

〔原 著〕

家兎肝切除における CO<sub>2</sub> レーザーメスの  
ガス噴射式ハンドピースの有効性に関する研究

東京女子医科大学外科学教室 (主任: 織畑秀夫教授)

高 本 正 人

(受付 昭和57年 7 月29 日)

**Experimental Study on the "Gas-Jet" Handpiece of the CO<sub>2</sub> LASER Scalpel  
in the Rabbit Hepatectomy****Masato TAKAGI, M.D.**Department of Surgery (Director: Prof. Hideo ORIHATA)  
Tokyo Women's Medical College

The conventional handpiece of CO<sub>2</sub> laser knife was remodelled to a slender penciliform device easy to hold, and, for the purpose of removing the blood and exudates covering the photoirradiation field and keeping the field dry, it was improved in such a way that the sterilized air gas should stream forth along the same axis as CO<sub>2</sub> laser beam. This gas jetting handpiece was tried out on the rabbit liver in respect to incision, vaporization and resection, and its efficiency was compared with that of conventional handpiece, which yielded the following results:

1) In incision, it was best to apply the focused beam by use of the gas jetting handpiece. With this method, the depth of incision was proportional to the end output power as expressed by a straight line with a slope of 1. If the wattage is the same, the gas jetting handpiece is capable of about twice as deep an incision as that made with the conventional handpiece. The width of the incision, however, was smaller with the former, and the tissue injury around and at the tip of the incision was of the same severity with either or slightly milder with the former.

2) In vaporization, it was most effective to apply the defocused beam at 20 W or higher through the gas jetting handpiece.

3) In resection, circulation in the center of the part to be excised must first be blocked by forceps or some other means. This is done because laser alone could not control bleeding from a vessel with the caliber exceeding 1.5 mm, so that, if blood flow from larger vessels were not stopped, the effect of laser knife would be blocked due to the spurting blood.

4) To minimize time and blood loss in resection, cut with the high-power focused beam by use of the gas jetting handpiece, and apply the defocused beam at 10 W or thereabouts to the cut surface for coagulation hemostasis. Subsequently lift the aforesaid hemostatic forceps, and perform a reliable hemostasis such as ligation.

5) The flow rate of gas jet was adjusted to 8l/min in the present study, but a more forceful jet is advisable for the incision of tissues densely covered with blood and exudates or for the vaporization and coagulation with a defocused beam discharged at a distance.

6) The gas jetting handpiece compares favorably with the conventional handpiece in incision, vaporization and resection, and helps to enlarge the range of indications for surgery with CO<sub>2</sub> laser knife by allowing the advantages of laser knife to be fully utilized.

## 目 次

- I. 緒言
- II. CO<sub>2</sub> レーザーメスの原理と改良点
  - 1. CO<sub>2</sub> レーザーメスの原理
  - 2. 本実験に使用した CO<sub>2</sub> レーザーメスとガス噴射式ハンドピースについて
- III. 実験
  - 1. 実験目的
  - 2. 実験方法
  - 3. 実験結果
- IV. 病理組織学的所見
  - 1. CO<sub>2</sub> レーザーメスによる肝創面の共通組織学的所見
  - 2. 切開
  - 3. Vaporization
  - 4. 切除
  - 5. 小括
- V. 考察
- VI. 結語  
文献

## I. 緒 言

レーザー (LASER: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) の歴史は、1960年に Mainman<sup>1)2)</sup> がルビー結晶にキセノンフラッシュランプの光を照射し、波長6943Åの赤色光のルビーレーザーの発振の成功にはじまり、以後多くのレーザー発振装置が開発され、その応用範囲は一般工業分野から次第に医学分野にも拡大されてきた<sup>3)~6)</sup>。この医学分野への応用は基礎領域も含めた一般診断用と治療用に大別できる。前者は眼科領域における屈折異常や眼底像のホログラフィー、レーザー発光分光分析、レーザー顕微鏡、レーザードップラー法による血流測定装置等の診断・検査機器への応用である。一方、治療的応用の主力はレーザーメスであり、これはレーザ

ー光の生体に対する熱効果を基本的に利用している。この中には、CO<sub>2</sub> レーザーメス、YAG レーザーメス、アルゴンレーザーメス、等がある<sup>7)8)9)</sup>。

CO<sub>2</sub> レーザーメスは他のレーザーメスと同様、レーザー光の熱エネルギーを利用し、組織の切開、Vaporization、凝固、止血等を行なう。電気メスもその高周波電流によるジュール熱を利用する点で同じ熱メスであるが、一番異なる点はレーザーメスが光を刃とする点である。すなわち、直接組織にメスの刃をあてる必要がなく、しかも切開と止血が同時にできるという、非接触性のメスであるという点である<sup>10)11)</sup>。したがって電気メスのように刃の部分に組織や凝血が付着するためその効力が弱くなつたり、メスを移動させるとき、その刃についた組織や凝血を剝離脱落させ、残存組織の損傷や出血をひきおこすことはない。

今回このような特長を持った CO<sub>2</sub> レーザーメスを、一般外科領域手術に有効かつ安全に使用できるようにハンドピース部を、滅菌 Air Gas が光軸と同軸に噴出するように新たに改良した。この改良の目的は、CO<sub>2</sub> レーザー光は水に対する吸収係数が大きいので、照射部がたとえ 1mm 程度の厚さで滲出液や血液が被われていても、その照射エネルギーの90%以上がこれらの水分に吸収されその効果が発揮できないからである。そこで著者は、この障害となる滲出液や血液を積極的に排除し、たえず照射部を露出させることにより、レーザーメスとしての作用が、有効に発揮できるようにガス噴射装置を付加した。この改良により、従来のハンドピースでは、一度出血がはじまるとその湧きでてくる血液のためにエネルギーが吸収され、メスとしての機能を果さなかつたが、ガス噴射式ハンドピースを用いると、照射部が常に露出された状態 (Dry field) となり、切開、

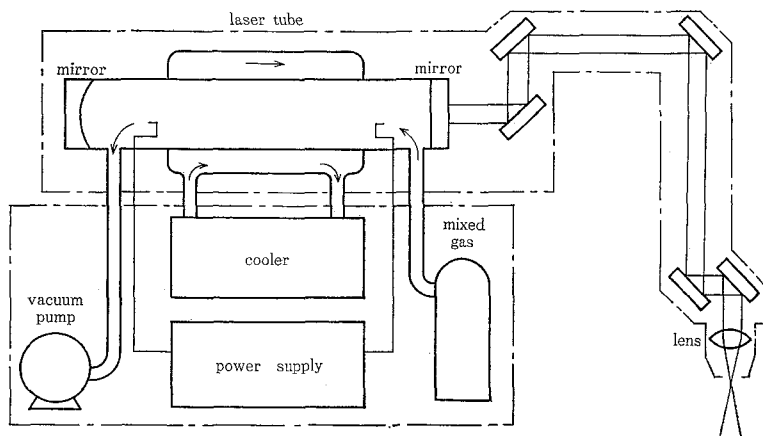


図1 CO<sub>2</sub> レーザーメス装置

Vaporization, 凝固, 止血が非常に円滑に効果的に行なわれるようになった。そこで今回、前述のような手術操作を家兎の肝切除について行ない、従来のハンドピースと比較検討し、ガス噴射式ハンドピースの有効性を確認したのでここに報告する。

## II. CO<sub>2</sub> レーザーメスの原理と改良点

### 1. CO<sub>2</sub> レーザーメスの原理

CO<sub>2</sub> レーザー光は、CO<sub>2</sub> 4~6%, N<sub>2</sub> 13~14%, He~80%の混合ガスを入れた発振管に高電圧をかけ、そのガス分子を励起状態にし、この中で誘導放出によつて得られた光子を増幅し生れた、コヒーレントな波長10.6 $\mu$ mの光である。これをマニピュレーターで術野に導き、術者の持つ集光レンズのついたハンドピースを用いて目的物に照射する(図1)。

このCO<sub>2</sub> レーザー光は時間的にも空間的にも、すぐれたコヒーレントな性質があるため、通常の光に異なり、高エネルギー密度を焦点化することができる。また、CO<sub>2</sub> レーザー光の波長は10.6 $\mu$ mで、水に対する吸収係数は非常に大きいため、その90%以上のエネルギーが照射部生体組織の深さ0.05mmの範囲内の細胞中の水分に吸収される。すると一瞬にして組織細胞中の水分が気化し膨張爆発する。これが組織の欠損を起こし肉眼的に切れるという現象となる<sup>12)</sup>。この現象

は、もし照射部表層がわずか0.05mmの厚さの水分で被覆されていたら、その90%以上のエネルギーが目的照射組織に到達することなく、その表層の水分に吸収され、レーザーメスとしての作用が発揮できないことも意味する。これを利用し、術中、目的照射部以外は生食ガーゼで周囲組織を被覆し、誤照射による損傷を予防している。

### 2. 本実験に使用したCO<sub>2</sub> レーザーメスとガス噴射式ハンドピースについて

本実験に使用したCO<sub>2</sub> レーザーメスは、アロカ社製CO<sub>2</sub> レーザーメス(LMC-502型)(写真1)で、メス先最大出力40W、シングルモード(TEM<sub>00</sub>)、スポットサイズF=50mm:0.1mm, F=100mm:0.2mm, ガイド光:He-Ne レーザーを使用した。

今回、ハンドピース部を以下のように改良した。まず全体として、ハンドピース部を細く持ちやすいペンシル型にした。次に、その中心から滅菌フィルターでろ過されたAir Gasを、8l/分、16l/分、24l/分の三段階の強度でレーザー光と同じ穴から同軸に噴射するようにした(図2)(写真2)。

このAir Gasを噴射させた目的は、CO<sub>2</sub> レーザー光は水に対する吸収係数が非常に大きいため、照射部表面を血液や滲出液が被覆していると、これらの水分に吸収され、メスとしての機能

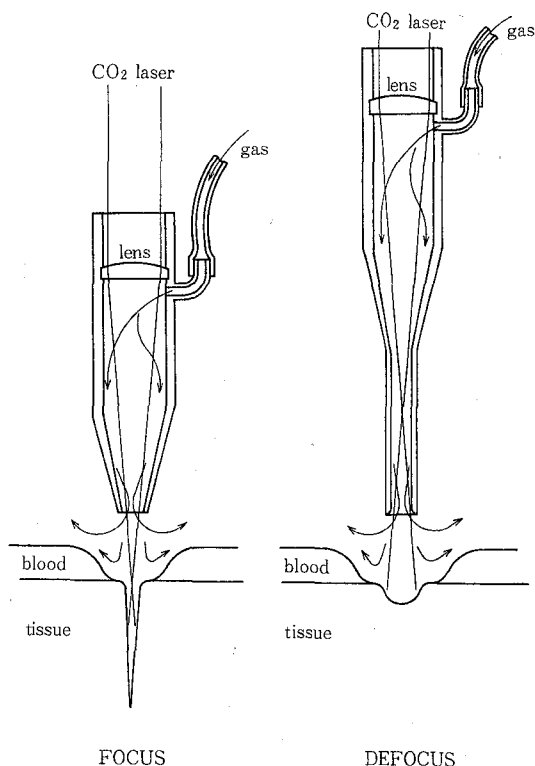


図2 ガス噴射式ハンドピース

が発揮できなくなる。そこでこれらの液体を、レーザー光と同軸に噴射された Air Gas が除去し、照射組織を常に dry field にして、レーザーメスの機能が有効に発揮できる照射野を作り、同時にハンドピース内のレンズに血液・滲出液等の付着を予防し、排煙効果も期待したからである。

### III. 実験

#### 1. 実験目的

ガス噴射式ハンドピースに改良した CO<sub>2</sub> レーザーメスを使用し、家兎肝の切開、Vaporization、切除の手術手技を行ない、これらの切開深度、切開幅、手術時間、出血量、操作性、病理組織所見について従来のハンドピースを用いた場合と比較し、その有用性を検討した。

#### 2. 実験方法

##### 1) 実験動物及び麻酔方法

体重 4~6kg の成兎にチオペンタール 10~30mg を静注、23G エラスターで血管を確保し、自発呼

吸下で適時チオペンタールを追加し、麻酔した。

#### 2) 手術手技

電気メスにて腹部正中切開で開腹、肝葉を露出させ、肝周囲を温生食ガーゼで被覆し、誤照射による損傷を予防した。そして、ガス噴射式ハンドピース（先端より 8l/分 で Air Gas を噴射、G (+) と以下略す）と、従来のハンドピース（G (-) と以下略す）を用いて、focused beam (F と以下略す) と defocused beam (DF と以下略す) で、切開、Vaporization、切除の手術手技を行なった。

##### (1) 切開

肝葉の末梢部より平行に通常硬刃で切開を行なうときと同じ速さの 2~3cm/秒で、連続波 (CW と以下略す) を用いて先端出力 5W, 10W, 15W, 20W, 25W, 30W, 35W, 40W の強さで、G (+) F, G (-) F, G (+) DF, G (-) DF の様式で肝表に切開を加え、終了後ただちにホルマリン固定した (写真 3)。この標本を HE 染色及び Masson 染色を行ない、プレパラートを作製、各群の切開組織欠損部の深さ、幅、病理組織学的所見について比較検討した (表 1~4)。

##### (2) Vaporization

肝葉末梢部に近い厚さ 5~8mm の肝表に、転移巣または肝表小腫瘍を想定した直径 12mm の円形の穴のあいたボール紙を置き、その穴の肝実質部に CW, 先端出力 20W, 30秒間、DF で照射を行ない、G (+) DF 群と G (-) DF 群について、照射中の状態と病理組織所見について比較検討した (写真 4)。

##### (3) 切除

肝葉中央に腸鉗子をかけ、それより末梢の循環遮断を行ない、その末梢側 1/2 の部を CW, 先端出力 20W で切除し、G (+) F, G (-) F, G (+) DF, G (-) DF 各群について、切除時間、切除後腸鉗子を開放した創面よりの経時的出血量、創面の病理組織学的所見について比較検討した。ただし、G (+) F と G (-) F は切除後、CW 先端出力 20W で 10秒間止血目的に DF にて創面を照射したのち、腸鉗子を解除した後の経

表1 (G(+))F群) ガス噴射式ハンドピース、  
focused beam での各先端出力 (w) と肝表切  
開創の幅 (w) と深さ (d) (単位:  $\times 10 \mu\text{m}$ )

症例	w	5	10	15	20	25	30	35	40
		d							
I	w	72	132	240	244	248	220	240	192
	d	34	100	220	260	272	248	232	292
II	w	88	88	100	180	104	108	104	104
	d	40	84	180	248	310	396	472	680
III	w	112	112	152	188	112	108	88	128
	d	30	104	140	220	288	440	252	428
IV	w	88	144	148	148	84	140	128	168
	d	52	180	312	424	464	512	560	520
V	w	140	134	100	240	168	140	220	240
	d	156	164	344	420	268	288	680	560
VI	w	80	112	96	96	180	80	152	116
	d	100	116	180	204	298	360	444	384
VII	w	80	128	140	90	88	96	100	76
	d	36	144	140	212	328	512	480	440
VIII	w	100	120	140	120	100	120	120	120
	d	40	300	360	580	330	760	760	480
IX	w	88	96	88	84	100	100	128	120
	d	52	108	300	340	308	416	540	540
X	w	80	88	96	88	72	132	108	220
	d	64	152	212	400	240	720	360	760
平均	w	92.8	115.4	130.0	147.8	125.6	124.4	138.4	148.4
	d	60.4	145.2	238.8	330.8	343.6	465.2	498.0	508.4

表3 (G(+))DF群) ガス噴射式ハンドピース、  
defocused beam での各先端出力 (w) と肝表切  
開創の幅 (w) と深さ (d) (単位:  $\times 10 \mu\text{m}$ )

症例	w	5	10	15	20	25	30	35	40
		d							
I	w	100	140	200	200	240	280	100	380
	d	16	20	44	68	84	120	160	200
II	w	200	320	300	320	272	300	320	280
	d	20	40	28	40	72	104	132	200
III	w	200	248	252	260	268	440	340	320
	d	32	40	52	72	116	100	120	100
IV	w	200	220	200	240	260	320	260	296
	d	24	48	72	80	80	120	168	160
V	w	180	188	280	300	240	260	240	240
	d	16	32	60	74	108	180	200	272
VI	w	208	248	252	200	268	240	268	300
	d	36	40	40	52	56	160	120	168
VII	w	144	200	320	320	300	340	300	420
	d	20	16	40	80	128	136	172	200
VIII	w	220	280	312	280	400	320	228	320
	d	28	80	72	120	100	160	164	160
IX	w	160	200	320	240	260	280	268	232
	d	22	28	76	80	112	132	132	228
X	w	140	192	228	104	320	340	272	228
	d	14	20	36	76	72	92	180	212
平均	w	175.2	223.2	266.4	266.4	282.8	312.0	279.6	301.6
	d	22.8	36.4	52.0	74.2	92.8	130.4	144.8	190.0

表2 (G(-))F群) 従来のハンドピース、  
focused beam での各先端出力 (w) と肝表切  
開創の幅 (w) と深さ (d) (単位:  $\times 10 \mu\text{m}$ )

症例	w	5	10	15	20	25	30	35	40
		d							
I	w	104	140	168	180	192	196	380	336
	d	40	76	96	212	220	280	280	260
II	w	104	108	156	212	220	172	208	152
	d	40	72	80	112	172	172	344	324
III	w	68	116	148	192	184	220	220	260
	d	280	64	66	112	128	240	192	264
IV	w	46	116	140	144	188	228	232	156
	d	32	52	64	108	128	116	208	290
V	w	80	108	96	76	88	88	208	216
	d	30	52	60	120	156	168	260	304
VI	w	92	88	94	96	116	160	144	328
	d	44	104	86	176	220	120	248	380
VII	w	100	112	120	116	140	116	112	96
	d	24	58	90	112	124	280	296	356
VIII	w	60	64	44	60	44	72	116	236
	d	40	92	96	116	136	236	208	212
IX	w	108	168	196	212	176	220	194	200
	d	32	72	78	112	132	194	264	260
X	w	68	120	166	200	126	124	168	176
	d	40	54	92	90	208	150	244	256
平均	w	83.0	114.0	132.4	148.8	147.4	158.4	198.2	225.6
	d	35.0	69.6	79.8	127.0	162.8	195.6	254.4	288.6

表4 (G(-))DF群) 従来のハンドピース、  
defocused beam での各先端出力 (w) と肝表切  
開創の幅 (w) と深さ (d) (単位:  $\times 10 \mu\text{m}$ )

症例	w	5	10	15	20	25	30	35	40
		d							
I	w	100	230	220	240	280	540	380	420
	d	14	50	50	40	50	70	160	120
II	w	220	230	220	240	220	270	340	380
	d	20	50	90	110	60	90	100	140
III	w	220	270	240	280	320	290	370	380
	d	20	60	70	60	100	60	110	70
IV	w	140	220	300	290	280	290	290	320
	d	28	50	40	28	110	90	70	140
V	w	170	200	240	100	220	200	200	240
	d	20	40	40	64	72	76	100	170
VI	w	130	240	260	300	280	280	310	380
	d	30	30	40	80	60	80	60	80
VII	w	190	220	360	320	330	250	280	240
	d	20	40	50	80	70	80	120	110
VIII	w	180	220	270	260	270	280	300	300
	d	20	40	60	60	90	100	128	120
IX	w	150	240	260	260	340	380	300	290
	d	14	24	30	30	40	30	80	60
X	w	180	220	240	240	260	240	220	260
	d	14	40	50	50	50	94	80	100
平均	w	168.0	229.0	261.0	263.0	280.0	282.0	299.0	321.0
	d	20.0	42.4	52.0	60.2	70.2	77.0	100.8	110.0

時的出血量である(写真5)。

3. 実験結果

1) 切開

G(+)<sub>F</sub>, G(-)<sub>F</sub>, G(+)<sub>DF</sub>, G(-)<sub>DF</sub> 各群における組織欠損部の深さ(d)と幅(W)は表1~4で、これらを先端出力(W)との関係をグラフにするとグラフ1, 2になる。このグラフからG(+)<sub>F</sub>群とG(-)<sub>F</sub>群に関しては、深さは両者とも先端出力に比例して深く切れるが、特にG(+)<sub>F</sub>群はG(-)<sub>F</sub>群に比べ同じW数でありながら約2倍深く切れていることがわかった。一方、幅に関しては、両者とも20Wまではほとんど同じ値でW数に比例して広がるが、25W以上になるとG(+)<sub>F</sub>群はG(-)<sub>F</sub>群よりも狭くなる傾向がみとめられた(図3)。

G(+)<sub>DF</sub>群とG(-)<sub>DF</sub>群に関しては、全体として両者ともほぼ重なり合う同様の傾向が認められたが、深さに関しては20W以上でG(+)<sub>DF</sub>群の方が、その傾斜が急になる傾向が認められた(図4)。

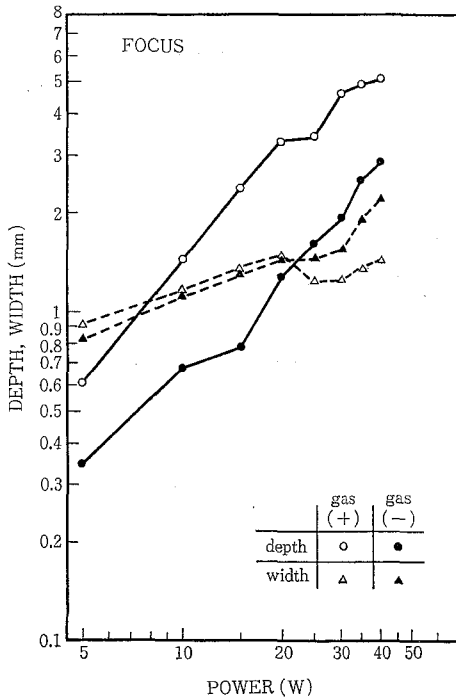


図3 表1, 2の平均値をプロットしたもの

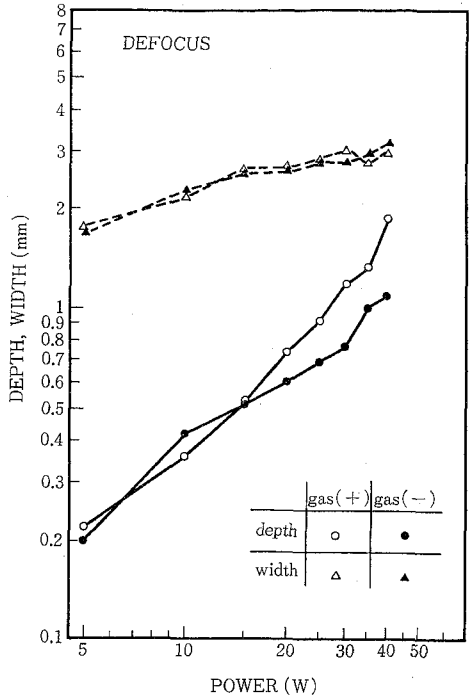


図4 表3, 4の平均値をプロットしたもの

2) Vaporization

G(-)<sub>DF</sub>群では、全症例とも照射部に一度出血が始まると、血液が組織欠損部に貯留し、これがレーザー光を吸収してカルメラ状となり、完全に照射部を被覆してレーザー光が肝実質部に到達できず、Vaporizationは中断する結果となった。一方、G(+)<sub>DF</sub>群では、全症例ともたとえ出血がはじまっても、一時的に風圧により止血されるかまたはその部に貯留した血液が噴射ガスにより飛散し、照射部が常に露出され、Vaporizationがすみやかに進行した。その結果、G(+)<sub>DF</sub>群では10例中7例にVaporizationが貫通していた。この両者におけるガス噴射式ハンドピースの効果の差は非常に顕著であつた。

3) 切除

切除に要した時間はG(+)<sub>F</sub>群平均7.1秒、G(-)<sub>F</sub>群平均16.1秒であつた。切除後DFで、CW, 先端出力20W, 10秒間止血を目的に照射したのち、循環遮断目的にかけてあつた腸鉗子を開放し、その経時的出血量を測定したところG(+)

## 高木論文附图〔I〕

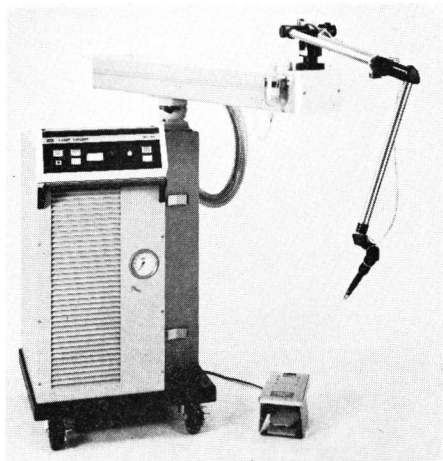


写真1 アロカ社製 CO<sub>2</sub> レーザーメス  
(LMC-502 型)

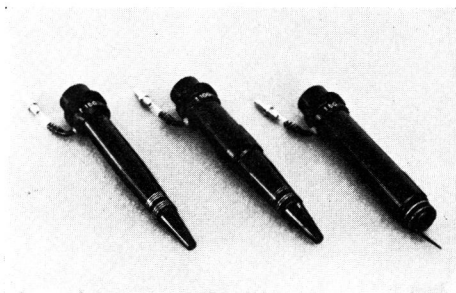


写真2 左よりf(焦点距離)=150mm, f=100mm,  
f=50mm のガス噴射式ハンドピース



写真3 左側が focused beam での切開創,  
右側が defocused beam での切開創

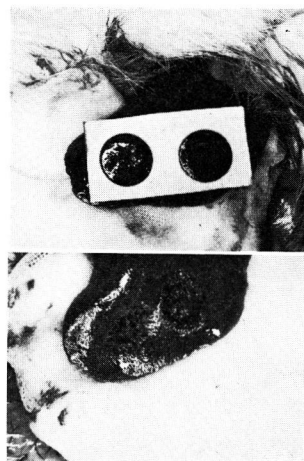


写真4

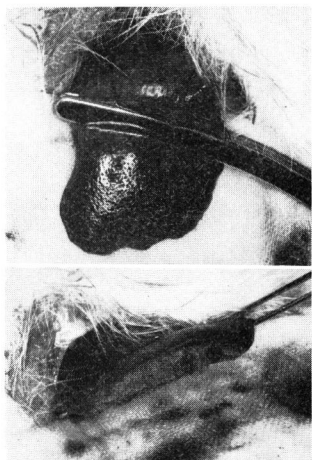


写真5

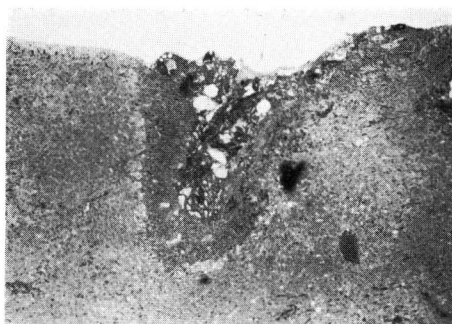


写真6 CWG (-) F 10W HE×40

高木論文附図〔Ⅱ〕

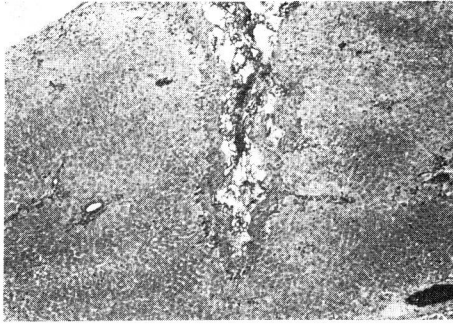


写真7 CWG (+) F 10 W HE×40

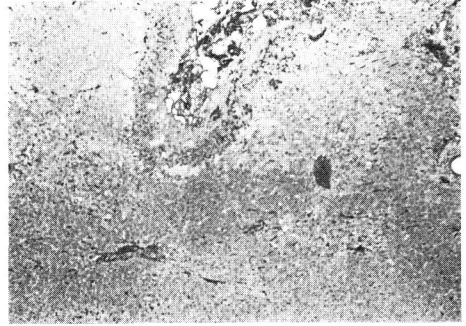


写真8 CWG (-) F 10 W HE×40

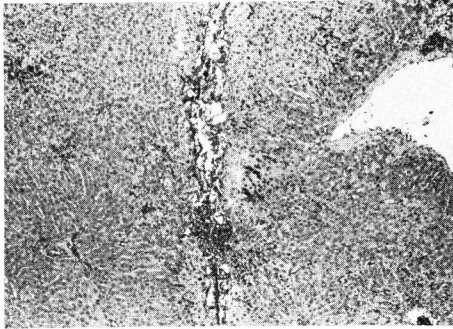


写真9 CWG (+) F HE×40 先端部

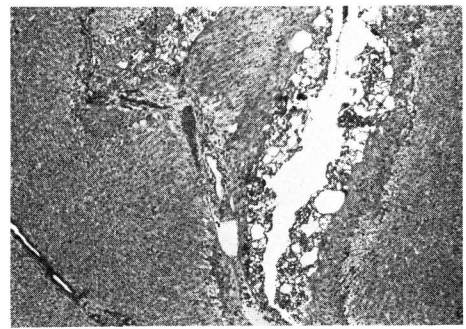


写真10 CWG (-) E HE×40先端部

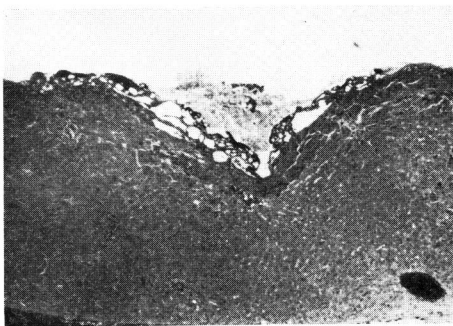


写真11 CWG (+) DF HE×40

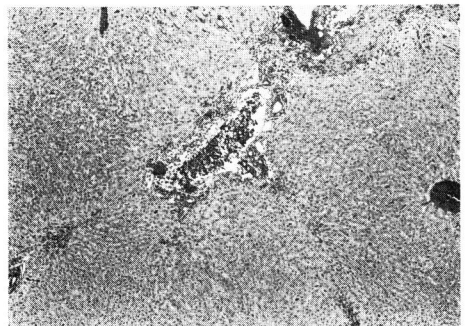


写真12 CWG (-) DF HE×40

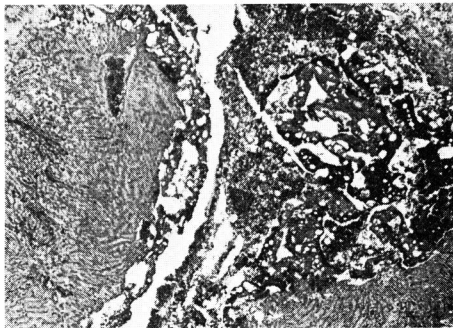


写真13 CWG (+) DF Vaporization HE×40

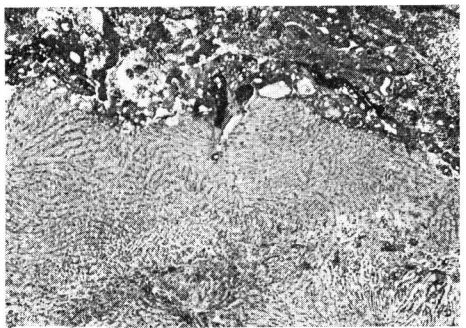


写真14 CWG (-) DF Vaporization HE×40



F群では5例中4例まで10分後の総出血量は1gr以下でほとんど止血していた。これに対しG(-)F群では5例中3例までが、10分後の総出血量は10grに達していた。

一方、G(+)**DF**群とG(-)**DF**群の間における切除に要した時間は18.6秒と45.2秒で、2倍以上G(-)群は切除時間を要した。しかし、経時的出血量に関しては両者いずれも10分後3gr以下で、切除後鉗子を解除しても完全に止血している例もあり、あまり差はなく良好であった。

#### 小 括

ガス噴射式ハンドピースは、従来のハンドピースと比較し、focused beamでも、defocused beamでもその切開、Vaporization、切除の手術操作に関し、切開深度、Vaporization効果、手術時間、出血量、いずれの点においてもすぐれていた。

### IV. 病理組織学的所見

#### 1. CO<sub>2</sub> レーザーメスによる肝創面の共通組織学的所見

欠損部表面から内部健常組織の間には、以下のような共通した組織所見が認められた。

欠損部の表面は出血及び一部fibrin性の滲出物が被覆し、欠損部表面の肝組織はヒモ状やループ状に連なつて崩壊し、これらにより欠損部のくさび型の縁どりが形成されている。次にこれらをとりにまいて、細胞の腫脹、融合、好酸性の増加等の変性壊死または凝固壊死に陥つた肝実質があり、さらにその外側に浮腫状の肝細胞層が形成されている。そして残存正常組織へ移行している(写真6)。

#### 2. 切開

##### 1) G(+)**F**群(写真7)とG(-)**F**群(写真8)

両者とも前述のような共通組織所見を呈し、その欠損部の深さはW数に正相関している。しかし、G(+)**F**群はG(-)**F**群と比較すると、同じW数でありながら鋭く狭い欠損部を持ち、また周囲の変性壊死層は、W数が大きくなるにつれG(-)**F**群よりその範囲は狭くなつていつた。一方、先端部においては、噴射ガスの影響でG(+)

F群の方が壊死層が強いという所見はなく、G(-)**F**群と同程度であつた(写真9, 写真10)。

##### 2) G(+)**DF**群(写真11)とG(-)**DF**群(写真12)

F群とDF群を比べると後者は欠損部のくさび形が広く浅い形状を示すが、DF群両者の間には、はつきりした差異はなかつた。

### 3. Vaporization

#### 2) G(+)**DF**群(写真13)

G(-)**DF**群と同様広い欠損面を持つが、しかし、欠損面への壊死物質の付着は少なく、一部炭化や崩壊した肝実質が表面に露出し、G(-)**DF**群と比べるとあたかも清浄化された潰瘍の所見を呈していた。

#### 2) G(-)**DF**群(写真14)

広い欠損面はG(+)**DF**群と共通であるが、欠損部には多量の赤血球やfibrinを主とする滲出液が付着し、その下には崩壊脱落した肝実質塊と、さらに不規則な形に変性に陥つた肝実質層が存在していた。

### 4. 切除

G(+)**F**, G(-)**F**, G(+)**DF**, G(-)**DF**各群とも、以下のようなほぼ共通した所見であつた。表面は赤血球、fibrinが付着し、その下部に崩壊肝組織が一部炭化し露出、その深部には変性壊死に陥つた肝細胞が存在していた。

#### 小 括

ガス噴射式ハンドピースは、従来のハンドピースと比較し、focused beamでもdefocused beamでも、照射部周囲組織に与える変性・壊死の影響は同等もしくは幾分軽度で、少なくともガス噴射の影響が組織の変性、壊死を助長している所見はなかつた。

### V. 考 察

CO<sub>2</sub> レーザーメスは1964年 Patel<sup>13)</sup>が高出力CO<sub>2</sub> レーザーの開発に成功、1967年にはGoldmanがCO<sub>2</sub> レーザーメスを試作し、その後改良が加えられ現在に至つている<sup>14)</sup>。本邦においても、渥美・桜井らにより開発とその外科的応用がすすめられ<sup>4)~8) 15)~17)</sup>、電気メスに次ぐ第3のメスとし

て実用の段階に到達した。CO<sub>2</sub> レーザーメスは、① 高輝度、② 単色性、③ コーヒーレンシーという特徴を持つ光の熱エネルギーで、組織の切開、Vaporization、凝固、止血を行なう。この点で、電気メスも高周波電流の Joule 熱を利用した。同じ熱メスである。しかし、電気メスとの決定的な差異は、レーザー光の持つ高エネルギー密度と、光としての非接触性のメスであるという2点である。前者はレンズを利用し焦点化することが可能で、高エネルギーを一点に集約することができ、そのため瞬時に照射部組織中の水分が気化爆発し欠損が起こる。しかし、照射部周囲の1mm 離れた部位では、熱による変性等の異常は認められない。また、それ程高くないエネルギー密度で行なうと、組織の熱変性による凝固がおこり、止血効果が期待できる。これらは、Rockwell の CO<sub>2</sub> レーザー光の組織透過度の公式

$$X = \left( \frac{4P}{\pi d^2} \right) \frac{t(1-R)}{\rho J(L+CAT)}$$

ただし、X：組織の厚さ (cm)、R：組織の反射率 (0.05以下)、 $\rho$ ：組織密度 (1.2g/cm<sup>3</sup>)、J：Joule 定数 (4.185J/cal)、L：組織潜熱 (540cal/g)、t：照射時間、C：組織の比熱 (0.86cal/g)、P：レーザー出力 (W)  $\Delta T$ ：上昇温度 (°C)、d：レーザー光スポット径 (直径 cm)

から、ある厚さの凝固に必要なレーザーメスの出力と照射時間の関係を求めることができる。著者も本実験を始める前に、家兎や犬の腸間膜血管を用いて、CO<sub>2</sub> レーザーメス単独で止血可能な血管径の測定を行なったが、レーザーメス止血の限界は最大径1.0~1.5mmの血管までであるから、この3~5倍のスポット径で、10W、1秒以上照射すれば、レーザーメス単独で止血可能な範囲の太さの血管は、上記の近似式よりすべてこの条件下でコントロールされることになる<sup>19)</sup>。また、第2の特徴として、非接触性のメスであることから、電気メスのようにその先端が炭化した組織片や凝血などにより被覆され、その機能が低下するということはない。また、刃先を移動する際に、接触

した組織や凝血を剝離し、残存組織の損傷や再出血を起こすこともない。これらの特徴は、特に血管の豊富な実質臓器の手術において利用されている。豚では Orda<sup>20)</sup> らが犬の腓尾部切除に CO<sub>2</sub> レーザーメスを使用し、電気メス、硬刃メスと比較して、腓管の Sealing や術後高アミラーゼ血症が認められない長所を指摘している。教室の小林<sup>21)</sup>も CO<sub>2</sub> レーザーメスで腓尾部切除を行ない、電気メス、硬刃メスの場合と比較や、その断端よりの腓液漏出を定量的に測定し、先端出力15Wで切除するのが、一番腓液漏も少なく残存組織損傷も少ないという実験結果を報告している。また、滝沢<sup>15)</sup>らは脳外科手術に応用し、そのすぐれた止血性と、Vaporization ができる長所を指摘している。また肝に関しては、Mullins<sup>22)</sup>、Gonzalez<sup>23)</sup>、Hall<sup>24)</sup>、Kaplan<sup>25)</sup>、Fidrer<sup>26)</sup>、Orda<sup>27)</sup> らが、電気メスと比較し、レーザーメスのすぐれた切開能力、止血性、周囲残存組織への障害が軽度である点を報告している。しかし、同じ肝切除を行なう場合でも、Hall<sup>28)</sup> らは、肝門部または肝葉の中枢側を鉗子等で循環遮断を行わずに肝切除をした場合、一度出血がはじまると、レーザーメス単独ではもはや止血することは不可能で、電気メスと同様全くその用をなさず、結局、切除時間も長く要し、硬刃メスと同程度に相当量の出血をきたす点を指摘している。これは、前述のように、CO<sub>2</sub> レーザーメス単独で止血可能な血管は直径1.5mm が限界であつたことと、CO<sub>2</sub> レーザー光自体水に対する吸収係数が非常に大きいため、一度出血が始まると、その湧き出てくる血液に熱エネルギーが吸収されたり、たとえ表面だけの血液が凝固しても、これが障害となつて、これ以上深くエネルギーが伝わらず、血管壁を収縮させたり Sealing することができなくなることに起因している。

そこで、今回著者は上述のような問題点を解決し、CO<sub>2</sub> レーザーメスの特徴がよりよく発揮できるように、ハンドピース部をガス噴射式に改良し、従来のハンドピースを用いた場合と比較検討した結果、良好な成績を得、下記のような結論に

至つた。

### 1) 切開におけるガス噴射式ハンドピースの効果

切開はガス噴射式ハンドピースを用いて、focused beam で行なうのが最も効果的である。なぜなら、切開部組織に Air Gas が噴射されることにより、風圧による一時的な圧迫止血と、切開部からの血液や滲出液の除去が行なわれ、その結果、照射部が常に dry field になり、CO<sub>2</sub> レーザー光がその効果を有効に発揮できるようになるからである。深さの程度は菱本ら<sup>19)29)</sup>の詳細な研究から、切開速度が一定の場合その先端出力に比例することが確認されているが、今回、通常硬刃メスで切開を行なつた場合と同様、毎秒2~3cmの速度で切開した場合、同じ先端出力であつても、ガス噴射式ハンドピースの場合は深さで約2倍、幅に関しては逆にやや狭く、全体として鋭い切開ができ、病理組織学的にも周囲健常組織への変性の影響も少なく、ガスが常に噴出して当たる先端部の組織像にも特に差がないという結果が得られた。このことは、実際操作中の“切れ味がよい”という感覚が切開部からの出血に全く影響されずよく切れるということで実感できた。一方、defocused beam でも切開を行なつたが、前者と比べると明らかに切開能力が劣り、止血効果も期待した程十分でなく、全体として切れ味も悪かつた。

### 2) Vaporization におけるガス噴射式ハンドピースの効果

Vaporization はガス噴射式ハンドピースを用い、defocused beam で先端出力20W以上で行なうのが最も効果的である。なぜなら、表1、表3より defocused beam の方が focused beam に比べ切開幅が明らかに広く、また図4よりガス噴射式ハンドピースを用いた方が、先端出力20W以上では、より深く切れるからであり、したがつてある容積を持った部位への“広がり×深さ”の効果が一番適しているからである。このことは、病理組織所見からも、従来のハンドピースを用いた場合は、表面が赤血球、フィブリン、滲出液等を含

んだ崩壊変性壊死に陥つた一見カルメラを思わせる層が厚く被覆しているのに対し、ガス噴射式ハンドピースを用いた場合は、崩壊肝組織が一部炭化がみられるがそのまま露出した、いわゆる新鮮化された潰瘍に似た像を呈していることから、ガス噴射効果が確認できた。また実際に操作中の感覚は、Vaporization を行なうにつれ、次々と底部に新鮮な肝組織が露出し、その進行が非常にスムーズであつた。

### 3) 切除におけるガス噴射式ハンドピースの効果

切除範囲が大きい場合はまず切除部の中枢側に鉗子等で循環遮断を行ない、高出力の focused beam のガス噴射式ハンドピースを用いて、すばやく切除したのち、切断面に defocused beam で凝固止血目的に照射を行ない、循環遮断を解除したのち、出血部を電気メスや結紮等の確実な方法で止血を行なうのが、切除時間の短縮と、レーザー単独止血の限界を越える出血点への確実な止血ができる点で最も良いと考える。

切除範囲が小さい場合は、同様に鉗子等で中枢部の循環遮断を行ない高出力 defocused beam で切除を行なう。この場合、切除量の割りに切除時間は長くなるが、鉗子を解除してもそれ程大きな血管がなければ、照射時間が長い為、組織の熱凝固作用が進行し、ほぼ完全に近い止血効果が期待できる。

なお両者において、病理組織学的な差はあまり認められなかつた。

CO<sub>2</sub> レーザーメスによる肝切除とその残存肝組織の治癒、再生過程に関しては、Orda<sup>27)</sup>、菱本<sup>29)</sup>、佐野<sup>30)</sup>らが報告しているように、電気メスと比較し、出血量も少なく、生化学的に GOT、GPT の変動をみてもその変化は小さく、組織学的に照射部の Microangiography を撮つても、その構造はよく保たれており、全体として組織障害が軽度であるため、その治癒過程もすみやかであることが確認されている。教室の白鳥<sup>31)</sup>は CO<sub>2</sub> レーザーメスと電気メスを使用し腸切を行ない、再び吻合し、両者の差異を、その吻合部の治癒過

程を, Microangiography, 吻合部張力検査, 組織学的所見等で比較検討しているが, CO<sub>2</sub> レーザーメスが電気メスと比べ非常に良好である点を確認している. 今回, 切開, Vaporization, 切除のその後の残存肝組織の治癒過程については検索しなかつたが, 従来のハンドピースと比べ, 術中出血も少なく, 病理組織学的にも差はないが, むしろガス噴射式ハンドピースを用いた方が変性壊死が少ない所見が確認できたことにより, 肝臓手術に対し, 硬刃メスや電気メスに代わる新しいメスとして, ガス噴射式ハンドピースを持つた CO<sub>2</sub> レーザーメスの使用が十分期待できると確信する.

## VI. 結 語

従来の CO<sub>2</sub> レーザーメスのハンドピース部を, 細く持ちやすいペンシル型にし, 照射部からそれを被覆している血液, 滲出液等を除去し, dry field に保つことができるように, CO<sub>2</sub> レーザー光と同軸に滅菌 Air Gas を噴出させるように改良した. このガス噴射式ハンドピースを使用し, 家兎肝の切開, Vaporization, 切除の手術手技を行ない, 従来のハンドピースと比較検討し, 次の結果を得た.

1) 切開はガス噴射式ハンドピースを用いて, focused beam で行なうのが最も良い. このとき, 切開深度と先端出力は傾き 1 の直線で比例し, 同じ W 数であるなら, ガス噴射式ハンドピースを用いた場合は, 従来のハンドピースと比べ約 2 倍深く切れる. しかし, その切開部の幅は, 逆に後者と比べ狭くなり, 切開部辺縁及び先端部の組織障害の程度は同等か少し軽度であつた.

2) Vaporization はガス噴射式ハンドピースを用いて, defocused beam で出力 20W 以上で行なうのが最も効果的である.

3) 切除はまず切除部中枢部を, 鉗子等何らかの方法で循環遮断する必要がある. なぜならば, レーザー単独で止血可能な血管の最大径は 1.5 mm であるので, 術中これより大きい血管からの出血は止血しておかないと, 湧きでてくる出血のため, レーザーメスの効果が発揮できない.

4) 切除はガス噴射式ハンドピースを用いて,

高出力 focused beam ですばやく切除し, その切除面を defocused beam で止血凝固目的に 10W 程度の強さで照射するのが, 最も切除時間がかからず出血量も少ない. そして, 前記の止血鉗子を解除し, 結紮等の確実な止血を行なう.

5) 噴射ガスの強さは, 今回 8l/分で行なつたが, 出血や滲出液の多い組織の切開や, 距離をおいて defocused beam で Vaporization や凝固を行なう場合は, もつと強い方がよい.

6) ガス噴射式ハンドピースは従来のハンドピースと比べ, 切開, Vaporization, 切除においてすぐれており, これにより CO<sub>2</sub> レーザーメスの適応を広げることができる.

稿を終るにあたり, ご懇篤なる御指導と御校閲をいただいた東京女子医科大学外科学教室織畑秀夫教授に深甚なる謝意を捧げるとともに, 本研究の病理学のご教示をいただいた同第 2 病理学教室梶田昭教授に心から御礼申し上げます. また, ご懇切なるご教示やご鞭撻をいただいた, 同外科学教室倉光秀磨助教授, 実験に際し, ご助言ご協力下さつた中谷雄三先生, 山添信幸先生, 中川隆雄先生, 白鳥敏夫先生, 小林重芳先生 および, アロカ株式会社矢田和夫氏, 木島正一氏, 川那辺純一氏, 浅見弘志氏, 松本洋氏に心から感謝いたします.

なお, この論文の要旨は, 第 42 回日本臨床外科医学会及び第 34, 第 36 回乳癌研究会にて発表した.

## 文 献

- 1) Mainman, T.H.: Optical and microwave-optical experiments in ruby. *Phys Rev Letters* 4 564 (1960)
- 2) Mainman, T.H.: Stimulated optical radiation in ruby. *Nature* 187 493~494 (1960)
- 3) 霜田光一: レーザーの医学的応用. *化学療法* 42 6~8 (1965)
- 4) 渥美和彦・桜井靖久・他: レーザーの医学への応用. *医用電子と生体工学* 4 (5) 370~392 (1966)
- 5) 渥美和彦: レーザーの医学への応用. *医学のあゆみ* 70 (8) 362~366 (1969), 71 (12) 748~752 (1969), 72 (8) 431~436 (1970), 73 (10) 610~615 (1970), 73 (12) 701~706 (1970), 74 (3) 121~126 (1970)
- 6) 桜井靖久: レーザー光線とその医学への応用. *実験治療* 466号 (1971)

- 7) 渥美和彦・桜井靖久・他：レーザー光による制がんと無血手術への応用. 日医師会誌 65 (2) (1971)
- 8) 桜井靖久・他：レーザーメスの医学的応用について. 外科治療 35 (6) 617~625 (1976)
- 9) 正津 晃：レーザーメスの現況と将来. 医器学 49 (2) 76~80 (1979)
- 10) 西坂 剛：レーザーメス. からだの科学 85 28~32 (1979)
- 11) 西坂 剛：各種レーザーメスの作用機序とその特性. 医器学 50 (1)24~25 (1980)
- 12) **Hall, R.R. et al.**: Incision of tissue by carbon dioxide laser. *Nature* 232 131~132 (1971)
- 13) **Patel, C.N.K.**: High power carbon dioxide lasers. *Sci Am* 219 22~33 (1968)
- 14) **MuGuff, P.E.**: Surgical application of laser. *Ann Surg* 160(4) 765~770 (1960)
- 15) 滝沢利明：レーザーによる脳腫瘍の治療. 脳神経学 6 (8) 743~745 (1978)
- 16) 滝沢利明：レーザーメス, 超音波メス, 超音波吸引器の現状と問題点. 医器学 50 82~87 (1980)
- 17) 三村一夫・他：炭酸ガスレーザーメスの消化器外科への応用. 手術 34 221~229 (1980)
- 18) **Goldman, L. and Rockwell, R.J.**: Laser in medicine, Gordan Breach Science. Published Inc New York (1971)
- 19) 渥美和彦・菱本久美郎・他：レーザー医学. 143~158 中山書店 (1980)
- 20) **Orda, R. et al.**: Partial distal pancreatectomy with a hand-held CO<sub>2</sub> laser. *Arch Surg* 115 869~873 (1980)
- 21) 小林重芳：炭酸ガスレーザーメスによる腓尾部切除に関する研究. 東女医大誌 52 (3)634~647 (1982)
- 22) **Mullin, S.F., et al.**: Liver resections with the continuous wave carbon-dioxide laser: some experimental observations. *Am Surg* 34 717~722 (1968)
- 23) **Gonzalez, R. et al.**: Rapid control of massive hepatic hemorrhage by laser radiation. *Surg Gynecol Obstet* 131 198~200 (1970)
- 24) **Hall, R.R. et al.**: Partial hepatectomy using a carbon dioxide laser. *Br J Surg* 60 141~144 (1973)
- 25) **Kaplan, I. et al.**: Current laser surgery. *Ann NY Acad Sci* 267 247~253 (1976)
- 26) **Fidler, J.P. et al.**: Laser surgery in exanguinating liver injury. *Ann Surg* 181 74~80 (1975)
- 27) **Orda, R. et al.**: Partial hepatectomies with hand-held laser knife: an experimental study. *Br J Surg* 64 857~861 (1977)
- 28) **Hall, R.R.**: Haemotatic incision of the liver: carbon-dioxide laser compared with surgical diathermy. *Br J Surg* 58(7) 538~540 (1971)
- 29) 菱本久美郎：レーザーメスとレーザー外科. 外科診療 14 (8) 928~942 (1972)
- 30) 佐野文男・他：炭酸ガスレーザーメスの一般外科的応用. 医器学 50 (1)33~39 (1980)
- 31) 白鳥敏夫：CO<sub>2</sub> レザーメスによる切開腸管の縫合創治療に関する実験的研究. 東女医大誌 52 (8) 992~1005 (1982)