総説

REVIEW ARTICLE

尿路結石の治療におけるHo:YAGレーザー

松岡 啓

久留米大学医学部泌尿器科

(平成20年7月25日受理, 平成20年9月10日掲載決定)

Ho:YAG laser in the treatment of urolithiasis

Kei Matsuoka

Department of Urology, Kurume University School of Medicine

(Received July 25, 2008, Accepted September 10, 2008)

要 旨

レーザーは導光路が細径であっても強力なエネルギーが利用できる。また、使用する波長の特性を理解することで安全で効率の良い手術が可能である。Ho:YAGレーザーは、軟部組織に対しても、硬組織とくに尿路結石に対しても十分な破砕力を有する汎用レーザーである。Ho:YAG レーザーは、尿路結石の碎石手段として最も強力で効果的である。本稿では、Ho:YAGレーザーの尿路結石への応用について解説した。

キーワード：Ho:YAGレーザー，多用途レーザー，尿路結石，軟組織，内視鏡手術

Abstract

Laser has a sufficiently strong power even though the delivery system is narrow. The Ho:YAG laser can be used as safe and effective energy source with excise knowledgment of the laser wavelength. The Ho:YAG laser has very wide application as it is versatile laser that can be employed for both soft and hard tissues because of its wavelength. The Ho:YAG laser is the most powerful and efficient energy source of lithotripter for urolithiasis.

The applications of Ho:YAG laser in stone treatment are described in this paper.

Key word : Ho:YAG laser, multi purpose laser, urolithiasis, soft tissue, endoscopic surgery

1. はじめに

尿路結石の治療において、結石破碎手段として破碎力と利便性からHo:YAGレーザーが汎用される。とくに、細径尿管鏡を使用するような上部尿路結石の治療においては、レーザーは導光路が細径であるので十分な灌流液が流れ視野の確保が容易である。またレーザーの中でもHo:YAGレーザーは、あらゆる成分の結石を破碎し、他の破碎手段よりも細かい碎石ができるので有用である。Ho:YAGレーザーは、経尿道的に細径尿管鏡を使用した腎・尿管結石碎石術(Transurethral Ureterolithotripsy: TUL)や経尿道的膀胱結石碎石術、経皮的腎結石碎石術(Percutaneous Nephrolithotripsy: PNL)などの内視鏡下手術に応用されているが、本稿では尿管結石に対するTULについて自験例の成績と共に解説したい。

2. 内視鏡治療に使用される結石破碎手段

最近の内視鏡は細径化が進んでいるので、それに応じた結石破碎器が必要である。一般的な結石破碎器には超音波結石破碎器(ultrasonic lithotripter: USL)、電気水压衝撃波結石破碎器(electrohydraulic lithotripter: EHL)、空圧式結石破碎器(pneumatic lithotripter: PML)、レーザーによる結石破碎の4種類がある(Table1)。USLやPMLは破碎エネルギーの伝達様式により硬性内視鏡しか使用できないが、EHLやレーザーでは硬性、軟性内視鏡の両方に使用できる。破碎力を比較してみるとEHL, PML, レーザーでは強力であるが、USLでは中程度である。組織障害の観点より破碎力をみると、EHLは重度、レーザー(Ho:YAG)は中程度、USL, PMLは軽度である。

結石破碎の特徴として、USLは超音波による金属プローブの先端の振動が碎石のエネルギーとなるので、結石に金属プローブを押し当てなければならず、結石はpushed backされやすい。しかし、破碎中は吸引装置により小さな碎石片が吸引されるので視野の確保が容易である。PMLも空圧による金属ボールの移動によって生じる振動エネルギーが、碎石エネルギーとなるので金属プローブを結石に押し当てる事になり、やはりUSLと同様に結石をpushed backし易い。PMLも吸引装置が付きpushed backを予防しているが、吸引装置が付くと内視鏡外径が

大きくなるのが欠点である。

EHLは2つの電極に高電圧を流し、電極間にスパークを発生させ、その際に電極付近の水が瞬間的に気化し、気化した際に衝撃波が発生し、この衝撃波により結石が破碎される。

EHLには尿管鏡に対応した1.9 Frの細いものから、膀胱鏡用の5 Fr や9 Frの太いものまで4種類の専用電極があり、しかも硬性鏡にも軟性鏡にも使用可能である。EHLは強力な破碎力を有しているので、組織障害の危険性がある。したがって使用するに当たっては粘膜に近づけないように十分な注意が必要である。

USLの超音波発振バーは、1.8 mmと3.5 mmの2種類であり細径尿管鏡には使用できない。PMLは硬性プローブが直径0.8 mmと1.0 mmの尿管鏡用と、1.6 mmと2.0 mmの膀胱鏡、腎盂鏡用の4種類ある。0.8 mmのプローブは細径尿管鏡に使用可能である。

これら4種類の結石破碎器のうち、レーザーは硬性鏡、軟性鏡の両方に使用でき、導光路が細く細径尿管鏡にも使用可能で、しかも十分な結石破碎のためのエネルギーが得られるので、一番有用性の高い機器である。

3. Ho:YAGレーザーの導入まで

1960年に世界で初めてレーザー光が発振された¹⁾が、その8年後にMulvanyとBeckが尿路結石の治療にレーザーを最初に応用した。彼らは炭酸ガスレーザーとルビーレーザーの結石への照射を試みたが、温度上昇による尿路上皮への損傷があり不満足な結果であった²⁾。その後、棚橋ら^{3,4)}も各種レーザー光の尿路結石治療への可能性について報告しているが、臨床で使用されることはなかった。Watsonら⁵⁾は幾多の試みの後に1986年に波長504 nmのパルス波色素レーザーを用いて結石を安全に破碎できることを報告した。

しばらくして波長750 nmのアレクサンドライトレーザーの有用性に関しても報告された⁶⁾。アレクサンドライトレーザーの結石破碎力は、パルス波色素レーザーとほぼ同等で尿路上皮への影響は殆どない。すなわち、両レーザーは通常の尿路結石に対しては良好な破碎力を有すが、このレーザー波長では割れない結石が存在する。シ

Table1 Characteristics of 4 lithotriptors those can be used at present

	energy source	delivery	size of delivery	endoscope	lithotripsy force	tissue injury
USL	ultrasonic	rigid	1.8mm, 3.5mm	rigid	middle	light
EHL	spark	flexible	1.9Fr, 3Fr, 5Fr, 9Fr	rigid, flexible	strong	heavy
PML	pneumatic	rigid	0.8mm, 1.0mm, 1.6mm, 2.0mm	rigid	strong	light
Laser	shock wave thermal	flexible	0.2mm, 0.365mm	rigid, flexible	strong	heavy

USL: Ultrasonic lithotripter, EHL: Electrohydraulic lithotripter, PML: Pneumatic lithotripter

スチン結石に対しては全く割れず、蔞酸カルシウム一水化物も割れにくい。したがって、さらに効果的な結石破碎用レーザーの開発が進められた。そのような中、1995年にすべての結石成分においても破碎が可能なHo:YAGレーザーが結石破碎手段として初めて紹介された⁷⁻⁹⁾。その後、このレーザーは従来のパルス波色素レーザーと比較して結石のpushed backが少ないことも報告された¹⁰⁾。

4. Ho:YAGレーザーの特徴

Ho:YAGレーザーは、硬組織にも軟組織にも使用可能なユニークなレーザーで、その波長2100 nmは組織に対して蒸散、切開、凝固が可能である。さらに、水に対する吸収係数が高く灌流下の内視鏡手術に安心して使用できる。また、このレーザーの組織吸収深度は0.4 mmと非常に浅いので、レーザーの影響は術者の可視範囲内であるので安全性が高い。本レーザーの結石破碎力は前述したように強力で、すべての結石成分でも困難なく破碎可能である。しかも結石破碎片は、他の破碎手段であるPML, EHL, パルス波色素レーザーよりも小さいことが報告されている¹¹⁾。

Ho:YAGレーザーによる結石破碎のメカニズムは、レーザー光が結石表面や結石の小孔内の水に吸収されバブルが形成されて破裂するときの圧波により結石が碎かれる。Ho:YAGレーザーの場合には熱作用も碎石に影響を与えているようである¹¹⁾。

5. 上部尿路結石に対する自験例の成績

このような特徴を持つHo:YAGレーザーを今回は、尿管結石に対するTULの破碎手段として使用した。

対象は254人の尿管結石症例で、平均年齢は57.3歳であり267回のTULを行った。結石の部位は、上部尿管97回、中部尿管55回、下部尿管115回である。使用した尿管鏡は、先端外径が6 Frの半硬性鏡(Wolf: Compact fiber ureterorenoscope)と、7.5 rの軟性鏡(Storz: Ureterofiberscope)または6.9 Frの軟性鏡(Olympus: Ureterofiberscope type p3)である。原則として、先ず硬性尿管鏡を患側尿管口に直接挿入し、結石に到達可能な場合には碎石した。硬性鏡で到達不可能な場合には軟性鏡に交換し碎石した。レーザーファイバーは、コア径が365 μ mまたは200 μ m(Lumenis: SlimLine)を使用し、エネルギー設定は0.5-1.0 J/pulse, 5-10 Hzとした。

対象とした結石サイズは、平均10×6.2 mmで照射総エネルギーの平均は1.58 kJであった。

レーザー破碎は、碎石片が自然排泄するのに十分可能な3 mm以下になった時点で終了した。結石分析のために異物鉗子で碎石片を1個抽し、必要な場合には尿管ステントを留置して手術を終了した。

結石成分は155個において分析可能であった(Table2)。シスチンは1例のみであったが、すべての成分の結石においてHo:YAGレーザーによる破碎が可能であった。

治療成績は、手術後翌日または2-3日後と、4-6週間後に腎・尿管・膀胱部単純写真(Plain film of Kidney,Ureter and Bladder:KUB)を撮影し、残石の有無を検討した。す

Table2 Composition of stone fragments

Calcium oxalate + Calcium phosphate	84
Calcium oxalate	46
Calcium phosphate	12
CaCO ₃ + Calcium phosphate	7
Magnesium ammonium phosphate	4
Cystine	1
Uric acid	1
	155

Table3 Results of TUL using the Ho:YAG laser (vs Pulsed dye laser)

Effect	Ho:YAG laser	Pulsed dye laser
Stone free	213/267(79.8%)	114/146(78%)
Residual stone <= 4mm	34/267(12.7%)	7/146(5%)
Residual stone <= 5mm	20/267(7.5%)	25/146(17%)
Success rate	92.5%	83%

Fig.1 A case of left upper ureteral stone

a. Pre-operative KUB

b. One month post-operative KUB

なわち、4-6週間後に残石なしと4 mm以下の残石を有効、5 mm以上を無効と判断し、以前に検討したパルス波色素レーザーによるTULの成績と比較した(Table3)。Ho:YAGレーザーでの有効率は92.5 %、パルス波色素レーザーによるそれは83 %であった。

上部尿管結石症例について紹介する。結石サイズが18×10 mmの左上尿管結石症例である。硬性尿管鏡下にHo:YAGレーザーと200 μ mのレーザーファイバーを使用し、出力設定を0.5-0.8 J, 5-8 Hzとし総照射量は1.85 kJであった。Fig.1aは術前のKUB, Fig.1bは術後1カ月のKUBで、結石陰影は消失している。

6. おわりに

導光路が細く、しかも十分なエネルギーを供給するレーザーは、内視鏡下手術において必須のエネルギーソースとなった。その中でもHo:YAGレーザーは、水に対する吸収係数が高く、灌流液を使用する泌尿器科手術に安全に使用できる。しかも、あらゆる成分の結石が破碎可能である。尿管結石のTULにおいては良好な成績が得られ、従来使用されてきたパルス波色素レーザーよりも有用性は高かった。現在軟性鏡の性能も向上しつつあり、軟性鏡と本レーザーを使用したTULの成績が向上し、本治療法の適応が拡大され、さらに普及するものと予測される。

参考文献

- 1) Milam DF: Physical principles of laser energy. Smith JA eds. Lasers in Urologic Surgery, 1-9, 1994, Mosby.
- 2) Malvany WP., Beck CW: The laser beam in urology. J Urol, 99: 112-115, 1968.
- 3) 棚橋善克ほか：レーザー光線の泌尿器科領域への応用 第1報—摘出尿路結石の穿孔に関する基礎的研究—, 日泌尿会誌, 70: 1-6, 1979.
- 4) 棚橋善克ほか：レーザー光線の泌尿器科領域への応用 第2報 光導系を用いた摘出尿路結石の破壊実験, 日泌尿会誌, 71: 28-32, 1980.
- 5) Watson GM., Wickham JEA: Initial experience with a pulsed dye laser for ureteric calculi. Lancet, 1: 1354-1358, 1986.
- 6) Weber HM et al.: Experimental results and initial clinical experiences with the alexandrite laser. Urologe A, 29: 304-308, 1990.
- 7) Matsuoka K et al.: Holmium:yttrium-aluminum-garnet laser for endoscopic lithotripsy. Urology, 45: 947-952, 1995.
- 8) Bagley D, Erhard M : Use in the holmium laser in the upper urinary tract. Tech Urol, 1: 25-30, 1995.
- 9) Denstedt JD et al.: Preliminary experience with holmium:YAG laser lithotripsy. J Endourol, 9: 255-258, 1995.
- 10) 松岡 啓ほか：Ho: YAGレーザーによる尿路結石治療—パルス波色素レーザーとの比較—, 泌外, 14: 93-97, 2001.
- 11) Teichman JM et al.: Holmium: YAG lithotripsy yields smaller fragments than lithoclast, pulsed dye laser or electrohydraulic lithotripsy. J Urol, 159: 17-23, 1998.

著者紹介

松岡 啓 (Kei Matsuoka)

昭和49年、久留米大学医学部卒業。昭和54年、久留米大学大学院医学研究科卒業。昭和54年、久留米大学病院人工腎臓センター勤務。昭和56年、福岡県大牟田市立病院泌尿器科医長。昭和57年、久留米大学医学部泌尿器科学講座講師。

平成元年、カナダ・ブリティッシュコロンビア州立癌センター。平成4年、久留米大学医学部泌尿器科学講座助教授。平成15年、久留米大学医学部泌尿器科学講座教授。現在に至る。