胆管結石のレーザー碎石 —基礎的検討と臨床応用—

LASER LITHOTRIPSY FOR BILE DUCT STONE

—Experiments and clinical application—

春日謙一、藤田力也、菅田文夫

Kenichi KASUGA, Rikiya FUJITA and Fumio SUGATA

昭和大学藤が丘病院消化器内科

Department of Gastroenterology, Showa University, Fujigaoka Hospital

抄録

キーワード: Nd-YAG レーザー, レーザー碎石, 接触照射法, ニューセラミックス, 接触型
端子

Nd-YAG レーザーによる胆管結石の治療を目的として, 基礎実験および臨床応用を行った。実験 1 においては, 種々の条件における破壊効果の比較のため, 18 個のコレステロール系胆石と 7 個の色素石を用いて, 合計 232 回のレーザー照射を行った。実験 2 においては, 石英ファイバーの先端に, ニューセラミックス (人工サファイア) 端子を用いた。次に, 5 人の患者において, 胆管結石の治療のため, 経皮経肝胆道鏡下にレーザー碎石が行われた。

レーザー碎石は, 胆石に接触させて照射する (接触照射法) のが最も効果的であった。コ系石と色素石における碎石効果は, はほぼ同等であった。ニューセラミックス接触型端子の使用により, より低出力 (12~16 W/0.5~1.0 秒) で碎石効果が得られた。5 人の臨床例において, 胆道鏡下のレーザー照射により, 胆管結石が合併症なしに除去された。

胆管結石は, 水中で, 胆石に接触させて, 低出力でレーザー照射を行えば, 安全かつ効果的に砕くことができる。レーザー照射の臨床応用においては, 照射に加えて, 罅口鉗子や碎石器の使用が必要であった。

Abstract

Key words: Nd-YAG laser, laser lithotripsy, contact irradiation, new ceramics and contact probe

Experimental and clinical studies were conducted with respect to the treatment of bile duct stones with Nd-YAG laser irradiation. In the first experimental study, a total of 232 Nd-YAG laser irradiation were carried out under various conditions using 18 cholesterol stones and 7 pigment stones in

order to compare the lithoclastic effect. In the second experimental study, a new ceramics (artificial sapphire) probe was used at the tip of the quartz fiber. A clinical attempt was made to crush the bile duct stones with a laser lithotripsy through percutaneous transhepatic cholangioscopy in 5 patients.

The laser was the most effective when irradiated with the instrument in contact with the stones. The lithoclastic effect was comparable on cholesterol and pigment stones. The use of a new ceramics contact probe increased the lithoclastic effect at low output levels (12-16W per 0.5-1.0 second). In practices bile duct stones were successfully removed by transcholangioscopic laser irradiation in 5 patients without any complications.

Bile duct stones can be effectively and safely crushed by laser irradiation at low output levels in water with the instrument in contact with the stones. In clinical application of laser irradiation, the use of jaw forceps and lithotriptors was necessary in addition.

1. 緒言

1960年にMaiman¹⁾がルビーレーザーの発振に成功し、翌1961年には医学の分野への応用²⁾が開始された。消化器領域においては、1970年にGoodaleら³⁾が、硬性胃鏡下にCO₂レーザーによる止血に成功して以来、内視鏡によるレーザー治療の発展^{4)~6)}はめざましいものがある。本邦でも内視鏡下の、レーザーによる止血や腫瘍に対する治療方法^{5), 6)}が次第に確立されつつある。他方、近年本邦において、治療困難な肝内および肝外の胆管結石に対して、胆道鏡下レーザー照射による碎石術^{7)~10)}が行われ、極めて高い有用性が報告されている。しかしその方法論についてはまだ一定のものが示されていない。そこでわれわれは、レーザーによる胆石の破壊に関して、基礎的研究およびこれを基本とした臨床応用を行い、その安全性、有用性などについて検討した。

II. 対象および方法

1. 基礎的研究

<実験1> 照射方法に関する検討

最大径が6mm以上のコレステロール胆石(以下コ系石と略)18個(純コレステロール石2個, 混合石10個, 混成石6個), 色素胆石(以下色素石と略)7個(ビリルビンカルシウム石6個, 黒色石1個)に対して, 照射実験を行った。実験方法および照射条件は次の通りである。①空气中, 水中, および胆汁中。②直接接触法と非接触法。③レーザーの出力設定は, 25~80W, 0.5~2.0秒で, 各々ジュール(以下Jと略)に換算。④照射エネルギー総量は小(30J以下), 中(30~50J), 大(50

~80J)の3段階に分けた。胆石に対する破壊効果は, 照射によって形成された陥凹部の深さと最大径を計測して判定した。胆石は手術または内視鏡的截術一経皮経肝胆道鏡(以下PTCSと略)または内視鏡的乳頭括約筋

写真1 MBB Medilas YAG レーザー

写真2 接触照射法(左)と非接触照射法(右)

写真3 ニューセラミックスプローブ
上：円錐型
中：円柱型
下：弾頭型を装着したカテーテル

切開術（以下ESTと略）によって得られたものを用いた。胆石の種類は、日本消化器病学会胆石症検討委員会案¹¹⁾を参考に胆石の外観および断面構造により判定した。胆汁は、経皮経肝胆道ドレナージ（以下PTCDと略）によって得られたものを用いた。レーザー発振装置は、M.B.B社製、Medilas Nd-YAGレーザーである（写真1）。レーザー光の伝導は、直径0.6mmの石英ファイバーを、外径1.6mmのテフロン製チューブ内に挿入したものを用いた。本基礎実験にて、①胆石表面に石英ファイバー先端を接触させて照射する方法（接触照射法）と胆石から距離をおいて照射する方法の対比（写真2）②照射エネルギー(J)による差違③空気中、水中、胆汁中における違い④胆石の種類による差違⑤胆

石の断面構造による差違などについて破壊効果を比較検討した。

＜実験2＞接触型導光端子を用いて行った照射方法の検討

石英ファイバー先端を露出した状態で接触照射を行うと先端が破損しやすいため、耐熱性、硬度、強度などにまさるニューセラミックス(Al_2O_3)の接触型端子（写真3）を、先端に装着して照射実験を行った。最大径が8mm以上のコ系石8個、色素石2個に対して、ニューセラミックス接触型端子を、水中にて胆石に接触させ、4～16W、0.2～1.0秒の条件で照射した。端子の形状は円錐型のもの、円柱型のもの、弾頭型の3種類を用いて比較した。YAGレーザー装置は、低出力側で不安定な出力となるため、シイベル機械社製の減衰器を用いて5～20Wの範囲内で安定化させた。先端出力は、M.B.B社の出力計を用いて測定した。なお以上の基礎的研究の成績に対する統計的処理はt検定を用い、危険率5%未満をもって有意差ありと判定した。

2. 臨床応用

1982年5月より1984年12月までの間に、ESTにて除去しきれなかった総胆管結石症の3症例、肝内および肝外の胆管結石症の2症例、男1、女4、35～78歳（平均57歳）に対して、胆道鏡下にレーザー照射を行った。病変部へのアプローチは、PTCDの瘻孔を拡大し、オリンパス社製胆道鏡CHF B3Rおよび4Bを挿入して行った。内視鏡観察は灌流水下に行った。レーザー発振装置は基礎実験に用いたものと同一である。最初の1例は、石英ファイバーの先端を結石から5mm離して、50～70W、1.0秒の照射を行った。後の4例は、石英ファイバー先端を直接結石表面に接触させて、30～50W、1.0秒の照射を行った。全例に、レーザー照射後、鉗口鉗子やバスケッ

写真4 接触照射法(30W, 1.0秒)によって生じた陥凹

ト鉗子などによる戱石を行った。

Ⅲ. 結果

1. 基礎的研究

＜実験1＞接触型導光端子を用いずに行った照射による成績

①接触照射法と非接触照射法の対比

接触照射法と非接触照射法の対比をするため以下の実験を行った。胆石から5mmの距離をおいて照射した群では、80W, 1.0秒の照射においても胆石の表面がわずかに融解したり炭化するのみであった。直接接触させて照射した群では、30W, 1.0秒の照射においても胆石に円筒状の陥凹を形成した(写真4)。接触照射法が明らかに優れていたため、以下の実験はすべて接触照射法によって行った。

②照射エネルギーによる差違

コ系石においては照射エネルギーが増大するほど胆石に深い陥凹を生じた(表1)。照射エネルギーが大(50～80J)のとき、水中においても15個中3個(20%)の胆石(直径6mm, 8mm, 10mm)に貫通したものがみられた。色素石においても照射エネルギーを大, 中, 小に分けて破壊効果を比較すると(n=4), 照射エネルギー

表1 コレステロール系胆石

エネルギー 環境	大 (50～80J)	中 (30～50J)	小 (30J以下)	
空 中 (n=15)	8.8±2.0 mm	5.5±2.2	3.5±1.3	*
水 中 (n=15)	6.9±2.4	3.9±1.8	2.8±1.2	*
胆汁中 (n=7)	7.4±2.9	5.2±1.9	3.6±1.5	*

照射エネルギーの大きさと碎石効果

* : 有意差あり(P<0.01)

表2 コ系石と色素石における碎石効果

環境	胆石	コ系石(n=18)	色素石(n=7)	
空 中		5.1±2.2mm	3.3±1.0	*
水 中		3.8±1.7	3.8±1.5	
胆汁中		5.2±1.9	3.3±1.4	

照射エネルギー : 30～50 J

* : 有意差あり(P<0.05)

が増大するほど深い陥凹を生じたが統計学的に有意差は認められなかった。照射エネルギーが大(50～80J)のとき、水中においても4個中1個(25%)の胆石(直径8mm)が貫通した。次に、同じ出力においては、コ系石色素石ともに照射時間が長いほど深い陥凹を生じた。

③空気中, 水中, 胆汁中における差違

コ系石においては、照射エネルギーが中(30～50J)の時、空気中と水中における破壊効果を比較すると、空気中では平均5.1±2.2mm, 水中では平均3.8±1.7mm(n=15)と、有意に空気中における照射の方が深い陥凹を生じた(p<0.05)。また同じ条件で空気中と胆汁中(n=6)とを比較すると、空気中における照射の方が有意に(p<0.01)深い陥凹を生じた。水中と胆汁中(n=7)における破壊効果には有意差は認められなかった。色素石においては(n=3), 空気中, 水中, 胆汁中における破壊効果に有意差は認められなかった。

④胆石の種類と碎石効果

コ系石18個と色素石7個について、照射エネルギーが中(30～50J)のときの破壊効果を比較した。空気中においては、コ系石の方が有意に深い陥凹を生じたが、水中, 胆汁中においてはコ系石と色素石の間に有意差はなかった(表2)。次に、コ系石の中で純コレステロール石2個, 混合石8個, 混成石6個について、水中で30～50

表3 ニューセラミックスブローグによる碎石効果（陥凹の深さ）

円錐型ブローグ

出 力	4～6 W			6～8 W			10～12 W			14～16 W		
	0.2秒	0.5秒	1.0秒	0.2秒	0.5秒	1.0秒	0.2秒	0.5秒	1.0秒	0.2秒	0.5秒	1.0秒
胆 石												
1. 混 成 石	<0.5 mm	0.5 mm	0.5 mm	<0.5 mm	1.0 mm	2.0 mm	0.5 mm	1.0 mm	3.0 mm	0.5 mm	2.0 mm	3.5 mm
2. 混 成 石	<0.5	<0.5	0.5	<0.5	0.5	1.0	0.5	1.0	2.0	1.0	2.5	3.5
3. 混 合 石	<0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.0	0.5	2.0	2.5	0.5	2.5	3.0
4. 純コレステロール石	1.0	2.0	2.5	1.5	2.5	3.0	2.0	2.5	3.5	2.0	3.0	4.0
5. ビルルビンカルシウム石	0.5	0.5	1.0	0.5	0.5	2.0	0.5	1.0	2.0	1.0	2.0	2.5

弾頭型ブローグ

出 力	4～6 W			6～8 W			10～12 W			14～16 W		
	0.2秒	0.5秒	1.0秒	0.2秒	0.5秒	1.0秒	0.2秒	0.5秒	1.0秒	0.2秒	0.5秒	1.0秒
胆石												
6. 混 合 石	<0.5 mm	<0.5 mm	0.5 mm	<0.5 mm	1.0 mm	1.5 mm	0.5 mm	1.5 mm	2.0 mm	0.5 mm	2.0 mm	3.0 mm
7. 混 合 石	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	1.0	1.5	0.5	1.0	2.0	0.5	2.0	3.0
8. 混 成 石	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	0.5	1.0	<0.5	1.5	2.0	0.5	1.5	2.5
9. 純コレステロール石	<0.5	1.0	1.5	0.5	1.0	2.0	0.5	2.0	3.0	1.0	2.5	4.0
10. ビルルビンカルシウム石	<0.5	<0.5	0.5	0.5	1.0	1.5	0.5	1.0	2.5	0.5	2.0	3.0

Jの照射条件で、生じた陥凹の深さを比較したが、それぞれの間に有意差は認められなかった。

⑤胆石の割面構造の違いと碎石効果

水中で、30～50Jの照射条件で、割面に層構造のあるもの19個と、ないもの3個について、照射によって生じた陥凹の深さを比較したが、両者の間に有意差はなかった。次に同じ条件で、外殻構造のあるもの6個と、ないもの18個について比較したが、両者の間に有意差はなかった。

＜実験2＞接触型導光端子（ニューセラミックス）を用いて行った照射

①接触型端子の形状（円錐型、円柱型、弾頭型）にかかわらず、12～16W、0.5～1.0秒の照射により、胆石に2～4mm程度の円筒状陥凹を生じた（表3）。②形成された陥凹の深さにはあまり差がみられなかったが、陥凹の直径は円柱型、弾頭型の方が、円錐型より大となる（平均2～3mm）傾向がみられた。③しかし円柱型の場合、先端部全体が胆石の中に埋入して抜けなくなることもあった。④いずれの型の場合も4～16W、0.2～1.0秒の照射条件で、照射回数が150～200回をこえると、先端部の形状が変化し始め、先端出力にも低下傾向がみられた。

2. 臨床応用

鉗子やカテーテルなどの通常の方法のみでは、摘出が困難であった肝内または肝外の胆管結石を有する5症例に対して、経皮経肝胆道鏡下にレーザー碎石術を行い、全例において結石の完全除去に成功した（表4、写真5、6）PTCSは平均7.4回、レーザー碎石は平均3.2回であった。いずれの症例もレーザー照射後は、鰐口鉗子、バスケットカテーテルなどを用いて結石を除去した。合併症は、最初の1例に軽度の焼灼潰瘍（胆管壁）を認めたのみであった。この症例は、非接触照射法にてレーザー碎石を行った唯一の症例であり、他の4例は全例とも接触照射法にて行い、合併症は何等認められなかった。尚、以上の5症例は、high riskなどの理由で、手術不能かまたは手術を拒否した症例であった。

IV. 考察

肝内および肝外の胆管結石症の非観血的治療法として近年、内視鏡による結石除去術^{7)～10), 12), 13)}の評価が確立されつつある。胆道鏡下または経十二指腸ファイバー的に、鰐口鉗子、バスケットカテーテル、バルーンカテーテルなどを用いて行う載石法は、有用であるが巨大結石や嵌頓結石に対しては、その効果にはおのずと限界

表4 臨床例の治療成績

症 例	診 断	結 石	治療法	PTCS	laser 碎石	総照射 エネルギー	最終結石 除去率
1. 76歳, 女	総胆管結石症(単発, 34×28mm)	コ系石	PTCS, laser	11回	5回	31,066J	100 %
2. 37歳, 女	肝内結石症(多発) 総胆管結石症(多発)	色素石	PTCS, laser, EST	10回	3回	12,214J	100 %
3. 61歳, 女	総胆管結石症(単発, 25×22mm)	コ系石	EST, PTCS, laser	7回	2回	11,196J	100 %
4. 78歳, 男	総胆管結石症(多発)	コ系石	EST, PTCS, laser	5回	4回	9,647J	100 %
5. 35歳, 女	肝内結石症(多発) 総胆管結石症(多発)	色素石	PTCS, laser, EST	4回	2回	5,842J	100 %

截石前 截石後
写真5 症例2 37才 女

截石前 截石後
写真6 症例5 35才 女

がある。通常の方法では截石が困難なこれらの結石に対して、高周波¹⁴⁾、電気ドリル¹⁵⁾、電気水圧衝撃波^{16) 17)} また最近ではマイクロ波¹⁸⁾、超音波¹⁹⁾ などを用いた碎石法が報告されているが、安全性、効率の良さ、適応の範囲などにまだ難点があるものが多い。その点レーザーによる碎石は、効率がよく、直視下に行うことができ、かつ結石をバスケットカテーテルなどで把持しなくても照射できる点で優れている。さらに、適切な照射条件にて行えば全く安全に行いうる。難点としては装置が大掛かりで、高価である点などがあげられる。前者に関しては、将来は、より小型化、軽量化されるであろう。後者に関しては、一台のレーザー発信装置で消化管、胆道、呼吸器、耳鼻咽喉科など多方面に応用すれば、経済的効率は向上しよう。

これらが反映されてか、近年諸家^{7) ~ 10)} により、経胆道鏡的にレーザー碎石が行われ、良好な成績が報告されている。さて、レーザーの照射法に関しては、折居ら

⁹⁾は、接触照射法の安全性について述べている。事実、狭い胆管内では、患者の呼吸運動などによる誤照射のおそれもあり、非接触照射法が危険性の高いことは否定しえない。われわれの今回の基礎実験および臨床例の経験より、胆道鏡下のレーザー碎石術に関しては、破壊効果の面における接触照射法の優位性を証明しえたと考えられるので、安全性および確実性の面を加味して、非接触照射法より接触照射法がはるかに優れていることは明らかであろう。

次にレーザーの出力と照射時間に関する実験の成績については、レーザー接触照射においては、照射エネルギーの増大により、胆石が粉碎するのではなく、陥凹を生ずること、そしてこの陥凹は、照射エネルギーが増大するほど深くなることが明らかとなった。従って臨床応用に際して、砕かれた結石の小破片が飛び散って胆管壁を損傷する危険性は少ないものと思われる。一方、結石は粉碎されないで、何回か照射を繰り返した後、生じた陥

回を足掛かりにして、鰐口鉗子などの補助的碎石器具を使用することにより、碎石効果が発揮されることを知りえた。次に貫通の危険性については、実験的（実験1）に検討してみた成績において、コ系石で15個中3個（20%）、色素石で4個中1個（25%）に貫通した（条件；水中、エネルギー大—50～80J—、接触照射、直径6～10mmの大きさの胆石）。またエネルギー小（30J以下）の照射（水中）では、コ系石、色素石とも2mm以下の深さの陥凹しか生じさせることができなかった。また照射時間に関しては、長くなると、この間に結石が動いたり、照射ポイントがずれたりする危険性があり、1回の照射時間は0.5～1.0秒が望ましいものと思われた。以上のことから、接触照射法では、エネルギー中、即ち、30～40W、0.5～1.0秒の照射を繰り返す方法が、貫通の危険もなく、かつ効果的であると考えられた。尚、条件の設定にあたっては、同一の条件でも、症例により碎石効果に多少の差があると思われるため、安全性の面より、症例ごとに必ず低い出力より始め、徐々にエネルギーを増大させ、適切なエネルギー（結石に3～5mmの深さの陥凹を生じさせるエネルギー）を決定することが大切と思われる。

次にレーザーの照射環境に関する実験の成績であるが、空気中における照射においては、エネルギーの減衰が少ないため、当然のことながら水中、胆汁中における照射より破壊効果は大であった。水中、胆汁中における効果に差がなかったことから、水中における照射エネルギーを臨床に應用することが可能であると推定される。われわれは、半導体温度計を用いて胆石照射時の温度実験²⁰を行った。空中における照射では、胆石表面から5mmの距離で、温度は158℃に達した。蒸留水の注入速度に関する実験は以下の通りに行った。通常の総胆管内径に似せて内径6mmのプラスチックチューブを用いた。30～40ml/分（50W、1.0秒の照射）の注入速度の場合、胆石表面から5mmの距離における水温上昇のピークは40～50℃であった。注水ドレーザー照射のもとでは、直後の温度上昇は40～50℃で、注入速度の如何んに影響されなかったが、注入速度を速めると、温度下降は速やかであった。実際のレーザー碎石においては、胆道鏡の鉗子孔より常に蒸留水を流しながら行う方法が安全であろう。蒸留水の注入速度は、30～40ml/分（30～50W、1.0秒の照射、ニューセラミックス端子を用いない場合）で胆管損傷を予防できると思われる。さらに照射後は、one shotの洗浄を随時加えることにより、常に良好な視野を保ちうることが実験的に確かめられた。

コ系石と色素石との破壊効果の比較に関しては、従来

コ系石の方がより大きな照射エネルギーを要するという報告^{7,10}が多かったが、われわれの実験（接触照射法）では、空気中ではむしろコ系石の方が深い陥凹（表1）を生じ、水中、胆汁中においては両者に有意差は認められなかった（表2）。また胆石の剖面構造の違いによる破壊効果の差は認められなかった。従って、これまで色素石が主体であった胆管結石に、最近コ系石の比率がやや増加してきたとはいえ、結石の種類によって照射エネルギーの設定を別々にする必要はないと考えられる。

さて、一般に使用されている石英ファイバーの先端を直接結石に接触させて照射を行うと、先端が容易に破損、燃焼するため、頻回に先端の修復再生作業を行わねばならない。これは石英ファイバーが耐熱性に劣り、また破壊産物などが付着しやすいためと思われる。この点を改善するため、最近ニューセラミックス（ Al_2O_3 の熔融体）の接触型導光端子が開発され、消化管分野ではすでにその有用性が報告^{21,22}されている。本端子は、石英より耐熱性、硬度に優れ、組織や物質の付着も少ない点、高拡散ビームであるため、胆道碎石においても、より低出力で照射効果が得られる¹⁰点などの特徴を有している。最近のもの（S.L.T Japan社製）では、導光ファイバー先端部での脱着、交換が容易に行えるため、それぞれの用途に応じた形状のものを使い分けことが可能である。今回の実験では、形状が円錐型、円柱型、弾頭型のいずれを用いても、12～16W、0.5～1.0秒の照射で、結石に2～4mm程度の深さの陥凹を形成した。円柱型、弾頭型の方が陥凹の直径は大きくなる傾向がみられたが円柱型の場合に先端部全体が結石の中に埋入して抜けなくなることもあった。このため先端部の形状は、弾頭型のものが最も適していると思われる。次にニューセラミックスプローブの損傷の程度については、われわれの実験ではいずれの型の場合も、照射回数が150～200回をこえると、少しずつ先端部の形状に変化がみられ、それにつれて先端出力にも低下傾向がみられた。1症例に100回照射を行うとすると、1個のプローブで数症例までは使用可能と思われる。次にこのプローブの短所に関しては、今回の実験中にはおこらなかったが、照射中に先端部がはずれて胆管内におちてしまう危険性も考えられる。また1個の単価が数万円以上と高価である。以上のことと、われわれの基礎的実験の成績を総合するとレーザー碎石においてニューセラミックス接触型導光端子は、石英ファイバーに比べ、明らかに耐久性に優り、低出力で効果が得られるが、より耐久性の高い一例えば1個で1000回以上の照射に耐えうるような一材質の開発および、より安全で安価なものになることが望ましい

と考えられる。

次にレーザー碎石の安全性に関しては、神津²³ 早川²⁴ は人摘出胆嚢や犬の胆嚢への照射実験を行い、適切な条件と方法の下でのレーザー碎石の安全性について述べ、折居⁹ は接触照射法の安全性について述べている。またこれまでレーザー碎石の臨床応用の報告^{7~10} は数多くなされているが、重篤な合併症の報告は1例もない。われわれの臨床例でも、非接触照射法にて行った最初の1例に、胆管粘膜の焼灼潰瘍（軽度）を認めたのみで、他の4例は、合併症はなく、全く安全に行いえた。これは、適切な条件設定をして、流水中で結石を正面にとらえてかつ確実に接触させて行ったためと思われる。われわれの考えた適切な条件とは、石英ファイバーを直接結石に接触させて行う場合は、出力30~40W、照射時間0.5~1.0秒であり、ニューセラミックス接触型端子を先端に装着して行う場合には、出力12~16W、照射時間0.5~1.0秒であった。

レーザー碎石の適応は、鉗子やバスケットなどによる通常の方法では截石が困難な、巨大結石や嵌頓結石である。肝内、肝外の胆管のみでなく、最近では、経皮経肝胆嚢鏡²⁵（以下PTCCSと略）により、胆嚢内の結石にもレーザー照射が行われるようになった。PTCSおよびPTCCSによる截石は、遺残、再発結石またはhigh risk患者が最も良い適応であるが、二村⁸、折居⁹、山川¹²らは術前截石の重要性を指摘しており、将来は適応が広がり、さらには根治的治療法となる可能性も秘めている。尚レーザーによる截石は、あくまでも補助的手段でありレーザー照射後に生じた陥凹を足掛かりに、種々の鉗子やカテーテルを用いて結石除去を行わねばならない。

次にわれわれの経験した臨床例の成績について検討してみると、i) 通常の方法のみでは摘出困難であった結石が、レーザー碎石を併用することにより、完全に除去された。ii) 接触照射法を用いた4例においては、非接触照射法を用いた1例より、はるかに少ない総照射エネルギー量で効果が得られた。iii) 合併症は、5例中、非接触照射法を用いた1例を除いては認められなかった。iv) コ系石3例にも有効であった。などの事実を明らかにした。

レーザー碎石のアプローチルートに関しては、従来PTCDの嚢孔、術後Tチューブ嚢孔、術後の空腸嚢を介して胆道鏡を挿入して行う3方法^{8), 12)}（およびこれらの組み合わせ法）がある。最近これに加えて、PTCCSによる胆嚢結石の治療にもレーザーが用いられている。これらの方法は、いずれも経皮的なアプローチ法であるが、近年経口胆管鏡^{26), 27)}の発展もめざましく、将来こ

れにレーザーを導入することが可能となれば、侵襲も少なく、治療期間もはるかに短縮されることになろう。また結石による急性閉塞性化膿性胆管炎に対する緊急碎石も可能となろう。

V 結論

1) 実験的成績より、レーザーによる碎石の条件としてコ系石、色素石ともに、石英ファイバーの接触照射法では、30~40W、0.5~1.0秒、ニューセラミックス接触型端子を用いた照射では、12~16W、0.5~1.0秒が適切な照射条件と思われた。

2) 灌流水中で、接触照射法にて、上記の条件の照射を反復して行う方法が、安全かつ有効であると思われた。

3) ニューセラミックス接触型端子による基礎的検討において、本端子は非常に有用であったが、さらに端久性安全性にすぐれた材質の開発が必要であることが痛感された。

4) 臨床例については、少数例の成績ではあるが、レーザー照射による碎石は、適切な条件、照射法にて行う限り、非常に安全で有用な手段であり、しかも、コ系石に対しても有用であることが示された。

5) ただし截石術には、レーザー照射のみでなく、鉗口鉗子や截石器具などの併用が欠かせないことが明らかにされた。

稿を終えるにあたり、御協力を賜った茅野嗣雄君津病院副院長、仲吉昭夫昭和大学藤が丘病院外科助教授に心から深謝致します。

文献

- 1) Maiman, H.T : Stimulated Optical Radiation in Ruby. Nature, 187 : 493 - 494, 1960.
- 2) Zaret, M.M. et al. : Ocular lesions produced by an optical Maser(Laser). Science, 134 : 1525-1526, 1961.
- 3) Goodale, L.R. et al. : Rapid endoscopic control of bleeding gastric erosions by laser radiation. Arch Surg, 101 : 211-214, 1970.
- 4) Kiefhaber, 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.
- 5) 水島和雄, はか : レーザーコアグレーターの基礎的

- 検討と臨床への応用. *Gastroenterological Endoscopy*, 21(8) : 938-946, 1979.
- 6) 大谷達夫, はか: レーザー内視鏡法による胃癌の治療とその効果. *Gastroenterological Endoscopy* 26(2) : 184-191, 1984.
 - 7) Kazuo Orii. et al.: Choledocholithotomy by Yag laser with a choledochofiberscope : Case reports of two patients. *Surgery*, 90 : 120-122, 1981.
 - 8) 二村雄次, はか: 肝内結石症に対する各種内視鏡を利用した治療法. *外科治療*, 46(5) : 577-586, 1982.
 - 9) 折居和雄: 胆道内視鏡的碎石法. *胆と膵*, 6(10) : 1385-1392, 1985.
 - 10) 神津照雄, 山崎義和: レーザーによる胆石症の治療. *日本レーザー医学会誌*, 5(4) : 13-18, 1985.
 - 11) 松代 隆, 鈴木範美: 胆石の新しい分類. *胆と膵*, 5(1) : 9-13, 1984.
 - 12) 山川達郎, 三芳 端: 術中, 術後胆道内視鏡検査の実際. *胆と膵*, 6(10) : 1321-1326, 1985.
 - 13) 後町浩二, はか: 経皮経肝の胆道内視鏡検査の適応, 応用と合併症. *胆と膵*, 6(10) : 1327-1337, 1985.
 - 14) 笹島唯博, はか: 肝内遺残結石に対する内視鏡的碎石術—電気メスを応用した高周波電流碎石術について—. *外科*, 41(13) : 1455-1458, 1979.
 - 15) 児島辰也, はか: 経皮経肝的に結石を除去し得た胆石症の4例. 第21回日本胆道疾患研究会プロシーディングス : 266-267, 1985.
 - 16) Koch, H., Stolte, M., Waiz, V. Endoscopic lithotripsy in the common bile duct. *Endoscopy*, 9 : 95-98, 1977.
 - 17) 羽生富士夫, 後町浩二: 胆石症における載石法と結石破砕法. *臨床と研究*, 62(8) : 134-143, 1985.
 - 18) 井上茂章, はか: Microwave lithotomy. *日消外会誌*, 18(2) : 539, 1985.
 - 19) Demling, L. et al : Lithotripsy in the common bile duct using ultrasound preliminary in vitro experiments. *Endoscopy*, 16 : 226-228, 1984.
 - 20) Zhang, Qi. Lian. et al : Laser-beam lithotripsy for the bile duct stone via percutaneous-transhepatic cholangioscope. *昭和医学会雑誌投稿中*
 - 21) 鈴木荘太郎, はか: 消化管粘膜に及ぼすレーザー照射の影響 (第6報) —接触型レーザーロッドによる基礎的研究—. *Gastroenterological Endoscopy*, 26(5) : 705-710, 1984.
 - 22) 中原 朗, はか: 各種レーザー治療における工夫と改良 (特に接触法, 穿刺法と照射法の比較について). *日本レーザー医学会誌*, 5(3) : 185-190, 1985.
 - 23) 神津照雄, はか: 胆道結石における Laser Endoscopy の効用と限界. *日本レーザー医学会誌*, 3 : 39-46, 1982.
 - 24) 早川直和, はか: レーザー胆道鏡の研究—胆道粘膜への影響—. *Gastroenterological Endoscopy*, 25(7) : 1050-1056, 1983.
 - 25) 乾 和朗, はか: 経皮経肝胆道鏡 (PTCS 及び PT CCS) を用いた, 胆石の非観血的治療. 第21回日本胆道疾患研究会プロシーディングス : 268-269, 1985.
 - 26) 酒井秀朗, はか: 経口的胆道鏡 (FDS-CP) の開発に関する研究. *Gastroenterological Endoscopy*, 23(10) : 1431-1436, 1981.
 - 27) 竹本忠良, 有山重美: 経口的胆道内視鏡. *胃と腸*, 17(11) : 1179-1184, 1982.