

## アレキサンドライト・レーザーによる尿路結石の治療

日本医科大学泌尿器科学教室 (主任: 秋元成太教授)

坪井 成美, 堀内 和孝, 沖 守, 杉澤 裕  
本田 了, 広瀬 始之, 長谷川 潤, 吉田 和弘  
西村 泰司, 秋元 成太

CLINICAL TREATMENT OF URINARY TRACT  
STONES WITH ALEXANDRITE LASER

Narumi Tsuboi, Kazutaka Horiuchi, Mamoru Oki,  
Yutaka Sugizawa, Ryou Honda, Haruyuki Hirose,  
Jun Hasegawa, Kazuhiro Yoshida,  
Taiji Nishimura and Masao Akimoto

*From the Department of Urology, Nippon Medical School*

Clinical treatment of urolithiasis with Alexandrite-laser which is a solid pulse laser system developed in Switzerland is reported. Two cases of renal stones, 3 cases of vesical stones, and 35 renal units in 34 cases of ureteral stones were treated. The approach to the aimed stone was, percutaneous to the renal stones, and transurethral to the vesical and ureteral stones.

The clinical success rate was 92.5% (37/40), when we defined success as the endoscopically observed fragmentation. The uric acid stone in the bladder was not disintegrated even when the plasma occurred, but the ureteral uric acid stone was easily fragmented. The difference was thought to be attributed to the condition of the surface.

The Alexandrite-laser system generates a 750 nm wavelength, and this wavelength is neither absorbed in water nor hemoglobin, so is thought to be harmless to the tissue. Actually, if mis-irradiation to the ureteral mucosa during lithotripsy was done, neither plasma formation nor perforation occurred.

In conclusion, the Alexandrite-laser is thought to be safe and effective equipment for the treatment of urolithiasis.

(Acta Urol. Jpn. 40: 101-104, 1994)

**Key words:** Laser lithotripsy, Urolithiasis, Alexandrite laser

## 結 言

1980年代には体外衝撃波結石破碎装置 (Extracorporeal Shock Wave Lithotripter, ESWL と略), 硬性および軟性尿管鏡による結石破碎術 (Transureteral Lithotripsy, TUL), 経皮的腎結石摘出術 (Percutaneous Nephrolithotripsy, PNL) などの臨床応用により, ほとんどすべての尿路結石は従来の開放手術を行うことなく摘出できるようになった。それに付随して碎石装置の開発, 改良も行われ, 電気水圧波結石装置 (Electrohydraulic Lithotripter, EHL), 超音波結石破碎装置 (Ultrasound Lithotripter, USL) がまず臨床応用され PNL, TUL にその威力を発揮し

ている。

碎石装置としてのレーザーはまずルビーレーザーによる尿路結石破碎<sup>1)</sup>が試みられ, その後 Nd-YAG レーザーによる臨床応用<sup>2)</sup>がなされている。しかしこれらのレーザーでは熱作用による碎石であるため, 灌流が充分に行われていないと熱による組織障害が生じるおそれがありその適応は制限される<sup>3)</sup>。しかしながらその後 Watson ら<sup>4)</sup>による発熱の少ないパルス・ダイレーザーの開発によりすべての尿路結石への応用が可能となった。

今回, レーザー素材として人工結晶のアレキサンドライトを用いたパルスレーザーシステムを用い, 臨床的に尿路結石破碎を行う機会をもったので報告する。

## アレキサンドライト・レーザー碎石装置

本体は 1,240×600×545 mm の大きさで、重量は 130 kg、キャスターが付いており容易に移動可能である。

レーザー素材として人工結晶であるアレキサンドライトを用いる空冷式で、レーザー波長は 750 nm でパルス幅は 0.5  $\mu$  秒、発射回数は 10 回/秒である。導光ファイバーは直径 320  $\mu$ m の石英ガラスファイバーで、旧型では黄色の、現在は透明の保護膜が塗装されており湾曲半径 3.5 mm である。導光ファイバー先端でのエネルギーは 25 mJ~65 mJ まで連続的に選択可能である。波長 750 nm のレーザー光は他のレーザー光に比較してもヘモグロビンに対する吸収が低く、組織障害が少ないものと考えられる (Fig. 1)。

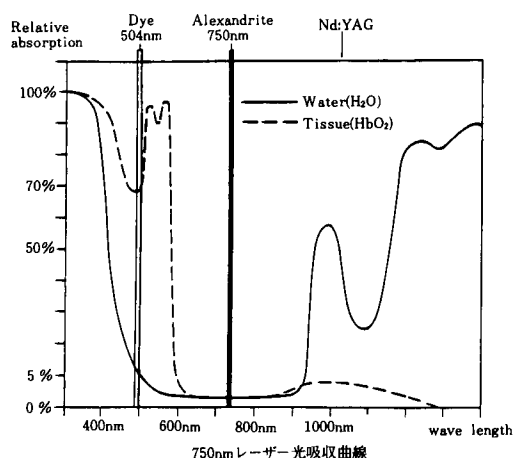


Fig. 1. Absorption curve of laser to  $H_2O$  and  $HbO_2$ .

## 対象および方法

1991年4月より1992年9月までの間に27歳から73歳までの男性23名、女性16名で、女性両側尿管結石1例を含め疾患別には腎結石2例、尿管結石35例、膀胱結石3例、計39名40結石に対しアレキサンドライト・レーザーを用いて碎石治療を行った (Table 1)。手術方法としては経皮的腎結石摘出術 (PNL) 2例、尿管鏡による結石破砕術 (TUL) 35例、経尿道の膀胱結石破砕術3例である。使用した内視鏡は、オリンパス社製 24 Fr. 硬製腎盂鏡、ACMI 社製軟性腎盂膀胱鏡、ACMI 社製 6.9 Fr. 硬製尿管鏡、メディカルサイエンス社製 6.7 Fr. 軟性尿管鏡などである。腎盂鏡のように操作チャンネルが太い場合には、5 Fr. 尿管カテーテルをカバーチューブとして用い、レーザー導光ファイバー先端の操作性を高めた。術中に併用したも

Table 1. Location and number of stones

|         | 男  | 女  |
|---------|----|----|
| 腎 結 石   | 1  | 1  |
| 尿 管 結 石 | 19 | 16 |
| U1      | 7  | 9  |
| U2      | 4  | 3  |
| U3      | 8  | 4  |
| 膀 胱 結 石 | 3  | 0  |
| 計       | 23 | 17 |

のは、超音波碎石装置 (USL) 5例 (腎2例、膀胱3例)、バスケットカテーテル2例 (尿管2例) であった。バスケットカテーテルは結石の上昇を防止するために使用し、結石摘出には使用しなかった。

TUL においてはおもに ACMI 社製硬性尿管鏡を用いたが、このスコープは先端径 6.9 Fr. で 2 Fr.、3 Fr. の操作チャンネルを有し、0.038 Inc. ガイドワイヤー、3 Fr. バスケットカテーテルなどの使用が可能である。視野は非常に明るく直視下に尿道から膀胱へ挿入し、尿管口拡張をせずに尿管内に挿入可能である。結石を確認後 2 Fr. チャンネルにレーザー導光ファイバーを挿入し、ファイバー先端が尿管内に出てきたら以後の操作はモニターテレビを用い、レーザー光を直視しないように注意した。護眼用眼鏡、ゴーグルも準備されているが、装着しての操作は不便なので通常上記操作で行った。

## 結 果

碎石効果としては、内視鏡的には碎石され翌日のレントゲン協写真上 4 mm 以上の碎石片がない場合を著効、4 mm 以上の碎石片を認める場合を有効とした。内視鏡的に碎石できない場合を無効とした。

無効の症例は尿酸結石の膀胱結石2例と、レーザー本体とファイバーとのコネクター部分の不良によると考えられる出力低下をきたし碎石できなかった尿管結石1例計3例であった。膀胱結石は USL にて碎石、吸引した。尿管結石は術後5日目に自然排石した。それ以外の結石では碎石状態が内視鏡的に確認でき、著効25例、有効12例であり、著効、有効を合わせ有効率 92.5% (37/40) であった。

腎結石2例では、1例は右腎多発結石に対しレーザー碎石を行い碎石片を USL にて吸引排石した。もう1例は磷酸マグネシウムアンモニウムの完全鋳型結石であった。結石はレーザーにてよく破砕されるものの、結石量が莫大なため USL を併用した。尿管結石は、上部17例、中部6例、下部12例で、長径 6 mm

から 25 mm であった。上部尿管結石で碎石片が腎に上昇し TUL を続けられなかった症例が 6 例あった。結石径による残石の差は認められなかった。

4 mm 以上の残石を認めたのは、腎結石 2 例と尿管結石 4 例の計 6 例であった。上部尿管結石で碎石片が腎に上昇した 2 例に ESWL の追加治療を行い完全排石をみた。その他の 4 例では、自然排石を期待し経過観察中である。

術前、術後の血液一般、血液生化学検査において、本治療法による副作用を疑わせる異常値は認められなかった。

Table 2 に示すように結石成分としては、蓚酸カルシウム 10 例、蓚酸カルシウム+磷酸カルシウム 14 例、蓚酸カルシウム+尿酸 1 例、磷酸カルシウム+炭酸カルシウム 3 例、尿酸 3 例、磷酸マグネシウムアンモニウム 1 例、不明 8 例であった。

Table 2. Stone components

| 結 石 成 分         |    |
|-----------------|----|
| 蓚酸カルシウム         | 10 |
| 蓚酸カルシウム+磷酸カルシウム | 14 |
| 蓚酸カルシウム+尿酸      | 1  |
| 磷酸カルシウム+炭酸カルシウム | 3  |
| 尿 酸             | 3  |
| 磷酸マグネシウム・アンモニウム | 1  |
| 不 明             | 8  |

尿酸を成分とする膀胱結石では、結石表面でのプラズマの発生は認めるものの、ごく微細な碎石しかできなかった。しかし尿酸の尿管結石においては十分満足のいく碎石効果を認めた。結石の成分とともに、結石表面の性状によっても碎石力が異なるようである。その他の結石成分では、レーザー破砕力に多少の差はあるものの十分な碎石効果を認めた。

## 考 察

パルス・レーザー碎石装置は光エネルギーを熱エネルギーに変換することなく、結石表面でプラズマを発生させることにより結石を破砕する。導光ファイバーの径とエネルギー（出力）とによってファイバー先端でのパワー密度が決定される。結石表面でのプラズマ発生にはパワー密度とともに、結石の表面でのレーザー光の吸収度も関与している。実験的には Schwarze<sup>5)</sup> が 100 個の結石を用いた成績を報告しているが、実際に用いてみると蓚酸カルシウム 2 水加物のような黄白色の結石でもプラズマは容易に発生し簡単に破砕される。蓚酸カルシウム 1 水加物のような黄褐色の結石では、プラズマは容易に発生するものの結石の破砕に至

るまでにはかなりのパルス数を必要とすることが判った。尿酸結石では、表面平滑で硬い膀胱結石で、プラズマは発生するものの碎石はほとんどできず<sup>6)</sup>、尿管結石で表面が粗な場合には碎石可能であった。これらのことから、レーザー碎石にはプラズマの発生とともに、結石の構造と表面の性状なども破砕効果に関与しているようである<sup>7)</sup>。

レーザーファイバーは 0.32 mm と細いため、1 回のレーザー照射によって碎石できる結石量はごく少量であり、腎盂型結石や膀胱結石のように結石総量が莫大なものでは碎石に数時間を要する。また碎石片も膨大になるため、大きな結石で太い内視鏡を用いるときには USL を用いたほうが効率は良く、碎石片の吸引も可能であり残石は少ない。

EHL は放電時に生ずるバブルの圧力を利用して碎石を行うもので、その圧の加わる方向にすべて作用をおよぼすため、粘膜穿孔の可能性は常に存在している。USL はプローブ先端の振動により碎石を行うものであり、粘膜に接触すればやはり粘膜損傷の可能性は否めない。Fig. 1 に示すように 750 nm のレーザー波長の組織吸収性は低いため、組織障害性は確かに少ないようである。碎石中に尿管粘膜を誤射しても粘膜面でプラズマは発生しないので粘膜損傷はほとんど認められなかった。慣れるに従い結石と接触していなくてもレーザーを発射してしまい総発射数が増加する傾向となった。術中における出血は尿管鏡、ガイドワイヤー、バスケットカテーテルの物理的粘膜損傷や、碎石片が飛び散って粘膜を損傷したために生じたものと考えられる。導光ファイバーは 0.32 mm と細いため、その先端を直視下に観察できない場合には粘膜、筋層を穿孔する可能性はあるもののごく軽微なものと思われる。

アレキサンドライト・レーザーの導光ファイバーは珪素樹脂の黄色の保護膜が塗装されており、He-Ne レーザーの赤色パイロロトビームにより照射野が確認できる。黄色の保護膜がファイバー先端の識別には非常に有力であるものの、750 nm のレーザー光はファイバー先端部で保護膜との間でプラズマを生じ、自己消費を起こしエネルギーが減弱する。また、碎石中のプラズマ発生により石英ファイバー先端が消費されていく。65 mJ の出力で、かつ先端まで保護膜が被覆されたままの場合、その消耗度について計算上は 0.03 mm/shot 以下とされているが、微細なガラス粉が生じたとしても臨床的には無視できる程度のものである。これらを防止するために使用前にライターなどで保護膜を燃やし除去してから使用する。しかし、あま

り長く保護膜を除去すると先端の確認がしにくくなるので 5 mm 位が望ましい。今回、ファイバーの保護膜が透明なものに変更され、上記のような問題は解消された。しかし実際に数例に使用してみたが、内視鏡でのファイバーの確認はしづらいので、尿管の内腔の広い所でファイバーを確認した後、結石に進めるのが安全なようである。

レーザー発生装置とレーザー導光ファイバーはネジ式のコネクターによって、容易に脱着可能となっている。しかしコネクター部分での微細なズレによってレーザー導光ファイバー先端でのエネルギーレベルは格段に低下することがある。移動可能でファイバー交換が容易なのは長所であるものの、コネクター部分の安定性にはさらなる改良が望まれる。

碎石器具が細ければ内視鏡も細いものが使用可能となり、われわれは 6.9 Fr. 硬性尿管鏡をおもに使用した。直視下に尿道より膀胱に達し、尿管口の拡張を必要とせず、ガイドワイヤーを尿管口より挿入するだけで簡単に尿管内に尿管鏡を挿入可能であった。尿管内腔の観察は容易で操作性にもすぐれ、尿管穿孔や損傷もなく安全に結石まで到達できた。破碎力や安全性からは優れているが、レーザー装置は高価であるのですべての施設で購入可能とならないことが残念である。

## 結 語

今回、39名40例の尿路結石に対しアレキサンドライト・レーザーを使用し、碎石状態は満足のゆくものであった（有効率92.5%，37/40）。

腎結石では2例とも残石は認めるものの自然排石を期待できる程度に碎石できた。

レーザー使用中、副作用はまったく認めなかった。

以上の結果よりアレキサンドライト・レーザーは高値ではあるものの、安全かつ有効な碎石装置といえる。

本論文の要旨は第57回日本泌尿器科学会東部総会ワークショップにて発表した。

## 文 献

- 1) Mulvaney WP and Beck CW: The laser beam in urology. *Urol Res* 4: 49-54, 1976
- 2) Tanahashi K, Orikasa S, Chiba R, et al.: Disintegration of urinary calculi by laser beam: Drilling experiment in extracted urinary stones. *Tohoku J Exp Med* 128: 189-196, 1979
- 3) 折笠精一: レーザーによる尿路結石の破壊. 医のあゆみ 124: 572-576, 1983
- 4) Watson F, Murray S, Dretler SP, et al.: The pulsed dye laser for fragmenting urinary calculi. *J Urol* 138: 195-198, 1987
- 5) Schwarze: アレキサントリプター尿路結石・胆石破碎術用新固体レーザー. 日レーザー医会誌 13: 23-27, 1992
- 6) 坪井成美, 西村泰司: アレキサンドライド・レーザー. 日レーザー医会誌 13: 35-38, 1992
- 7) 松本哲夫, 三木誠, 間宮良美, ほか: レーザー碎石装置の特性とその使用経験. 日泌尿会誌 80: 1278-1285, 1989

(Received on May 20, 1993)  
(Accepted on September 17, 1993)