

Fig. 2 The blaster used in the experiment.

マー停止部内径1.5mmのステンレス管(Sus-304)を用いた。ピンハンマー設定位置S(スタンドオフ)は5mm, 10mm, 及び20mmと変え, このスタンドオフが長くなるにしたがい, 管体長さも35mm, 40mm, 及び50mmと変えた。ピンハンマーは, 真ちゅう製で, 先端の細い部分の径は1.45mm, 後端の太い部分の径は1.95mmである。スペーサーにはコクヨ方眼紙(1mm目/上質紙)2mm×2mm四方のもの3枚用いた。点火具はトリシネート1.5mg~2.0mg塗付(バインダーPVA)のものを用いた。ストッパー(1)は内径1mm外径1.5mm長さ2mmの銅管であり, ストッパー(2)はステンレス製(Sus-303)で, 管体及びテフロンチューブ接続部にネジを付したのものを用いた。

ピンハンマーを管体内に固定するには, ハンマー後端の平面部にエポキシ樹脂を山盛に付してから管体内に挿入し, その後にスペーサーを押し込みエポキシ樹脂を周囲に拡げるにより行った。駆動薬は手圧で軽く充てんした。またストッパー(1)の後動間隙にはエポキシ樹脂を充てんした。

このようにして得られるピンハンマー型破砕器をFig. 2に示す。

2. 2 性能実験

鉛ブロックへこみ試験及び結石破砕実験を行い, 破砕器の性能を検討した。

鉛ブロックへこみ試験では, 径30mm厚さ30mmの鉛ブロックの平らな面に破砕器の先端を密着させ, セロテープで軽く固定した後, 破砕器に通電し, ピンハンマーを打込み, その進入の深さ即ち生じた孔の深さを測定した。

破砕実験では, 結石及びモデル結石を用いた。

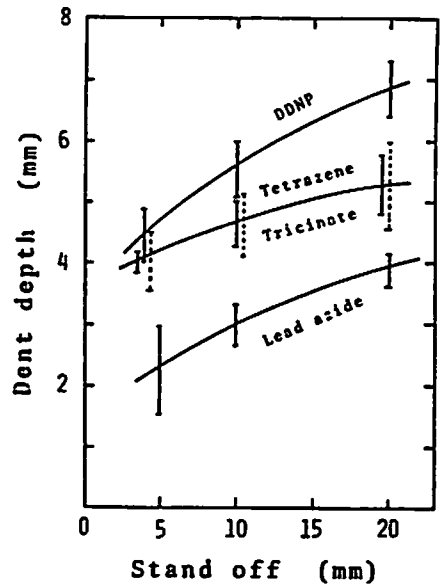


Fig. 3 The result of the dent test.
Explosive charge: 5mg.

結石は京都府立医大及び小田原市民病院で外科手術により摘出した腎臓結石及び尿管結石である。

モデル結石は, チチブセメント254g, 川砂676g, 水185gを混合し, これを直径0.5cm~2cmの範囲の各種大きさに成形し, 20日間自然乾燥したものである。ただし川砂は24メッシュのフルイ通過のものを用いた。

実験に際しては, これらの結石は水中で減圧処理^①し, 内部空気を水で置換してから使用した。

このようにした湿状態モデル結石は, 密度2.3g/cc, 圧縮強度50kg/cm²である。

破砕実験は二つの方法で行った。その一つは木枠にはりつけたやわらかいシリコンゴム板を水中に水平に置き, その中央に結石を置き, 破砕器の先端をその真上から軽く当てて行かう方法であり, もう一つは, 尿管内に結石を入れ, 水中に吊りし, 下方向から破砕器を結石に当てて行かう方法である。

3. 実験結果と検討

3. 1 駆動薬の選定

従来の飛ばし型破砕器^②では, DDNPが駆動薬としてすぐれていることを述べた。ピンハンマー型破砕器はこれを改良したものであるが, ピンハンマーが一定の長さ動いて止まるなどの構造の違う点もあるので, もう一層駆動薬を検討した。

駆動薬として, DDNP, テトラセン, トリシネート, アジ化鉛をそれぞれ5mg使い, ピンハンマーを鉛ブロックに打込み, その進入の深さを測定する方法で行った。

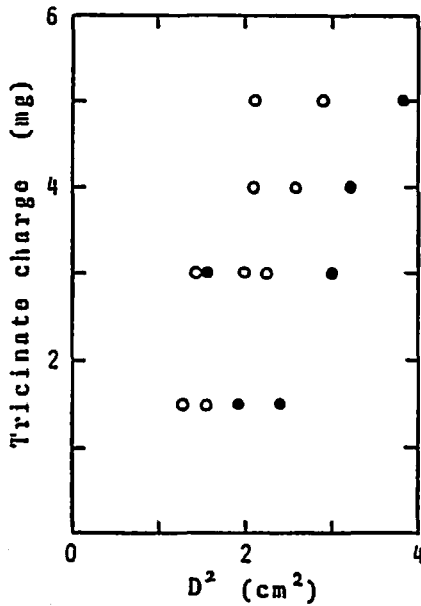


Fig. 4 Crushing of model calculi by the blaster. D: diameter of model calculi, o: crushed, o: partially crushed.

Fig. 3は、スタンドオフを5mm, 10mm, 20mmと変えて測定した結果をまとめたものである。この結果から駆動薬としてはやはりDDNPが最も力が大きく、トリシネートとテトラセンはほぼ同等であり、アジ化鉛は最も劣る。またスタンドオフは実験の範囲では長い程良いことが判る。ただしDDNPは10mg程度踏めると管体が割れることがあり、その点安全性を考えると爆発がおだやかで、管体が割れる心配の少ないテトラセンやトリシネートの方が適当と考えられた。このうちテトラセンは低密度で装てんしにくいこともあり、今後の実験にはすべてトリシネートを駆動薬として使うことにした。

3.2 破砕実験

破砕器の性能は実際の結石やモデル結石を使って、破砕実験を行わなければ判らない。

そこでスタンドオフが10mmの、トリシネート1.5mg, 3mg, 4mg, 及び5mg入り破砕器を用い、その性能を検討した。

まずモデル結石をシリコンゴム上で破砕した。その結果を整理してFig. 4に示した。破砕されたかどうかの判定は、大きく二つ以上に割れた時を破砕されたとして白印にし、それ以下の時を破砕されないとして黒印にしてある。この判定例をFig. 5に示したが、図の(1)及び(2)は破砕されたとし、(3)は破砕不十分としたものである。この破砕結果から、トリシネート装薬量が多くなるにしたがい、破砕力は大きくなることが判る。

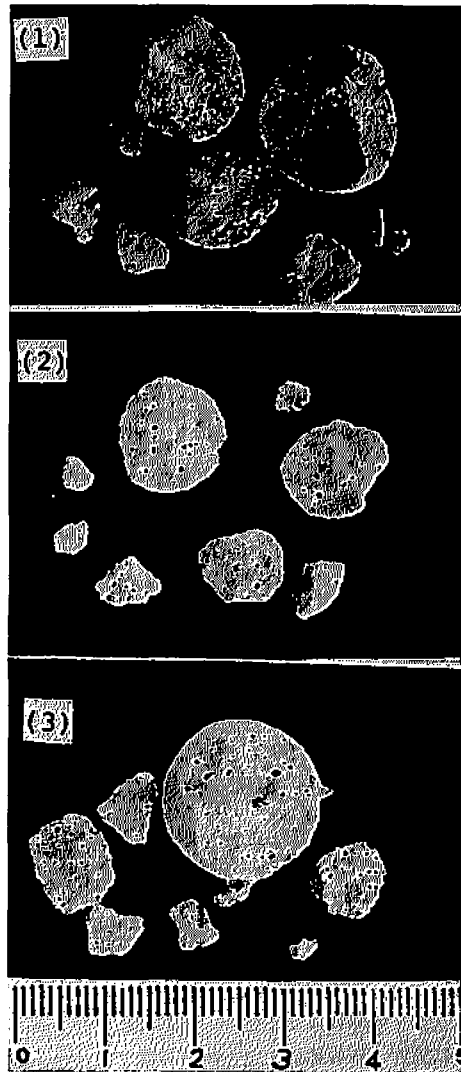


Fig. 5 Fragments of model calculi crushed by the blaster. (1) Diam. of the model calculus used: 1.7cm, blaster: tricinate charge 5mg. (2) Diam. of the model calculus used: 1.3cm, blaster: tricinate charge 1.5mg. (3) Diam. of the model calculus used: 1.7cm, blaster: tricinate charge 3mg.

従来の接触型及び飛しょう型破砕器の同様の破砕実験からは、モデル結石の直径を D (cm)とし、この破砕可能な装薬量を L (mg)とすると、接触型の場合は $L=2.4D^3$ 、飛しょう体型の場合は $L=0.59D^3$ の実験式が求められている。これらの実験では石こうを素材にしたモデル結石を使っているため、これらと直接の比較はできないが、いずれも圧縮強度が同程度のモデル結石を使っているため、この点で比べるとピンハンマー型の破砕力は、接触型破砕器より大きく、飛

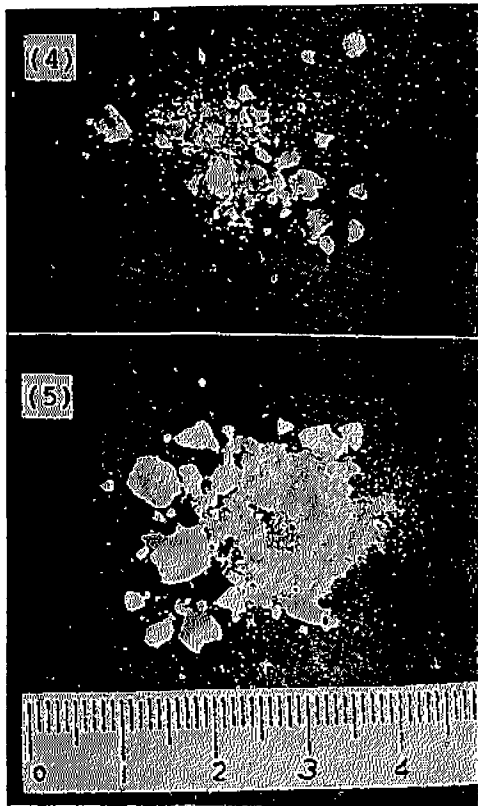


Fig. 6 Fragments of ureter calculi crushed by the blaster. (4) Size of the ureter calculus used: 0.5cm×0.5cm×0.8cm, blaster : triciniate charge 5mg. (5) Size of the ureter calculus used : 1.0cm×1.0cm×1.5cm, blaster : triciniate charge 5mg.

しょう体型破砕器より小さいことになる。

次に実際の結石破砕を上と同じ方法で行った。使用した破砕器は、スタンドオフ10mm、トリシネート5mg入りのものである。用いた結石は、腎臓結石と尿管結石である。腎臓結石は1.5cm×1.5cm×2.0cm, 1.0cm×1.0cm×1.5cm, 及び0.8cm×1.0cm×1.5cmのもので、これらの短径方向から行った結果、いずれも2~3個に破砕された。尿管結石は0.5cm×0.5cm×0.8cm, 及び1.0cm×1.0cm×1.5cmと小さいが、同様に短径方向から破砕した結果、非常に細かく粉砕された。Fig. 6にそれを示す。

尿管結石は大体直径1cm以下の弱い石が多いので、爆薬量としては更に少い量で割ることができると考えられる。この石は細くて弱い尿管内に入っているものなので、尿管を傷つけるようでは使えない。そこで次に豚尿管をモデルにし、その中に結石を入れ長径方向から破砕し、尿管に損傷が生ずるかどうかを肉眼で観察した。使用した破砕器は、スタンドオフ10mm、ト

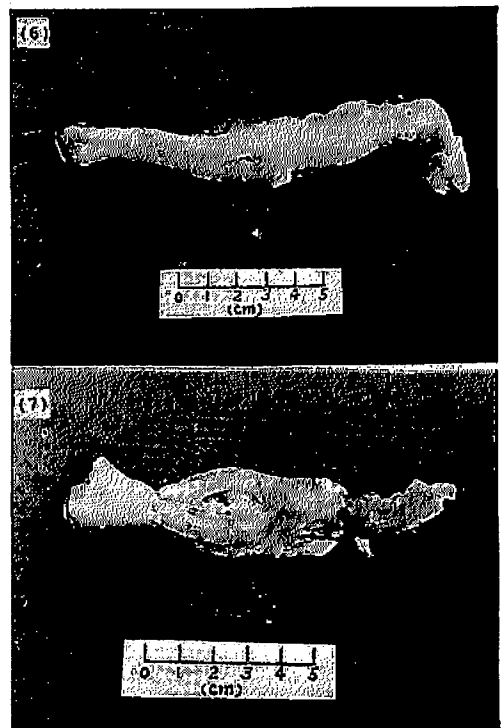


Fig. 7 Crushing of a ureter calculus by the blaster in a ureter of a pig. After crushing of the ureter calculus, the ureter was opened by a scalpel. (6) Size of the ureter calculus used : 0.7cm×0.8cm×1.0cm, blaster : triciniate charge 3mg. (7) Size of the ureter calculus used : 1.0cm×1.0cm×1.2cm, blaster : triciniate charge 3mg.

リシネート3mg入りのものである。

Fig. 7の上段(6)は0.7cm×0.8cm×1cmの尿管結石を、下段(7)は1cm×1cm×1.2cmの尿管結石を破砕した後、メスで尿管を切開し、尿管の損傷と破砕結石を観察したもので、尿管を傷つけずに結石を破砕し得ることが判った。ピンハンマーは正しく管体の先端から10mm飛び出して止まり、管体には異状は認められず、爆発音は小さく、ガス漏れも殆んどないことが認められた。

4. 小型破砕器の作製とせの性能

上記破砕器の実験結果から、これを小型化すれば尿管結石用として実用し得るものと推測される。そこで上記破砕器を2/3の大きさに縮小した。

ただしピンハンマーはFig. 8のように先端を細くしたものをを用いた。材質はステンレス(Sus-303)である。スタンドオフは6mmにした。スパーサーには1.5mm×1.5mm四方の方眼紙2枚を用いた。点火具にはトリシネート0.15mg以下塗付のものをを用いた。

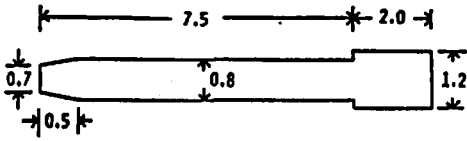


Fig. 8 Pin-hammer of the small-size blaster.

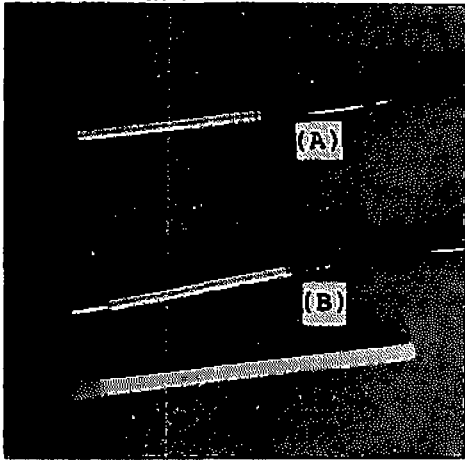


Fig. 9 Small-size blaster before (A) and after (B) ignition.

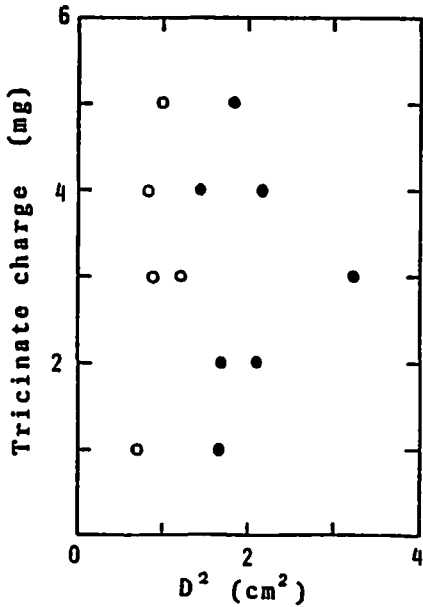


Fig. 10 Crushing of model calculi by the small-size blaster. D: diameter of model calculi, o: crushed, o: partially crushed.

このように作製した破砕器を Fig. 9 に示す。A は駆動薬トリシネートに着火する前、B は着火した後の

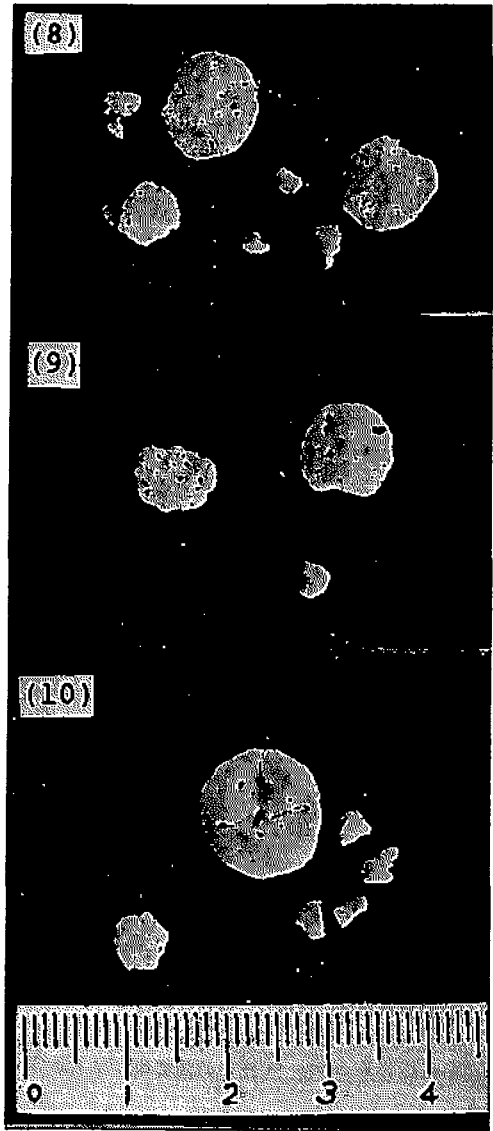


Fig. 11 Fragments of model calculi crushed by the small-size blaster. (8) Diam. of the model calculus used: 0.95cm, blaster: triciniate charge 3mg. (9) Diam. of the model calculus used: 0.85cm, blaster: triciniate charge 1mg. (10) Diam. of the model calculus used: 1.2 cm, blaster: triciniate charge 4mg.

ものである。

尿管結石を破砕するには、破砕器を尿道から膀胱を介した尿管内に、また背中から腎臓を介して尿管内に挿入して行う方法があり、尿道方向からは径 2mm 程度のもので、背中方向からは径 2.5mm 程度のもので挿入可能であると言われているので、作製した破砕器はこの両方向から使用し得ることになる。

Fig. 10 に、この破砕器によるモデル結石破砕結果を示した。ただしモデル結石はシリコンゴム上に置く

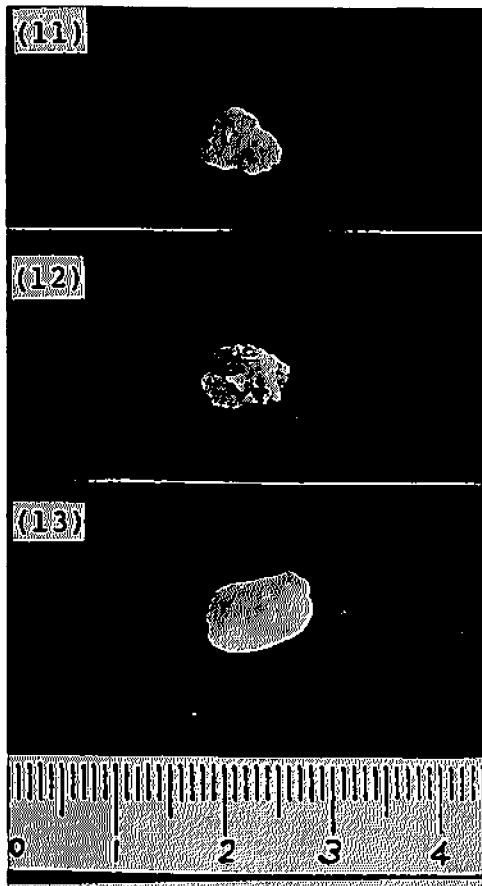


Fig. 12 Ureter calculi used in the crush-experiment. Size, (11) 0.7cm×0.6cm×0.4cm, (12) 0.8cm×0.6cm×0.6cm, (13) 1.1cm×0.7cm×0.7cm.

方法で破砕した。Fig. 11はその破砕例を示したものである。

前の破砕器の場合は、装薬量が多くなるにしたがい破砕力も大きくなったが、この小型破砕器の場合は、破砕可能な石は直径1cm程度のもので、それ以上大きくなると装薬量を多くしてもピンハンマーが付きささるだけであることが判った。

次に尿管結石の破砕を上と同じ方法で試みた。用いた尿管結石をFig. 12に示す。結石の大きさは、(11) 0.7cm×0.6cm×0.4cm, (12) 0.8cm×0.6cm×0.6cm, (13) 1.1cm×0.7cm×0.7cmである。使用した破砕器はトリネート2mg入りのものである。破砕結果はFig. 13に示したが、図中の(11), (12), 及び(13)はFig. 12の(11), (12), 及び(13)と対応している。この図から尿管結石は数個に破砕されることが判る。

尿管結石は小さい石が多く、これを2~3個に割れば自然排出されると言われているので、小型ピンハンマー型破砕器はこのままでも一応尿管結石破砕用とし

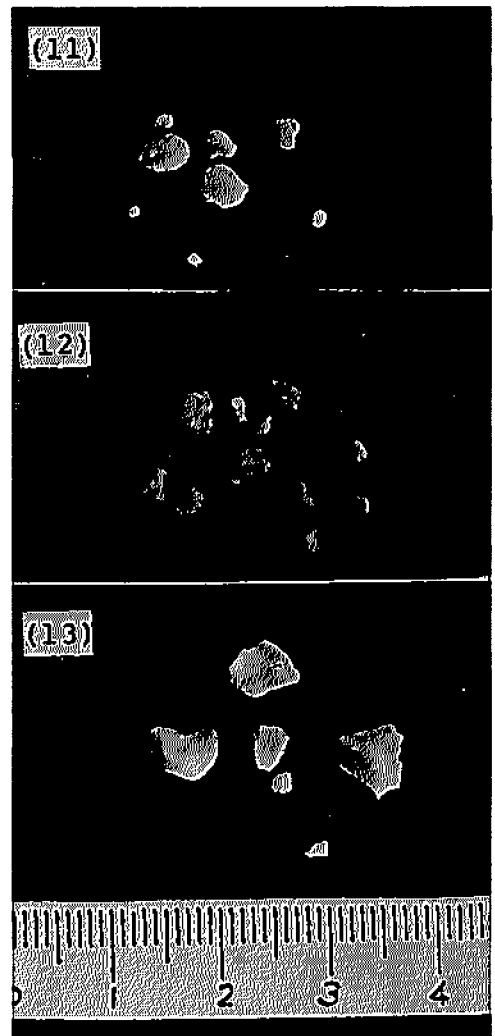


Fig. 13 Fragments of the ureter calculi crushed by the small-size blaster. Ureter calculi shown in Fig. 12 were crushed. Blaster used trinitrate charge 2mg.

て使えるように思える。しかしモデル結石の時にようにピンハンマーが尿管結石につきささってしまうようなこともあると思われるので、今後は、この対策としてピンハンマーの結石打撃面を広くするなどの工夫をしたいと考えている。

5. 結言

尿管結石が詰っている尿管は、細くて弱く、そのために従来の破砕器では、結石を破砕できても尿管まで傷つけてしまうので、この損傷原因になる飛しょう物や爆発ガスを制御した“ピンハンマー型破砕器”を試作した。この破砕器は爆薬の爆発によりピンハンマーを高速で駆動させ、ハンマー先端を結石に衝突させる型式のもので、ピンハンマーを収めた管体先端開口部は細く、ピンハンマーの後部がそれより太いので、

一定の長さ動いて止まり、これにより爆発ガスは管体内に封じ込められる仕組みである。

まず外径3mm内径2mm管体内にスタンドオフを設けてピンハンマー（全長14.5mm、先端の径1.45mm、後端の径1.95mm）を収め、その後スペース、次いで駆動用爆薬、その後点火具を組み込んだ尿管結石用としてはやや大型のピンハンマー型破砕器を作製し、その性能を検討した。

その結果、駆動用の爆薬にはトリシネートが良く、またスタンドオフは大きくとる程、力も大きくなることが認められた。モデル結石や実際の結石破砕実験では、これら結石を良く破砕し得ることが判り、また豚尿管内で行った結果からは尿管を傷つけずに結石を破砕し得ることが判った。

これらのことから、このピンハンマー型破砕器を小型化すれば実用し得るものになると考え、尿管内に挿入可能な外径2mm管体長26mmの小型ピンハンマー型破砕器を作製した。この破砕器は破砕力が小さいなどの不充分なところはあがるが、一応小さい尿管結石

なら破砕し得るので、実用可能と思われた。

とにかく、尿管結石については、現在この“ピンハンマー型破砕器”で破砕する他に適当な手段がないと思われるので、近い将来何とか臨床応用の段階にまでもってゆきたいと考えている。

付 記

破砕器の設計に当り、細谷火工の大森正義氏には協力を得た。

文 献

- 1) 生沼仙三, 藤原修三, 工業火薬, 37, 237 (1976)
- 2) 渡辺決, 生沼仙三, 日泌尿会誌, 68, 243 (1977)
- 3) 渡辺康介, 日泌尿会誌, 74, 299 (1983)
- 4) 生沼仙三, 椎野和夫, 大森正義, 工業火薬, 44, 182 (1983)
- 5) 生沼仙三, 椎野和夫, 田中一三, 工業火薬, 45, 26 (1984)
- 6) 正沼仙三, 椎野和夫, 田中一三, 飯田光明, 化技研, 79, 218 (1984)

Studies on Lithotripsy by Microexplosion (VII) A Surgical Blaster with a Pin-hammer

by Senzo OINUMA*, Kazuo SHIINO*, Kazumi TANAKA*,
Mitsuaki IIDA* and Noboru ISHIKAWA*

A surgical blaster consisting of a pin-hammer, an explosive charge and an igniter was developed. A cylindrical piston was used as the pin-hammer. It was set in a stainless steel tube which was 2.0mm or 3.0mm in diameter and 26mm to 50mm in length. One to five mgs. of explosives-DDNP, trisinate, tetrazene and lead azide were charged. The electrical igniter was placed just near the charge. The crush of calculi and model calculi was tested, and injury to the ureter of a pig by the blaster was examined.

(*National Chemical Laboratory for Industry,
1-1 Yatabe-cho Ibaraki-ken, Japan)