胆道鏡下碎石におけるレーザー接触照射法の検討

INVESTIGATIONS ON LASER CONTACT IRRADIATION IN ENDOSCOPIC LITHOTOMY.

山崎義和*, 神津照雄, 円山正博, 村島正泰, 竜 崇正,
佐藤 博, 大工園則夫**

Y. Yamazaki*, T. Kouzu, M. Maruyama, M. Mura-
shima, T. Ryu, H. Sato and N. Daikuzono**.

千葉大学第二外科

*Second Dept. of Surgery, University, School
of Medicine, Chiba, Japan. **S.L.T., Japan

After various basic investigations with cholesterol and calcium bilirubinate stones we have performed cholangioscopic lithotomy using Nd:YAG laser. From our experience, a repeated irradiation of 70w, 0.5sec. on calcium bilirubinate stones and 70-80w, 2 sec. on cholesterol stones are the ideal conditions to achieve a complete lithotomy. Since an irradiation of more than 2sec. is considered dangerous, specially on GB cholesterol stone because it may slip off, an improvement of this method was achieved. Basic investigations using contact irradiation through new ceramics attached to the tip of the fiber, raising its temperature and breaking the stones were carried out.

I はじめに

胆道鏡下截石に際し、碎石の手段としてビリルビン系石には70W, 0.5秒, コレステロール系石には70~80W, 2秒間の条件でNd:YAGレーザーを使用し良好な成績を得ている。最近では胆嚢結石症例に対する本治療例の増加があるが、特にコ系石では2秒間と照射時間が長く照準がづれて胆管壁を損傷する危険がある。そこで先端部に熱に強くかつ蓄熱性を有するニューセラミックスを装着し、接触照射することにより先端部を高温にし、

結石を砕くことを考え、基礎的検討を行なった。

II Nd:YAGレーザーによる胆道鏡下截石の成績

胆道鏡下截石に際し、従来大結石や嵌頓結石に対して結石を砕くことができず、しばしば結石遺残の止む無きに至っていた。我々は碎石の手段としてNd:YAGレーザーを使用、ビリルビン系石、コレステロール系石に対する種々の基礎的検討を行ない、ビ系石には70W, 0.5秒の反復、コ系石には70~80W, 2秒の反復で穿孔深度を確認しながら

ら照射すれば安全かつ有効であるとの結論を得、1980年1月より臨床に応用している。

教室における1974年1月から1984年9月までの胆道鏡下截石例は91例であるが、1980年1月のレーザー導入を境に前後の2期に分け、その完全截石率を検討してみると、胆道鏡下に鉗子類しか利用できなかった前期の完全截石率は、47例中31例(66.0%)であり、截石時にレーザーを必要に応じ使うようになった後期の完全截石率は、44例中42例(95.5%)と著明に向上した(表1)。

胆道鏡下截石法の成績

()完全截石率 千大ニ外 1974.1.~1984.9.

結石部位		截石法	術中のみ施行	T-tube経路	PTCD拡張経路	計
前期	肝内結石	33例	4/7 (57.1%)	13/24 (54.2%)	2/2 (100.0%)	31/47 (66.0%)
	総胆管結石	14	7/8 (87.5%)	5/6 (83.3%)		
後期	肝内結石	23		12/12 (100.0%)	9/11 (81.8%)	42/44 (95.5%)
	総胆管結石	16	2/2 (100.0%)	9/9 (100.0%)	5/5 (100.0%)	
	胆嚢結石	5			5/5 (100.0%)	

表 1

実際にレーザーを用いた胆道結石の截石例は22例であった。うちわけは表2の如くで遺残肝内結石8例、胆道再建後吻合部狭窄のため発生した肝内結石2例、手術既往のない肝内結石3例、術後の総胆管結石4例、胆嚢結石5例である。結石遺残の症例6を除く、21例中最長3年7ヶ月を含め、1例も結石再発を認めていない。胆嚢結石5例中2例はコレステロール90%以上のコ系石であった。

このように胆嚢結石特にコ系石に対しても胆道鏡下に截石する機会が増加しているが、コ系石では70~80W、2秒間と照射時間が長く、照準がづれて胆管壁に直接レーザーが照射される危険性もある。低い出力で照射時間が短かくて同様な碎石効果が得られる照射法の開発が必要となってきた。

III 接触照射法

そこで先端部に熱に強いニューセラミックスを装着し、接触させながら照射することにより先端部を高温にし、この熱により結石を溶かしたり、砕くことが可能と考え、種々の検討を行なった。

胆道鏡下Nd:YAGレーザー利用の截石例

千大ニ外 1980.1~1984.9

症例	年齢・性	疾患	截石経路	截石後の予後
1. S. S	32 男	遺残肝内結石	T-tube	3年7月 再発(-)
2. N. W	54 男	"	"	2年9月 "
3. T. S	73 男	"	"	2年5月 "
4. K. A	52 男	"	"	2月 "
5. Y. G	52 男	"	T-tube+PTCD	2年2月 "
6. S. A	54 男	"	"	1年7月 遺残(+)
7. T. F	34 男	"	PTCD	3年2月 再発(-)
8. T. A	39 男	"	"	2年3月 "
9. H. S	20 男	胆道再建後肝内結石	"	2年6月 "
10. K. T	58 男	"	"	2年 "
11. S. O	34 男	肝内結石	"	3年3月 "
12. T. S	44 男	"	"	2年11月 "
13. T. I	65 男	"	"	1年2月 "
14. T. K	54 男	術後総胆管結石	"	2年11月 "
15. S. F	53 男	"(再発)	"	2年1月 "
16. K. H	34 男	"	"	2年1月 "
17. E. I	88 男	"	"	2年1月 "
18. T. S	83 男	胆嚢結石	胆嚢外瘻	1年3月 "
19. S. O	41 男	"	PTBD	1年1月 "
20. H. U	58 男	"	"	1年1月 "
21. T. H	59 男	"	"	10月 "
22. T. I	76 男	"	"	2月 "

表 2

1. 出力について

教室ではMBB社のYAGレーザー発振装置メダラスを使用しているが、低出力の変動が多いためにCoherent社の出力メータを用いて出力を測定してみた。図1は縦軸に出力W、横軸に時間(秒)をとったもので、Aは12A、B14A、C15A、D17A、E19A、F21A、G23A、H25A、Iは最大電流を流したもので、一定電流を9秒間流した時の出力の変動を表わしている。紙を送る速度は10mm/秒である。AからIいずれも出力が安定するまでに4秒間を要している。従って照射時間を4秒以内に設定した場合には、その時間により表示ワットが著しく変わってくる。

図 1

こういった変動は特に図2のように弱電流で著明である。Aは13A, B 14A, C 15A, D 16A, E 17Aの電流で照射した場合で、いずれも30W以下であるが、特にA・B・Cの弱電流での照射では一度急上昇してから徐々に下降し、やがて安定してくる。従って従来の如く、ワット数で表示をすると10W以下の場合、照射時間により数値が極端に変わってしまう。従ってMBB社のYAGレーザー発振装置を使用する際には、アンペアで表示するか、平均W数で表示する必要があると思われる。

図 2

2. コ系石に対する照射の検討

次にファイバー先端に長さ約4mmのニューセラミック製の円錐型の先端部を用いてレーザー照射を行ないコ系石の穿孔深度を比較検討した。結石はいずれもコレステロール含有率98%以上の純コレステロール石であった。

まず出力を5Wに設定(この場合推定電流は、13~14.5A)、結石に対し各々1秒、2秒、3秒間照射し、その穿孔深度をみると、深さはまちまちであった(表3)。また穴の直径も小さく碎石の手がかりにはなりにくいと思われる。しかも高熱のためか、途中でニューセラミックの先端が摩耗してしまい、最初4mmあった先端部が出力を上げて行くにつれて短くなってしまい、出力15Wの設定では、長さも約0.5mmとなってしまうしかも、結石からは炎や煙を出すようになり危険と思われた(表4)。

以上のことから円錐型は穴が小さすぎることで、先端が摩耗しやすいこと等から、碎石には適していない形態と思われる。

そこで写真1の様に、簡単に脱着できるニュー

円錐型先端部によるコ系石に対する穿孔効果

5 W

症例	照射時間 (秒)	1	2	3
1	98%以上	4 mm	4	1.5
2	98%以上	0	2.5	1.0
3	94%	2	3.5	5.0
4	93%	0.5	0.5	1.5
5	93%	0.5	0.5	5.0

表 3

円錐型先端部によるコ系石に対する穿孔効果

15W

症例	照射時間 (秒)	1	2	3
1		燃	燃	燃
2		0.5mm	0.5	燃
3		燃	燃	燃
4		燃	0.5	0.5
5		燃	燃	燃

表 4

写真 1

セラミック製の長さ約2mmの円柱型の先端部を用いて12~13.6Aで照射し、その穿孔効果を検討した。

まず12Aの電流(出力3W前後)で照射した場合、どの結石も1秒, 2秒, 3秒間ともせいぜい白変するのみで穿孔効果は全くなく, 碎石には出力が弱すぎるようである(表5)。

円柱型先端部によるコ系石に対する穿孔効果
12A(3W)

症例	照射時間 (秒)	1	2	3
6	98%以上	白 変	白 変	白 変
7	"	不 変	白 変	白 変
8	"	白 変	白 変	白 変
9	"	不 変	不 変	白 変
10	"	不 変	不 変	不 変

表 5

次いで13Aの電流(出力5~8W)での照射では, 1秒, 2秒, 3秒間の殆んどに0.5mm以上の穿孔深度が得られるようになり, 穴の直径も円柱型のためか2.5mmと殆んど同じであった(表6)。

円柱型先端部によるコ系石に対する穿孔効果
13A(5~8W)

症例	照射時間 (秒)	1	2	3
6		0.5mm	1	1.5
7		1	0.5	1
8		1	0.5	1
9		0.5	0.5	0.5
10		1	0.2	0.5

表 6

色の白い結石に対しても同様に穿孔が見られた。矢印Aが2秒間照射後で, 矢印Bが1秒間照射後の穿孔像を示している。Bは浅く, 直径はAよりやや小さくなっている(写真2)。

更に13.6A(14~15W)の照射では表7の如く, 2秒以上の照射で5例中4例に5mm以上の穿孔深

度が得られた。

写真 2

円柱型先端部によるコ系石に対する穿孔効果
13.6A(14~15W)

症例	照射時間 (秒)	1	2
6		2	9
7		2	3
8		3	10
9		3.5	5
10		5	5

表 7

写真3のような5mm以上の穴では照射後先端部が抜けなくなってしまう, 再照射を行ないながら抜去しなければならず, 繁雑さと共に照射抜去時の胆管壁への誤照射の危険性も示唆された。また3秒間の照射の際には, 先端部がはずれ結石の中に残ってしまった。

このことから先端部は簡単に脱着でき, しかも抜けにくいことが重要と思われる。

円柱型では穿孔深度が深くなる程, 抜けにくく

なり、円錐型では逆に抜けやすいが直径が小さく碎石の手がかりには不十分である。従って先端部の形態は、円錐型と円柱型の間、即ち弾頭型がよく、先端は安価で脱着容易なもので、照射条件は、13A即ち10W前後で時間は1～2秒間が適しているものと思われる。

写真 3

Ⅲ 考 案

胆道結石特に肝内結石の非手術的な摘出法としては外国ではBurhenne¹⁾やMazzariello²⁾に代表されるX線透視下にバスケット・カテーテル等を用いた経皮的結石摘出術が普及している。本邦では内視鏡器機の進歩により、専ら胆道鏡下截石法が主体になっているが、鉗子等で把持できない嵌頓結石や例え把持できても肝内胆管の狭窄部が肝内から瘻孔への移行部で引っかかり適出できずに遺残の止む無きに至った症例も多くある³⁾。そこで結石を摘出可能な小破片にする手段が要求されていた。1979年笹島ら⁴⁾は電気メスを応用した高周波電流碎石術、1982年には中島ら⁵⁾および田中ら⁶⁾により相次いで電気水圧碎石法が報告されているが、効果が弱かったり、細い肝内胆管内での使用は、現時点ではまだまだ安全性に問題があると思われる。そこで巨大結石や嵌頓結石に対しても、細い胆管内でも使用でき灌流液中でもエネルギー損失の少ない取り扱いが簡単で安全かつ強力な破壊効果をもつ手技の開発が必要であった。

レーザーは1960年Maiman⁷⁾がルビーによって初めて発振に成功、医療用には、CO₂レーザー、Nd:YAGレーザー、ルビー・レーザー、アルゴン・レーザー等が使われているが胆道鏡下碎石には、生食水中で減衰が少なく高出力の得られるNd:YAGレーザーが適しているものと思われ、ビリルビン系石やコレステロール系石等の結石への直接照射や拡張犬総胆管を使った結石直下及び周囲の胆管壁への傷害度を検討、ビ系石には70W、0.5秒、コ系石には70～80W、2秒反復照射の至適照射条件を得ている。今回ニューセラミックスを用いた照射実験を行なったが、低出力に設定するほど照射中の出力の変動が激しく、まず最初にこの原因を求明することにした。YAGレーザー発振装置は、MBB社製を使用しているが、照射中の出力の変動を調べるためにCoherent社の出力メーターを使って測定した。一定電流でも出力が不動となるには、時間がかかる。特に低い出力では一度急上昇し徐々に下がって安定する傾向が見られた。従って低い出力でレーザー発振装置を使用する場合には、条件の設定に平均のW(ワット)が変動のない電流(A)を使用すべきである。ニューセラミックス⁸⁾は、1930年代ドイツでアルミナ・セラミックスとして発明され、硬く、耐熱性があり、錆びずかつ成形性に優れているため、工業材料を初めとし各分野に広く使われている。YAGレーザーの接触照射の際、先端部の温度は千度を越えるものと推定され、普通の材質では燃焼・破損してしまうが、耐熱性に優れたニューセラミックスを装着すると、レーザーを照射しても破損・変質することなく結石に穴をあけることができる。著者は碎石に適した先端部の形態を検討するために円錐型、円柱型二種の先端部について検討した。先端部の長さは屈曲した胆道鏡の鉗子孔を通過しなければならず、せいぜい2mmの長さが限界と思われる。直径はなるべく太い方が穴が大きくなって截石に都合がいいが、やはり鉗子孔を通過しなければならず2mmが限界と思われる。形態については円錐型では穴が小さすぎ、この穴からは碎石の手がかりにはなりにくく、円柱型で

は先端が平らなためにすべったり、根元まで石に入り込んでしまった場合に抜けなくなってしまうこともあった。このことから碎石に適した先端部の形態は、円錐型と円柱型の中間で弾頭型が適していると思われる。

IV 結 語

1. 熱に強いニューセラミックスをクォーツ・ファイバー先端に装着することでNd:YAG レーザーの接触照射が可能となった。
2. 結石に対する接触照射法は、10W前後の低出力で非接触法と同様の穿孔効果が得られ、誤照射の危険もなく更に安全となった。
3. 接触法は先端部が高温となるため、高熱に溶けるコレステロール系石に対し特に有効である。
4. 先端部の形態は、円錐型や円柱型よりも弾頭型の方が効率の良い碎石が可能と思われる。
今後更に検討を加え臨床に応用したい。

文 献

- 1) Burhenne, H. J : Non-operative retained biliary tract stone extraction a new roentgenologic technique. Am. J. Roentgenol Radium, Ther. Nucl. Med. 117: 388-399, 1972
- 2) Mazzariello, R. M: A fourteen-year experience with non-operative instrument extraction of retained bile duct stones. World. J. Surg. 2: 447-455, 1978
- 3) 小高通夫, 神津照雄, 佐藤 博: 肝内結石症に対する内視鏡的治療の新しい試み, 特にレーザーによる截石とその問題点。肝胆膵, 4: 375-382, 1982
- 4) 笹島唯博, 小窪正樹, 西岡 博, 池田康一郎, 竹内克彦, 池田浩之, 中島 進, 熱田友義, 田村正秀, 久保良彦, 鮫島夏樹: 肝内結石症

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: 1455-1458, 1979

- 5) 中島正継, 藤本荘太郎, 今岡 渉, 吉田俊一, 小林正夫, 梶原 譲, 安田健治朗, 白川和夫, 光吉靖夫, 竹林政史, 田中義憲, 岩波淳郎, 山口勝通, 赤坂裕三, 川井啓市: 内視鏡的電気水圧碎石法 (Endoscopic Electro-hydraulic Lithotripsy, EEL) による胆石破壊の試み, Gastroenterological Endoscopy 24: 1391-1399, 1982
- 6) 田中雅夫, 吉本英夫, 池田端洋, 伊藤英明: 内視鏡下電気水圧胆石破壊法に関する基礎的検討と臨床応用経験。Gastroenterological Endoscopy 24: 1544-1551, 1982
- 7) Maiman, H. T. : Stimulated optical radiation in ruby masers. Nature, 187: 493-494, 1960
- 8) 坂野久夫: ニューセラミックス〔材料・製法から応用まで〕, パワー社: 1-181, 1984