

尿路結石症—その治療の変遷— 尿路結石破砕法（特に微小発破について）

京都府立医科大学泌尿器科学教室（主任：渡辺 決教授）

内 田 睦

NON-MECHANICAL DISINTEGRATION OF URINARY STONE

Mutsumi UCHIDA

From the Department of Urology, Kyoto Prefectural University of Medicine

Noninvasive therapy for urolithiasis such as percutaneous nephroureterolithotomy (PNL) has progressed rapidly during the last few years. Several kinds of non-mechanical disintegration methods such as electrohydraulic lithotripsy, ultrasound lithotripsy, stone disintegration by laser irradiation, electric drill disintegration, microexplosion lithotripsy and extracorporeal shock wave lithotripsy have contributed to this advancement. However, these methods are not without some problems, such as effect and technique. This paper describes the theory and effectiveness of these non-mechanical methods except extracorporeal shock wave lithotripsy, especially of microexplosion lithotripsy in detail.

(Acta Urol. Jpn. 35: 2087-2091, 1989)

Key words: Electrohydraulic lithotripsy, Ultrasound lithotripsy, Stone disintegration by laser irradiation, Electric drill stone disintegration, Microexplosion lithotripsy

緒 言

尿路結石症の治療法としては、これまで保存的療法と観血的手術療法がおもに行われており、非観血的手術療法はごく一部の症例にのみ行われてきた。近年 endourology という新しい概念が生まれ、特に結石手術に導入されて以来、非観血的手術療法が観血的手術療法にとって代わってきている。この背景には、大きな結石を小さくするための各種尿路結石破砕法の開発が大きく関与しているが、本論文では現在実用化されている各種尿路結石破砕法のうち ESWL（体外衝撃波碎石器）を除く破砕法について述べるとともに、当教室が独自に開発した微小発破について詳述する。

電気水圧衝撃波

電気水圧衝撃波による尿路結石破砕の研究は、1950年代より開始され、1959年 Goldberg¹⁾ によりはじめて膀胱結石破砕に臨床応用された。

その結石破砕作用は、水中放電の結果、2つの電極間が高温（2,000～3,000℃）になり、急激に水圧が上昇する結果発生する衝撃波により結石を破砕するものである。すなわち、第1世代 ESWL のエネルギー源をごく小さくしたものとして考えてよい。

この装置は、5～9 Fr の電極カテーテルと衝撃波発

生装置からなり、硬性鏡で到達できないような結石でも軟性鏡で容易に破砕できるのが特徴である。しかし、体内で放電を起こすため火傷を起こしたり、内視鏡を破損しやすいなどが欠点で、大きな結石破砕には不向きである。このため PNL（経皮的腎尿管切石術）や TUL（経尿道的腎尿管結石摘出術）の際、その使用が限られているのが現状である。

強力超音波

強力超音波による尿路結石破砕の研究は、1950年代より開始され、1972年 Terhorst²⁾ によりはじめて膀胱結石破砕に臨床応用された。

その結石破砕作用は、超音波振動子より発生する

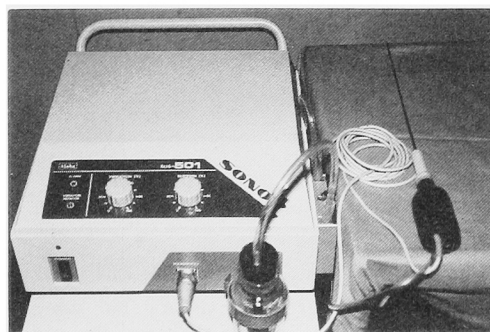


Fig. 1. Ultrasound lithotripter

25 kHz 前後の縦振動を中空のパイプに伝達し、その先端の微振動による衝撃で結石を破碎するものである（脆性破壊）。

この装置は、超音波発生装置、超音波振動子ならびに持続吸引ポンプからなり（Fig. 1）、細かく破碎された結石片はパイプの内腔を通じて体外に持続吸引されることが特徴である。現在この装置は、PNL や TUL の際に最も多く使用されているが、大きな結石や強度の大きな結石破碎には非効率的である。

レ ザ

レーザによる尿路結石破碎の研究は、1968年より開始され、1981年棚橋⁹⁾によりはじめて膀胱結石破碎に臨床応用された。

レーザの生体に対する作用メカニズムには、熱、圧力、光作用、電磁場形成などがあげられ、レーザエネルギーの小さな場合には熱効果が出現し、短時間に高エネルギーが加わるパルス波では圧力効果が生じる。

現在臨牀的に使用されているレーザは、Nd-YAG レーザである。しかし本来 Nd-YAG レーザは熱作用が強く、腫瘍照射などには効果はあるが、結石破碎効果はあまり強くない。

最近パルスダイレーザを利用した結石破碎装置が開発され、このレーザはきわめて細い軟性プローブを使用するため、今後の応用に期待がもたれる。

電 気 ド リ ル

電気ドリルは、1983年当教室⁴⁾で開発され、微小発破や PNL の一環として尿路結石破碎に応用されている。

電気ドリルの刃先としては、通常の歯科用サージカルバーを使用し、結石に孔をあける際には Fig. 2-A の刃先を使用し、結石を破碎する際には Fig. 2-B の刃先を使用している。これらの刃先の回転は、体外の

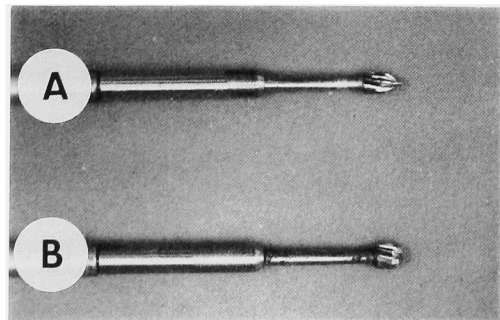


Fig. 2. Dental surgical bar A: Bar for the use of drilling B: Bar for the use of destruction

マイクロモータに接続された太さ 3.5 mm、長さ 40 cm のカートリッジにより直線的に伝達され、結石は切削される（切削破碎）。また、マイクロモータの回転は体外のコントロールボックスにより、毎分 500～18,000回転の間で連続可変される（Fig. 3）。

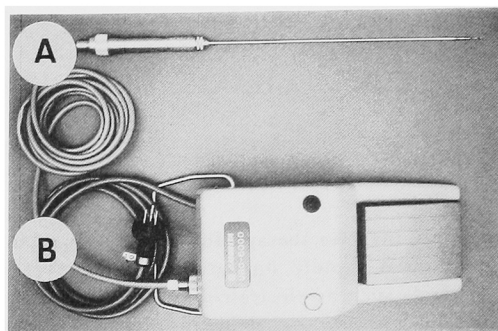


Fig. 3. Electric drill system. A: Micromotor and surgical cartridge. B: Control box.

この装置を使用すれば、いかなる強度の大きな結石でも容易に破碎穿孔可能で、今後も有用である。

微 小 発 破

微小発破による尿路結石破碎術（MEL）の研究は、1975年より当教室⁵⁾で開始され、1981年膀胱結石破碎の臨床応用にはじめて成功した⁶⁾。そして現在では、結石の存在する部位にかかわらずすべての結石を微小発破により治療することが可能となっている。

1) 爆薬室

微小発破は、一般岩石発破では考えられないような微量の爆薬を使用しているが、この爆薬の作用には、衝撃波による破壊作用と生成ガスによる推進作用とがある⁷⁾。当教室では、衝撃波をおもに利用するカテーテル付き爆薬室と生成ガスを利用する駆動体方式爆薬室の2つの爆薬室を開発した。カテーテル付き爆薬室は、爆薬としてアジ化鉛 2～7 mg を使用している。そしてこの爆薬を外径 3 mm のステンレス管内に装填し、爆薬室後端には通電用エナメル線が接続され、発破は発破器からの通電により行われる（Fig. 4）。カテーテル付き爆薬室の発破方法には、張り付け発破と穿孔発破の2つの方法がある（Fig. 5）。張り付け発破は結石表面に爆薬室を接触させて発破し、穿孔発破は結石に孔をあけ爆薬室を結石内に挿入して発破するものである。穿孔発破は、張り付け発破と比較して破碎効率が良いばかりでなく、発破の際の生成ガスを穿孔腔内に閉じこめるため、膀胱のみならず容量の小さな腎盂内でも安全に発破を行える利点がある。

駆動体方式爆薬室は、爆薬としてトリニトール 3

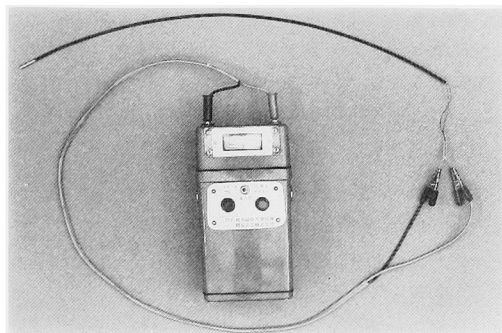


Fig. 4. Explosive catheter and ignition battery

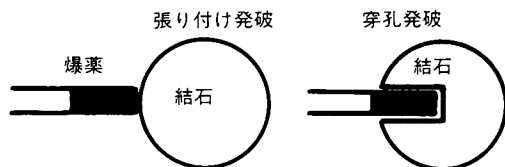
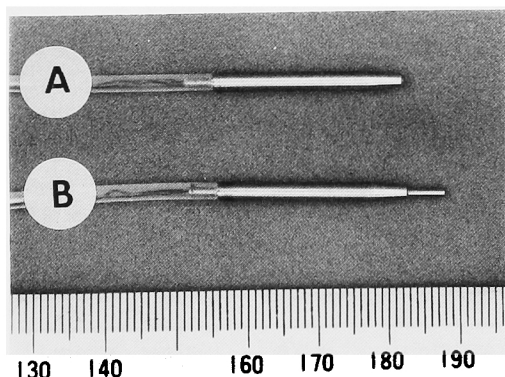


Fig. 5. Two methods of blasting for MEL

mg を使用し、発破の際の生成ガスを直径 2.6 mm の強化ステンレスで作成された爆薬室内に閉じこめ、その推進作用を利用して、爆薬室内の直径 1.2 mm の駆動小物体を結石に衝突させて破砕するものである。発破後、駆動小物体は爆薬室先端より 5 mm の位置で止まるよう制御されている (Fig. 6)。またこの爆薬室により、直径 10 mm 前後の結石は容易に粉砕されることが私たちの基礎実験から証明されている。

Fig. 6. Pin-hammer microexplosion lithotripter
A: Before blasting. B: After blasting.

2) 手技

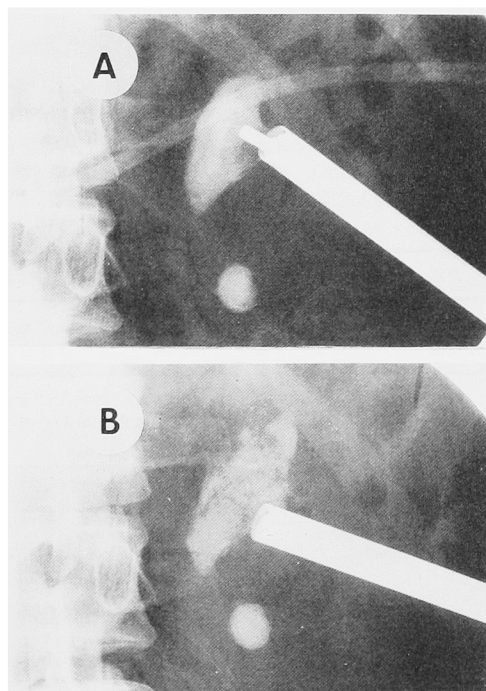
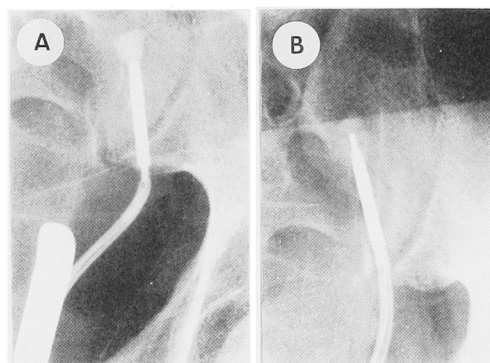
微小発破による尿路結石破砕術には、カテーテル付き爆薬室を用いた膀胱結石破砕術ならびに経皮的腎結石破砕術、駆動体方式爆薬室を用いた経尿道的腎尿管結石破砕術とがある。

膀胱結石破砕術は、小さな結石に対しては張り付け発破を施行し、結石の短径が 3 cm を越える大きな結

石に対しては電気ドリルで孔をあけ、穿孔発破を施行する。破砕された結石片はエリック式吸引器にて摘出する。

経皮的腎結石破砕術は、通常の PNL の手技と同様に経皮的に腎瘻を作製し、電気ドリルにて結石に孔をあけ、穿孔発破を施行する。破砕された結石片は吸引したり、鉗子で摘出する (Fig. 7-A, B)。

経尿道的腎尿管結石破砕術は、通常の尿管カテーテル法と同様の操作で、腎尿管結石に駆動体方式爆薬室

Fig. 7. Radiographic findings of the destruction of renal stone using explosive catheter.
A: After drilling. B: After confined blasting.Fig. 8. Radiographic findings of the destruction of ureteral stone using pin-hammer.
A: Before blasting. B: After blasting.

を誘導する。その後、透視下に爆薬室を結石にあて発破する。発破後破砕片は自然排石させる (Fig. 8-A, B)。

3) 臨床成績

微小発破による膀胱結石破砕術は、1981年9月より1988年10月までに、131例施行され、そのすべての症例に成功をおさめている (Table 1)。これまで破砕摘出された膀胱結石のうち、最も大きな結石はX線単純写真上 115×80 mm で摘出重量 305 g であった (Fig. 9-A, B)。現在では直径 3~5 cm 程度の膀胱結石ならばわずか30分程度で破砕摘出可能で、合併症としては軽度血尿を認めるのみである。このように微小発破による膀胱結石破砕術は、いかに大きな結石でも破砕摘出可能で、現存する膀胱結石治療のなかで最も

Table 1. Results of microexplosion cystolithotripsy

方法	症例数	結石の大きさ	摘出結石重量
張り付け発破	69	10~52 mm	1~70 g
穿孔発破	62	16~115 mm	3~305 g
計	131	10~115 mm	1~305 g (1981年9月~1988年10月)

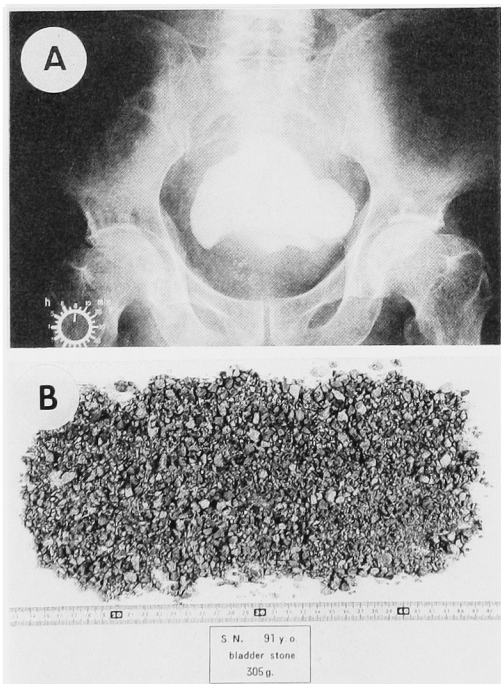


Fig. 9. Biggest stone we have crushed up to date. A: Abdominal plain film of a round bladder stone 115×80 mm in size. B: Evacuated stones 305 g in weight after the procedure.

優れている。

微小発破による経皮的腎結石破砕術⁹⁾は、1984年11月より1988年10月までに、PNLの一環として19例のサンゴ状結石などの大きな腎結石や強力超音波で破砕不可能な強度の大きな結石に穿孔発破を用いて施行され、良好な結果を得ている (Table 2)。結石破砕はきわめて容易であり、これまで4回の発破を必要とした1例の硬い結石以外、全例1回の発破でほぼ破砕された。合併症として、一部の症例で軽度血尿が認められた以外何ら重篤な合併症は認められなかった。このように微小発破による経皮的腎結石破砕術は、PNLの一手段として有用である。

Table 2. Results of percutaneous microexplosion nephrolithotripsy

結石	症例数	結石の大きさ	発破回数
非サンゴ状	15	18~30 mm	1~4
サンゴ状	4	26~77 mm	1
計	19	18~77 mm	1~4 (1984年11月~1988年10月)

微小発破による経尿道的腎尿管結石破砕術は、1985年6月より1988年10月までに、下部尿管結石12例、中部尿管結石11例、上部尿管結石21例、腎結石14例、計58例に施行され、成功率は57%であった (Table 3)。合併症としては、一部に尿管外溢流が認められたがいずれも自然治癒している。尿管結石に対する治療法としては、強力超音波を利用する硬性尿管鏡や電気水圧衝撃波を利用する軟性尿管鏡が世界各国で利用されているが、この駆動体方式爆薬室による経尿道的腎尿管結石破砕術はこれら尿管鏡に比較して操作が容易で侵襲も少なく、外来での治療も可能で今後も有用である。

Table 3. Results of pin-hammer microexplosion nephroureterolithotripsy

結石部位	症例数	成功例 (成功率)
下部尿管	12	12 (100%)
中部尿管	11	6 (55%)
上部尿管	21	12 (57%)
腎	14	3 (22%)
計	58	33 (57%) (1985年7月~1988年10月)

結石治療の変遷

当教室では、1975年より尿路結石症に対する非観血

的手術療法の研究開発に取り組んできた。その結果、上部尿路結石症に対して1981年7月より世界に先駆けPNL⁹⁾、1984年1月よりTUL、また下部尿路結石症に対して1981年9月よりMELを導入した。以来徐々に観血的手術療法の減少し、1984年6月以降1例も観血的手術療法の施行されていない (Fig. 10)。

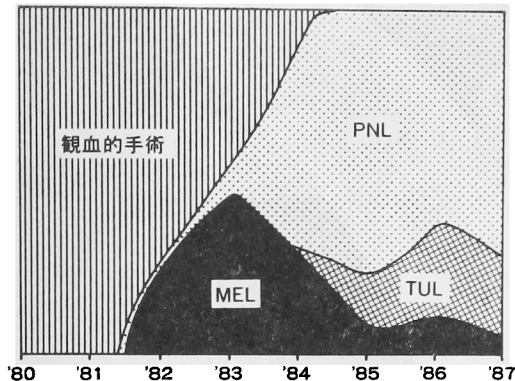


Fig. 10. Change of the surgical treatments for urinary stone in our clinic between 1980 and 1987

そして1988年10月までに、上部尿路結石症661例¹⁰⁾ならびに膀胱結石症131例¹¹⁾に非観血的手術療法が施行されてきた。このうちPNLの成功率は98%、TULの成功率は60%、膀胱結石症の成功率は100%であった。これら成功した症例の結石破砕方法は、強力超音波207例、微小発破188例、電気ドリル101例であった。

このように当教室では、微小発破をはじめとして電気ドリルなどの結石破砕方法を独自に開発し、尿路結石症の非観血的手術療法に役立ててきた。この結果、膀胱結石破砕に関しては微小発破が最も優れているが、上部尿路結石破砕に関してはいずれも完全とはいえず、現段階では各種破砕法を組み合わせ治療していくことが必要であると考えられた。

結 語

1) 各種破砕法について簡単に述べ、特に微小発破について詳述した。

2) 微小発破は、現存する膀胱結石症に対する非観血的手術療法のなかで最も優れている。

3) 上部尿路結石症に対する砕石法は、いずれも完全とはいえず、現段階では各種破砕法を組み合わせしていくことが必要である。

文 献

- 1) Goldberg BB: Electrohydraulic lithotripsy. In: Proceedings Kiev's conference of Russian urologists. p. 31, Moscow, 1960
- 2) Terhorst B, Lutzeyer W, Cichos M and Pohlman R: Die Zerstörung von Harnsteinen durch Ultraschall, II. Ultraschall Lithotripsy von Blasensteinen. Urol Int 27: 458-469, 1972
- 3) Tanahashi Y, Numata I, Kambe K, Harada K, Chiba Y, Toyota S and Orikasa S: Transurethral disintegration of urinary calculi by the use of laser beam. 4th Congr. Int Soc Laser Surg: 10-30, Tokyo, 1981
- 4) Uchida M, Kondoh K, Saitoh M and Watanabe H: Electric drill nephroscope for percutaneous nephroureterolithotomy. Tohoku J Exp Med 146: 463-466, 1985
- 5) 渡辺 決, 生沼仙三: 微小発破の生体応用に関する研究. 第1報. 実験用爆薬の試作. 日泌尿会誌 68: 243-248, 1977
- 6) Watanabe H, Watanabe K, Shiino K and Oinuma S: Micro-explosion cystolithotripsy. J Urol 129: 23-28, 1983
- 7) 木村 貞, 鈴木善孝: 火薬技術者必携, 第3版. pp. 279, 産業図書, 東京, 1976
- 8) Uchida M, Kondoh K, Saitoh M and Watanabe H: Percutaneous microexplosion nephrolithotripsy. Urology 26: 485-487, 1985
- 9) Saitoh M, Watanabe H and Ohe H: Single stage percutaneous nephroureterolithotomy using a special ultrasonically guided pyeloscope. J Urol 128: 591-592, 1982
- 10) Saitoh M, Echida M, Hashimoto T, Matsuda T, Kobayashi H, Saito T and Watanabe H: Percutaneous nephroureterolithotomy—review of 531 cases and a description of a new procedure. Jpn J Endourol ESWL 1: 22-25, 1988
- 11) Uchida M, Watanabe H, Nakagawa Y, Fujito A, Kitamura K, Imaide Y and Kawachi A: Microexplosion cystolithotripsy in 105 cases. J Urol 139: 263-265, 1988

(1989年3月16日受付)