療法にすぎず、軟骨輪外側の病巣に対しては効果を期待し難いため、レーザー単独で根治可能な肺門型早期肺癌を除けば、合併療法も当然必要であるが、本法が肺癌の治療成績の向上に有用であるか否かは、適応例の選択とともに合併療法の成否に負うところが大きい。しかし、本法は、従来の治療法では対処し得ない高度の換気障害例では救急救命的治療法として極めて意義のある治療法であり、その後の合併療法を可能にすることで予後の改善も期待でき、さらに、腫瘍の大部分が気道内腔に存在する症例では、レーザー照射と合併療法により根治性の向上が期待される³⁴⁾³⁵⁾など、症例によっては肺癌治療の補助的治療法として極めて有用と思われる。近年の

著しい肺癌の増加に伴い、低肺機能や病巣の局在部位などの制約から、手術や放射線療法の行い得ない症例も増加していくと予想され、また、肺門型早期肺癌の発見率も向上しており、本法は今後更に有力な治療法になり得ると考えられる。さらに、本法は温熱療法として使用できる可能性があることも指摘されており³⁶⁾、現在のレーザー光の高出力を利用した熱凝固による治療法だけでなく、温熱療法として利用するための照射方法の工夫や Allen ら³⁷⁾のレーザーとイリジウム192小線源を併用した治療法など、今後の発展が期待される。

本法の合併症としては、気管支壁の穿孔、血管の損傷による出血が重要である。自験例では重篤な出血や穿孔は経験していないが、肺動脈の損傷による死亡例も報告¹⁸⁾²⁸⁾されており、腫瘍の深層ではあまり高出力を使用せず、周辺への影響の少ない間歇照射が望ましいと考えられる。著者らは30~50W、0.5秒の照射を頻回に用いたが、Brutinel ら³⁸⁾、Dumon ら³⁹⁾も50W以下の出力で、0.5秒の間歇照射を勧めている。また、照射前にCT検査で腫瘍の進展の状態と血管構造との関係を十分に把握し⁴⁰⁾、照射の方向に注意する必要がある。Joyner ら³⁴⁾は、透視下で狭窄部位に造影剤を注入しながら気管支の分岐方向を確認しているが、常に内腔を確認しながら照射を行うことが大切である⁴¹⁾。

肺合併症も重要な問題で、Totty ら¹⁵⁾は、16例中2例がレーザー照射後の呼吸不全、肺感染症のため死亡したと報告しており、Hetzel ら²⁰⁾も、34例中2例の肺感染症による死亡例を報告している。著者らの26例でも2例の肺合併症（気管支肺炎と呼吸不全）による死亡例を経験したが、照射時に発生する煙の吸入や照射部に生じた浮腫あるいは照射部に付着した壊死、変性物質などが呼吸不全や肺感染症などの合併症を誘発すると思われた。照射前に患者の状態を詳細に把握すると同時に、副腎皮質ホルモン剤、抗生素などの投与や著者らの実施した自動送排気装置による煙の吸引、排除などの工夫や対策が必要である。本法の対象となる症例は高度の換気障害を有する症例が多く、動

脈血ガス分析からは、PaO₂50torr以下、PaCO₂50torr以上の症例では特に注意が必要²⁹⁾で、これより換気機能の低い症例では本法施行後に急性呼吸不全を来たす可能性がある²⁶⁾ことが指摘されている。著者らの動脈血ガス分析の検討でも、レーザー照射後には照射前と比較して明らかなPaO₂の低下、PaCO₂の上昇が認められており、これらの数値は照射中はさらに悪化していると予想される。レーザー治療中は、動脈血の頻回のチェックや途中で照射を休止しながら酸素を投与するなどの配慮も望まれる。著者らは、本法を全例局麻下で施行したが、高度の低肺機能例では麻酔医の管理のもとで全麻下に施行することが望ましく、硬性気管支鏡下での麻酔管理の重要性を指摘する報告も多い。¹⁸⁾²¹⁾⁴²⁾ Wolf ら²¹⁾は、本法を実施する際には患者の選択と麻酔に十分な注意を払う必要があると述べている。

その他の合併症として、レーザー光による目の事故や気管支ファイバー、挿管チューブの燃焼による気道熱傷⁴³⁾などの医原性事故の報告もみられており、本法実施医は安全対策にも細心の注意を払う必要がある。レーザー医学の進歩、普及に伴い、レーザー医学の安全学⁴⁴⁾も重視されるべきである。

レーザー治療は、今後ますます広く普及、発展してゆくものと思われるが、より安価で操作性、安全性に優れたレーザー機種の開発や気管支鏡の改良が望まれるとともに、レーザー実施医は内視鏡手技と所見解析能の向上に努めなければならない。多数の症例の積み重ねと詳細な検討により、肺癌を含む気管、気管支病変に対する本法の占める位置を確立することができると考えられる。

V. 結語

気管、気管支病変に対するNd-YAG レーザー治療の有用性を検討する目的で、基礎的検討を行った後、気管から区域気管支までに病巣を有する26例に計52回のレーザー照射を行い、以下の結果を得た。

1) 肺癌初回治療例の9例では、放射線療法、化学療法の実施前に、気道内腔に突出する腫瘍の焼灼、昇華を目的としてレーザー照射を実施したが、

9例中5例に有効であった。しかし、満足な予後の改善がみられたものは肺門早期肺癌の2例にすぎず、その他の症例では、本法により多少の局所効果が得られても、生存期間の延長に結びつかなかった。

肺門型早期肺癌に対しては、本法と放射線療法の併用療法が極めて有用であった。

2) 気道閉塞、狭窄を伴う肺癌再発例や他臓器悪性腫瘍からの転移浸潤例では、気道開大による換気障害の改善を目的としたが、13例中8例に気道の開大が得られ、そのうち6例で自覚症状が消失した。本法は、窒息状態にある患者の救急救命に役立つだけでなく、その後の合併療法を可能にすることで延命効果も期待できる。また、癌末期患者の苦痛を軽減できる点でも大きな意義がある。

3) 肉芽腫の2例では、重篤な副作用もなく、容易に焼灼、除去できた。本法は、手術に代わる治療法として有用と思われた。

4) 気管支の毛細血管からの出血に対しても、予防的な止血に有効であった。

5) 合併症としては、重篤な出血や穿孔は認められなかつたが、2例の肺合併症（気管支肺炎、呼吸不全）による死亡例を経験した。照射時に発生する煙の吸入、照射部に生じる浮腫や壊死、変性物質の付着などが肺合併症を誘発すると思われた。本法の対象となる症例は低肺機能例が多く、合併症に対する十分な配慮が必要である。

6) 本法が気管、気管支病変の有力な治療法となり得るか否かは、適応例の適切な選択に負うところが大きいと思われる。更に多数の症例を重ね、詳細な検討がなされるべきであろう。

本論文の要旨は、第44回日本医学放射線学会総会および第25回日本肺癌学会総会で発表した。稿を終るに臨み、御指導、御校閲を頂いた中西敬教授に深甚なる謝意を表します。また、直接御指導頂いた現宮崎医科大学放射線医学教室楠元志都生講師ならびに山口大学第一内科学教室岡崎幸紀助教授に深謝するとともに御協力下さった都志見病院都志見久令男博士および放射線医学教室の諸先生に御礼申し上げます。

文献

- 1) 渥美和彦：レーザー医学の現状と未来、病態生理、3: 646-653, 1984

- 2) Strong MS, Vaughan CW, Polanyi T, et al: Bronchoscopic carbon dioxide laser surgery. Ann Otol 83: 769-776, 1974
- 3) Laforet EG, Berger RL, Vaughan CW: Carcinoma obstructing the trachea treated by laser resection. New Eng J Med 294: 941, 1976
- 4) McElvein RB, Zorn GL: Indications, results, and complications of bronchoscopic carbon dioxide laser therapy. Ann Surg 199: 522-525, 1984
- 5) Frühmorgen P, Bodem F, Reidenbach HD, et al: The first endoscopic laser coagulation in the human GI tract. Endoscopy 7: 156-157, 1975
- 6) Kiehaber P, Nath G, Moritz K: Endoscopic control of massive gastrointestinal hemorrhage by irradiation with a high-power Neodymium-Yag laser. Prog Surg 15: 140-155, 1977
- 7) 竹本忠良、大谷達夫：消化器領域におけるレーザー療法の展開、医学のあゆみ、124: 503-509, 1983
- 8) 岡崎幸紀、竹本忠良：臨床のノウハウ—レーザー内視鏡による消化器疾患の治療—、日本レーザー医学会誌、3: 35-41, 1983
- 9) Godard P, Draussin M, Lopez F, et al: Utilisation du rayonnement laser en bronchologie, Resection de deux tumeurs tracheo-bronchiques. Pulmon 35: 147-150, 1979
- 10) 池田茂人、小野良祐、栗原正英：Laser の熱エネルギーによる内視鏡治療について、気管支学、3: 48-51, 1981
- 11) 雨宮隆太、於保健吉、大谷高義、他：気管・気管支壁に対するレーザ照射の基礎的研究、日本レーザー医学会誌、1: 131-137, 1980
- 12) 大下芳人、大谷達夫、富士 匠、他：国産 Nd-YAG レーザー装置、LMY-1001 の臨床的検討、日本レーザー医学会誌、5: 30-38, 1984
- 13) 於保健吉、白石三保子、小川一平、他：気道疾患における Nd-YAG レーザー治療の適応、気管支学、6: 17-23, 1984
- 14) Dumon JF, Reboud E, Garbe L, et al: Treatment of tracheal lesions by laser photoresection. Chest 81: 278-284, 1982
- 15) Totty L, Personne C, Colchen A, et al: Bronchoscopic management of tracheal lesions using the neodymium yttrium aluminium garnet laser. Thorax 36: 175-178, 1981
- 16) 小野良祐、池田茂人：気管、気管支領域における内視鏡的レーザー治療法、日本医学会誌、42: 961-968, 1981
- 17) 藤沢武彦、山口 豊：気管、気管支のレーザー治療、日胸、41: 945-956, 1981

- 18) McDougall JC, Cortese DA: Neodymium-YAG laser therapy of malignant airway obstruction. A preliminary report. Mayo Clin Proc 58: 35-39, 1983
- 19) Gelb AF, Epstein JD: Laser in treatment of lung cancer. Chest 86: 662-666, 1984
- 20) Hetzel MR, Millard FJ, Ayesh R, et al: Laser treatment for carcinoma of the bronchus. Brit Med J 286: 12-16, 1983
- 21) Wolfe WG, Cole PH, Sabiston DC: Experimental and clinical use of the Nd-YAG laser in the management of pulmonary neoplasms. Ann Surg 199: 526-531, 1984
- 22) Cortes DA, Kinsey JH: Hematoporphyrin derivative phototherapy in the treatment of bronchogenic carcinoma. Chest 86: 8-13, 1984
- 23) 加藤治文, 小中千守, 西沢克明, 他: レーザー治療, 光線力学的療法, 癌の臨床, 31: 690-696, 1985
- 24) 小野良祐, 池田茂人: 肺癌における HpD 光治療法の適応と限界, 日本医学会誌, 46: 919-925, 1986
- 25) 中村 洋, 江口誠一, 東祐一郎, 他: 肺癌に対するレーザー, 放射線併用治療について—CR 例の検討—, 気管支学, 9: 67, 1987
- 26) 於保健吉, 白石三保子, 小川一平, 他: 肺癌におけるレーザー治療, 一特に内視鏡的 Nd-YAG レーザー治療について—, 肺と心, 31: 197-203, 1984
- 27) Eichenhorn MS, Kvale PA, Miks VM, et al: Initial combination therapy with YAG laser photoresection and irradiation for inoperable non-small cell carcinoma of the lung. A preliminary report. Chest 89: 782-785, 1985
- 28) 原 信之, 一瀬幸人, 本広 昭, 他: 気管・気管支癌に対するレーザー治療, 日胸, 45: 834-841, 1986
- 29) 雨宮隆太, 於保健吉, 山田隆一, 他: YAG レーザーによる治療—呼吸器—, 臨外, 37: 499-504, 1982
- 30) Vincent RG, Dougherty TJ, Rao U, et al: Photoradiation therapy in advanced carcinoma of the trachea and bronchus. Chest 85: 29-33, 1984
- 31) 於保健吉, 沖津 宏, 雨宮隆太, 他: 内視鏡的 Nd-YAG レーザー治療による転移性気道腫瘍に対する積極的治療, 気管支学, 8: 366-372, 1986
- 32) 江口誠一, 中村 洋, 東祐一郎, 他: Nd-YAG レーザー照射が有効であった endobronchial metastasis の 2 例, 日胸, 45: 512-516, 1986
- 33) 大谷高義, 於保健吉, 平良 修, 他: 気道内病変に対する YAG レーザー照射例の予後の反省からみた適応, 気管支学, 5: 39-43, 1983
- 34) Joyner LR, Maran AG, Sarama R, et al: Neodymium-YAG laser treatment of intrabronchial lesions. Chest 87: 418-427, 1985
- 35) Häußinger K, Cujnink F, Held E, et al: Bronchoskopische Laserkoagulation zur Therapie des zentralen Bronchusverschlusses. Prax Klin Pneumol 36: 471-474, 1982
- 36) 小川一平, 於保健吉: YAG レーザーの肺癌治療への応用, 総合臨床, 31: 1850-1855, 1982
- 37) Allen MD, Baldwin JC, Fish VJ, et al: Combined laser therapy and endobronchial radiotherapy for unresectable lung carcinoma with bronchial obstruction. Amer J Surg 150: 71-77, 1985
- 38) Brutinel WM, Cortese DA, McDougall JC: Bronchoscopic phototherapy with the Neodymium-YAG laser. Chest 86: 158-159, 1984
- 39) Dumon JF, Shapshay S, Bourcereau J, et al: Principles for safety in applications of Neodymium-YAG laser in bronchology. Chest 86: 163-168, 1984
- 40) Pearlberg JL, Sandler MA, Kvale P, et al: Computed-tomographic and conventional linear-tomographic evaluation of tracheobronchial lesions for laser photoresection. Radiology 154: 759-762, 1985
- 41) 金子昌弘, 山本記頭, 池田茂人: レーザーによる気道狭窄の治療, 医学のあゆみ, 117: 831-838, 1981
- 42) Brutinel WM, McDougall JC, Cortese DA: Bronchoscopic therapy with Neodymium-Yttrium-Aluminium-Garnet laser during intravenous anesthesia. Effect on arterial blood gas levels, pH, Hemoglobin saturation, and production of abnormal hemoglobin. Chest 84: 518-521, 1983
- 43) Casey KR, Fairfax WR, Smith SJ, et al: Intratracheal fire ignited by the Nd-YAG laser during treatment of tracheal stenosis. Chest 84: 295-296, 1983
- 44) 菊本久美郎: レーザー医学の安全, 医学のあゆみ, 124: 359-369, 1983