微小発破の生体応用に関する研究

第2報 尿路結石の組成と強度

	村	田	庄	平
京都府立医科大学泌尿器科学教室	渡	辺		決
(主任: 渡辺決教授)	高	橋		徹
	渡	辺	康	介
通商産業省工業技術院機械技術研究	古	江	治	美
所材料物性課 (主任: 島村昭治課長)				
通商産業省工業技術院東京工業試験所	生	沼	仙	三
環境保安部1課 (主任: 水島容二郎課長)				

STUDIES ON THE APPLICATION OF MICROEXPLOSION TO
MEDICINE AND BIOLOGY

II. Construction and Strength of Urinary Calculi

Shouhei Murata, Hiroki Watanabe, Tohru Takahashi and Kousuke Watanabe

Department of Urology, Kyoto Prefectural University of Medicine

(Director: Prof. H. Watanabe)

Harumi Furue

Mechanical Engineering Laboratory, MITI

(Director: Dr. S. Shimamura)

Senzo Oinuma

National Chemical Laboratory for Industry, MITI

(Director: Dr. Y. Mizushima)

As one of the fundamental researches for the development of microexplosion lithotripsy, chemical component, density, hardness, compressive strength, tensile strength and the modulus of elasticity were measured on 66 dry urinary calculi. The results are as follows:

- 1) Chemical component was not so different from that of former reports.
- 2) Density was from 0.97 g/ml to 1.75 g/ml.
- 3) Hardness was from 12.5 HrF to 102.5 HrF.
- 4) Compressive strength was from 19.0 kg/cm² to 176.0 kg/cm².
- 5) Tensile strength was from 0.8 kg/cm² to 34.3 kg/cm².
- 6) A direct proportion was observed between the compressive and the tensile strength of calculi.
- 7) The modulus of elasticity was 5.4×10^8 dyne/cm² to 88.0×10^8 dyne/cm².
- 8) Almost no correlation was observed between the strength of calculi and their chemical component.

Laminated calculi, however, were weaker than non-laminated one in most cases.

9) Urinary calculi could be classified into two groups according to their strength at the border of 65 kg/cm² in compressive strength and of 15 kg/cm² in tensile strength by dry sample. Approximately 80-90% of all calculi might belong to the "low strength calculus" group of which strength was under the borderline and the remaining 10-20% might belong to the "high strength calculus" group of which strength was over the borderline.

10) From these results obtained by dry samples, it became evident that two kinds of calculus model should be prepared for the experiment of lithotripsy: the "low strength calculus model" of which strength was approximately 65 kg/cm^2 in compressive and 15 kg/cm^2 in tensile and the "high strength calculus model" of which strength was approximately 180 kg/cm^2 in compressive and 35 kg/cm^2 in tensile.

結 言

前報¹⁾において述べたように、微小発破の医学領域への応用として、最初に考えられる対象は、尿路結石の破砕である。この計画にあたり、発破の生体におよぼす影響や爆薬量などを知るために、一定の強度の結石モデルを作製する必要がある、そのための第1段階として、私たちはまず破砕される側の結石の組成ならびに強度を調べることにした。

方 法

1) 実験材料

実験には、京都府立医科大学泌尿器科学教室および沖縄県立中部病院泌尿器科において、載石手術によって採取された乾燥尿路結石計66個を使用した。載石を行つた患者の状態や結石の存在部位などについては、今回の実験目的とはあまり関係がないので、とくに検討しなかつた。

2) 結石の成分

結石成分については、工業技術院東京工業試験所平塚分室において、赤外線分光分析とX線回析による分析を行つた。赤外線分光光度計は JASCO MODEL IRS-Infrared Spectrophotometer を使用し、KBr 錠剤法で行い、X線回析装置は理学電気機械 KK の Diffraction Apparatus Model D-3F を用いた。

3) 結石の密度

結石の密度は、同じく工業技術院東京工業試験所平塚分室において測定した。試料を立方体に研磨し、その三辺の長さや質量を計測し、密度を算定した。

4) 結石の硬度

結石の硬度は、工業技術院機械技術研究所材料物性課において測定した。試料を合成樹脂中に包埋し、砥石にて研磨して結石の中心部を通る断面を出し、その硬度を Rockwell 硬度計にて、試験荷重60kg, F 目盛にて測定した。単位はF目盛による Rockwell 単位 HrF にて示した。

5) 結石の圧縮強度、引張り強度ならびに弾性率

これらの測定は、同じく工業技術院機械技術研究所材料物性課において行なつた。

a) 圧縮強度

試料を概略の立方体に成形して、インストロンタイプの万能材料試験機、島津オートグラフ IS-20T に装着し、ロードセル容量500kg, フルスケール10kg または25kg, 荷重速度0.5mm/min に設定して、試料を圧縮し、破断を生じた時の荷重と、破断面の面積計測結果とから、試料の圧縮強度を算出した。

b) 引張り強度

試料を成形したのち、その両端にそれぞれ1本ずつの鋼線を接着剤にて接着し、鋼線を同じ測定装置に固定することによつて試料を支持し、同じ測定条件で試料を引張つた。ただし荷重速度は1.0mm/min とした。同じく破断を生じた時の荷重と、破断面の面積計測結果とから、試料の引張り強度を算出した。

c) 弾性率

前述の試料圧縮過程における、弾性限界内での応力—歪み曲線の勾配より、試料の圧縮弾性率を算定した。

結 果

1) 結石の成分

結石成分の分析は、尿路結石66個の試料について行つた。これらに含まれた成分は、下記の5種類であつた。

- (1) $\text{Ca} (\text{COO})_2$
- (2) $\text{Ca}_3 (\text{PO}_4)_2 + \text{Ca} (\text{COO})_2$
- (3) $\text{Ca}_3 (\text{PO}_4)_2 + \text{MgNH}_4\text{PO}_4$
- (4) $\text{Ca}_3 (\text{PO}_4)_2 + \text{Ca} (\text{COO})_2 + \text{MgNH}_4\text{PO}_4$
- (5) $\text{C}_5\text{H}_4\text{N}_4\text{O}_3$

これらの赤外線分光分析とX線回析の実例を、それぞれ図1および2に示した。

成分ごとの頻度は、磷酸カルシウムと蓚酸カルシウムとの混合したもの(2)が最も多く、35個(55%)、磷酸カルシウムと磷酸マグネシウムアンモニウムとの混合したもの(3)12個(19%)、これに蓚酸カルシウムを混じったもの(4)9個(14%)、蓚酸カルシウム(1)4個(6%)ならびに尿酸(5)2個(3%)であつた。のこりの4個は成分不明であつた。

2) 結石の密度

30個の結石試料について密度を測定したが、操作中に脆すぎて壊れたものが7個あり、実際に測定値の得られたものは23個であつた(表1)。結石により輪層状構造を

図 1

図 2

上

下

表 1

No.	成 分	層状構造 の有 無	密 度 (g/ml)
1	Ca(COO) ₂ (1)	+	1.75
2		—	1.05
3	Ca ₃ (PO ₄) ₂ + Ca(COO) ₂ (2)	+	1.08
4		+	1.10
5		+	1.23
6		+	1.28
7		+	1.56
8		—	+++
9		—	1.41
10		—	1.49
11		—	1.59
12		—	1.62
13		—	1.72
14	Ca ₃ (PO ₄) ₂ + MgNH ₄ PO ₄ (3)	+	+++
15		+	+++
16		+	1.04
17		+	1.10
18		+	1.30
19		+	1.36
20		+	1.38
21		+	1.38
22	Ca ₃ (PO ₄) ₂ + Ca(COO) ₂ (4) + MgNH ₄ PO ₄	+	+++
23		+	+++
24		+	+++
25		+	+++
26		+	0.97
27		+	1.41
28	C ₅ H ₄ N ₄ O ₃ (5)	+	1.46
29	不 明 (u)	+	1.33
30		—	1.13

++++成形中に脆すぎてこわれてしまったもの

図 3

呈するものと呈さないものがあるので、その有無をも併記した。

密度は0.97~1.75g/ml の範囲に一樣に分布し、全試料の平均値は1.34g/ml であった(図3)。各成分ごとの密度には、それほど有意差はみられなかったが、磷酸カルシウムと碳酸カルシウムの混合結石(2)で、輪層状構造の有無により密度を比較してみると、輪層状構造のあるものでは平均1.25g/ml、無いものでは1.57g/ml とかなりの開きがみられた。また密度測定のため成形中脆すぎて壊れた試料には、磷酸マグネシウムアンモニウムを含有しているもの(3, 4)が多かった。尿酸結石(5)は例数が少なくはつきりしないが、密度の高い方に属すると考えられた。

3) 結石の硬度

硬度は29個の結石試料について調べた(表2)。同じく輪層状構造の有無を併記した。測定のための加工中、軟かすぎて壊れてしまったものが7個あり、とくに磷酸カルシウムと磷酸マグネシウムアンモニウムとの混合結石(3)では4個中3個が壊れた。

硬度は12.5~102.5HrF とかなりの幅に一樣に分布し、輪層状構造の有無や、成分の違いに対して一定の傾向はみられなかった(図3)。尿酸結石は1例調べたのみであったが、かなりの硬度を有していた。測定が可能であった全試料の平均値は60.9HrF であった。

4) 結石の圧縮強度、引張り強度ならびに弾性率

これらの値は33個の結石試料に対して測定したが、圧縮強度と引張り強度の両者について検索し得たのはこのうち14試料のみであった。その結果は、輪層状構造の有無も併記し、表3に示した。

a) 圧縮強度

圧縮強度は19.2~176.0kg/cm² と広い範囲にわたったが、測定した19試料中15試料(79%)は65kg/cm² 以下の比較的狭い範囲にまとまって分布しており、残りの4試料(21%, ◎印で示す)はそれ以上の広い範囲に分散した(図3)。全試料の平均値は48.7kg/cm² であった。

磷酸カルシウムと碳酸カルシウムの混合結石(2)においては、輪層状構造の有無により圧縮強度に差があり、有層のもの平均26.5±6.7kg/cm²、無層のもの平均85.8±

表 2

No.	成 分	層状構造 の有 無	硬 度 (H _{RF})
38	Ca(COO) ₂ (1)	—	81.8
39		—	36.5
40	Ca ₃ (PO ₄) ₂ + Ca(COO) ₂ (2)	+	+++
41		+	++++
42		+	12.5
43		+	56.0
44		+	58.0
45		+	83.0
46		+	102.0
47		—	+++
48		—	++++
49		—	18.0
50		—	20.0
51		—	20.0
52		—	23.0
53		—	69.0
54		—	73.5
55		—	76.0
56		—	82.0
57		—	85.5
58		—	88.0
59		—	91.0
60		—	92.5
61	Ca ₃ (PO ₄) + MgNH ₄ PO ₄ (3)	+	+++
62		+	+++
63		—	+++
64		+	28.5
65	C ₆ H ₄ N ₄ O ₃ (5)	—	102.5
66	不 明 (u)	+	40.0

++++成形中に脆すぎてこわれてしまったもの

52.7kg/cm² と、無層の結石に強いものが多くみられた。成分による差はあまり明らかではなかつたが、磷酸カルシウム、蔞酸カルシウムおよび磷酸マグネシウムアンモニウムの3者混合の結石(4)は、脆くて試料作製の段階で壊れるものが多かつた。

b) 引張り強度

引張り強度も、0.8~34.3kg/cm² と広い範囲にばらついていたが、測定した25試料中23試料(92%)はやはり15kg/cm² 以下の比較的狭い範囲にまとまつて分布し、残りの2試料(8%, ⊙印で示す)がこれらとかなりかけ離れて高い値を示した(図3)。この2試料は圧縮強度でも高い値を示しており、例外的に試料12(×印で示す)のみが、圧縮強度が高いにもかかわらず引張り強度は低かつた。全試料の平均値は7.0kg/cm² であつた。

ここでも輪層状構造を有する結石は弱く、無層の結石は強い傾向にあり、磷酸カルシウムと蔞酸カルシウムとの混合結石(2)でみると、有層のものの平均2.6±1.7kg/cm²、無層のものの平均12.4±11.5kg/cm² と、かなりの差

がみられた。成分による差はやはりあまり明らかではなかつた。

圧縮強度と引張り強度の両者について検索し得た14試料について、両強度の間の関係を見ると、図4のごとく、試料12の例外(×印で示す)を除くとほぼ比例関係が成立し、圧縮強度を y, 引張り強度を x とするとその関係式は下のごとくであつた。

$$y=3.34x+15.8 \quad (r=0.890)$$

c) 弾性率

弾性率は5.4~88.0×10⁸dyne/cm² の範囲にあつたが、その分布は比較的一様であつた(図3)。圧縮強度・

図 4

図 5

表 3

No.	成 分	層状構造 の有 無	圧縮強度 (kg/cm ²)	引張強度 (kg/cm ²)	弾 性 率 ($\times 10^8$ dyne/cm ²)
2	Ca(COO) ₂ (1)	—	19.2	1.0	22.5
3	Ca ₃ (PO ₄) ₂ + Ca(COO) ₂ (2)	+	21.4	1.3	19.3
4		+		1.6	
5		+	35.9	5.3	5.4
6		+	22.2	0.8	7.3
8		—		4.6	
9		—	37.3	6.0	39.6
10		—		5.8	
11		—	176.0	34.3	81.7
12		—	102.8	3.3	52.1
13		—		14.0	
27		—	82.7	32.0	88.0
32		+		3.8	
33		—		8.2	
34		—	30.1	3.3	25.6
14	Ca ₃ (PO ₄) ₂ + MgNH ₄ PO ₄ (3)	+		2.3	
16		+	22.7		15.5
17		+	19.6	1.1	7.1
18		+	125.0		15.9
19		+	22.6	2.5	10.6
20		+	47.2	5.5	14.9
21		+	39.2		55.8
22	Ca ₃ (PO ₄) ₂ + Ca(COO) ₂ (4) + MgNH ₄ PO ₄	+		0.8	
23		+		1.3	
24		+	+++	1.4	+++
25		+		14.2	
26		+	+++		9.4
31		+	32.0	5.7	44.2
35		+	+++		+++
36		+	+++		+++
28	C ₅ H ₄ N ₄ O ₃ (5)	+	22.7		15.5
30	不 明 (u)	—	36.6	14.2	16.4
37		+	30.7		58.4

+++成形中に脆すぎてこわれてしまったもの

引張り強度の高かった試料(●印で示す)は概して弾性率も高い値を示したものの、例外(試料18)もあり、また強度が低くても弾性率の高い試料もみられた。測定した20試料の平均値は 30.3×10^8 dyne/cm²であつた。

弾性率についても同様、成分による差よりも輪層状構造の有無による差の方が目についた。磷酸カルシウムと乳酸カルシウムの混合結石(2)では、有層のものの平均 $(10.7 \pm 6.2) \times 10^8$ dyne/cm²、無層のものの平均 $(57.4 \pm 24.0) \times 10^8$ dyne/cm²と、明らかな差がみられた。

同一の試料について圧縮強度と弾性率との関係をみると、図5のごとく、あまり明らかな比例関係はなく、強度の高い試料も低い試料も、弾性率についてかなり広い範囲に分布することがわかつた。

考 按

尿路結石を破碎する目的には、古くから行われてきた器械的方法のほか、強力超音波を用いる方法(Coats⁹⁾ 1956)、レーザーを用いる方法(Bush⁹⁾ 1966)、電気水圧効果を利用する方法(YPAT-I¹⁰⁾, Montreal World Fair 1967)などがあり、このうち強力超音波⁹⁾とYPAT-I¹⁰⁾については、本邦でも実際に応用した報告がある。しかしながら、いずれも治験程度の論文にすぎず、結石破碎の基本に立ち帰って結石の強度から検索をはじめたものはない。

その点私たちが開発しようとしている微小発破は、まったく未知の領域に属する技術であるので、これを結石破碎に応用するためには、どうしても結石の成分を分析

し、さらにその強度を調べた上で、破碎実験のための結石モデルを作製する必要があつた。

まず尿路結石の分析のために、私たちは本邦では、市川、高崎⁷⁾ によつて確立された赤外線分光分析を主に、補助手段としてX線回析による分析と化学分析を併用した。私達の分析結果では、高崎の500結石についての分析結果⁸⁾ とその成分頻度が多少異なるように思えた。すなわち、一般にもつとも多いとされる磷酸カルシウムと蓚酸カルシウムの混合結石 (2) については、高崎の報告における50.8%という数字とはほぼ頻度が一致したが、高崎が17.4%で第2位に挙げている蓚酸カルシウム単独結石 (1) の頻度は低かつた。また高崎が3.2%で第5位に挙げている磷酸カルシウム単独結石は私たちの試料中には見当らず、逆に高崎がそれぞれ第3位 (16.4%) および第4位 (5.6%) としている磷酸マグネシウムアンモニウム結石およびこれに蓚酸カルシウムを混じた結石は、私達の試料では常に磷酸カルシウムを混じていた。

しかし微量の磷酸カルシウムは種々の成分の結石中に共通して広く含まれているし、また磷酸マグネシウムアンモニウムは単独では結石をつくらず、常に磷酸カルシウムや炭酸カルシウムを混じた結石を作るとされている⁹⁾ ことからみて、大局的には高崎の分析結果と私たちの結果とは大差がないことになる。

つぎに結石の物理的性質に関して、その密度・硬度・圧縮強度・引張り強度・弾性率の5項目を、結石の組成および輪層状構造の有無と関連させながら検索した。

密度の測定を行つた30個のうち、7個の結石は試料成形中に脆すぎて壊れてしまつたが、このうち6個はその成分に磷酸マグネシウムアンモニウムを含んでいた。高崎⁸⁾ もこの磷酸マグネシウムアンモニウム結石は、大多数は脆くて破壊し易く、割面はしばしば輪層状構造を有すると述べているが、私たちが得た所見もこれと同様であつた。頻度の高かつた磷酸カルシウムと蓚酸カルシウムとの混合結石 (2) の中では、輪層状構造の有無によりその密度に差があつた。今回測定的全試料の密度分布は0.97~1.75g/ml で、平均1.34g/ml となり、建築用レンガの生焼きのもの1.6g/ml⁹⁾ に近いといえる。

硬度の測定には種々の方法があり、その定義も一定ではないが、私たちは最も一般的な Rockwell 硬度計を用いた。実際に硬度を測定したものは29試料であつたが、そのうち磷酸カルシウムと蓚酸カルシウムの混合結石 (2) が21試料と大部分を占め、成分の上からはやや試料の選び方が偏つていたかも知れない。しかしそれでも硬

度の分布は12.5~102.0HrF とかなりの幅がみられた。

全試料の平均値は60.9HrF で、これは人の上腕骨の硬度61~66HrF¹⁰⁾ にはほぼ一致する。

圧縮強度はやはり広く分散していたが、ほぼ65kg/cm² を境にして、全体を大きく2群に分けることが可能なように思われた。輪層状構造を有している結石の圧縮強度は弱い傾向があつたが、磷酸カルシウムと蓚酸カルシウムとの混合結石 (2) において、それはとくに顕著であつた。

全試料の平均値は48.7kg/cm² であつたが、通常の石材にはこれほど強度の弱いものはなく、磷酸カルシウムと蓚酸カルシウムの混合結石 (2) の無層のものの平均圧縮強度値85.8kg/cm² が、石材中ではもつとも強度の弱い部類に属する凝灰岩大谷白石の圧縮強度86.0kg/cm²⁹⁾ に近い値を示している。

引張り強度もやはりばらつきが大きい。が、圧縮強度と同様ほぼ15kg/cm² を境にして全体を2群に分類できた。磷酸カルシウムと蓚酸カルシウムとの混合結石のうち輪層状構造のあるものは平均2.6kg/cm²、無構造のものは平均12.4kg/cm² となり、他の物質と比較すると、前者はヒト膀胱壁の引張り強度2.5kg/cm²¹¹⁾、後者は凝灰岩大谷白石の引張り強度9.0kg/cm²⁹⁾ に近いことがわかる。

さて以上の結果をまとめてみると、尿路結石の力に対する物理的諸性質は、その成分とはあまり関係がないように思われる。磷酸マグネシウムアンモニウムを含有する結石はたしかに脆いが、中には試料49のように非常に高い強度を示すものもあり、普遍的な性質とはいひきれなかつた。それに比べると結石の輪層状構造の有無は明らかに強度と関係があり、もちろん前述の試料18のような例外はあるものの、一般的に有層の結石は無層のものに比べて、強度が低く、ことに引張りに弱い傾向がみられた。ただし硬度についてはこのような傾向がみられないので、有層の結石がこわれやすいのはやはり構造上の問題であつて、結石を構成する物質そのものの硬さの問題ではないと推察できる。

全試料を通じて圧縮強度と引張り強度とはかなりよく相関した。唯一の例外は試料12であつたが、この試料は引張り強度試験に供する前にすでにヒビが入つていた可能性も考えられる。両者の関係式は前述のごとく、

$$y = 3.34x + 15.8 \quad (r = 0.890)$$

であつたが、試みに各種の石材について青木の資料⁹⁾ にもとずき同様に両者の関係を概算すると、

$$y = 16.3x + 304 \quad (r = 0.750)$$

となり、その勾配は結石の場合に比べてかなり急である。すなわち尿路結石は、通常の石に比べて圧縮に弱く引張りに強い性格をもっているといえることができる。

これに対し、結石の強度と弾性率の間にはそれほどはつきりした比例関係は認められず、強度の低い結石でもかなり大きい弾性率を示す場合があつた。結石の強度と硬度との関係については、両者を同一の試料で測定することができなかつたので、今回は明らかにし得なかつた。

結石の密度や硬度はある範囲に一樣に分布していたのに比べ、圧縮強度と引張り強度は、大部分の試料が比較的低い値の狭い範囲にまとまって分布し、残りの少数の試料のみが高い値の広い範囲に分散して、両者の間にある空白の領域がみられたことは、かなり重要な所見である。なぜなら、全試料の平均をとると、その値は空白の領域に落ちてしまい、統計的にあまり意味がなくなってしまうからである。したがって結石の強度については、これを前述の空白の領域を境に2種に分けて考えるのが、より妥当であると思われる。

私たちの成績によれば、この境界値はほぼ圧縮強度65 kg/cm²、引張り強度15 kg/cm²のあたりにあると思われた。前述のごとく結石の圧縮強度と引張り強度の間には比例関係があり、その関係式において引張り強度15 kg/cm²に相当する圧縮強度は65.9 kg/cm²なので、その意味でもこの境界値は妥当なところであろう。

この結果、尿路結石は圧縮強度65 kg/cm²、引張り強度15 kg/cm²を境に、これより強度の高い結石と強度の低い結石との2種に分類できることになつた。そこで私たちは前者を高強度結石、後者を低強度結石と命名した。

高強度結石は結石全体の10～20%にすぎず、輪層状構造をもたないことが多いが、例外もある。その強度は、大体土木材料として用いられる石材としてはもつとも強度の低い凝灰岩（大谷石、沢田石など）に相当する程度と考えてよく、石材の分類では軟石ないし準堅石の範疇にある⁹⁾。

低強度結石は結石全体のほぼ80～90%を占め、輪層状構造はあるものもないものもあるが、輪層状構造を有するものは中でも概して強度が低い。その強度は通常の石材よりかなり低く、引張り強度でいえば膀胱壁などの生体軟部組織のそれに近い。すなわち強度についてのみみれば、自然界でいういわゆる「石」の概念にはあたらないものである。

このように強度の上から結石を2種に分類することは、結石破碎の面からみても非常に好都合である。なぜなら大多数の結石は低強度結石なのであるから、一応結石破碎のためのエネルギーとしては、第1段階として前述の境界値程度の強度の結石を破碎できる量を用意し、これで破碎できないときには第2段階として、高強度結石用のさらに多くのエネルギーを与えることにすればよいからである。これによつて大多数の結石は、必要最小限のエネルギーによつて破碎できることになる。

そこで本研究の目的である破碎実験のための結石モデルとしては、それぞれの範囲内で考えられる最高強度値を設定値として、つぎの2種類の強度のものを作製することが望ましい。

1) 低強度結石モデル：圧縮強度65 kg/cm² 前後、引張り強度15 kg/cm² 前後。

2) 高強度結石モデル：圧縮強度180 kg/cm² 前後、引張り強度35 kg/cm² 前後。

破碎実験のための結石モデルとしては、硬度や弾性率の設定は第2義的であると考えられるが、一応硬度は100HrF、弾性率は低強度結石モデルで50～60×10⁸ dyne/cm²、高強度結石モデルで80～90×10⁸ dyne/cm² 前後を目安にすれば、充分であると思われる。

ただしここで注意しなければならないのは、今回測定した試料は、いずれも人体から採取されたもの長時間にわたつて十分に乾燥された試料であつたことである。これらの結石が尿路中に尿に浸されて存在した時の物理的諸性質は、当然乾燥後のそれとは異なることが予想される。私たちは現在次の段階として、人体から採取した直後の結石試料の測定を行つているが、その結果でも、強度、ことに圧縮強度に多少のずれがみられるように思われる。

また尿路結石の特徴として、その成分には結晶部分以外にかなりの有機成分が含まれ、それがいわば糊のように結晶同志を結びつけている可能性がある。今回明らかになつた、尿路結石の圧縮強度と引張り強度との関係は自然界の石とはやや趣きを異にするという事実にも、おそらくこのような有機成分の作用が関連しているのではないかと推測され、現在私たちはこの面についても検索を続けている。

したがって最終的に決定される結石モデルの設定値には、まだ多少の変更があり得ることをお断りして、この稿を閉じることとする。

結 論

微小発破による尿路結石破碎計画の一環として、破碎実験に用いる結石モデルの作製を目的に、乾燥結石試料66個について、その組成、密度、硬度、圧縮強度、引張り強度ならびに圧縮弾性率を測定した。結果は次のごとくであつた。

1) 結石の成分については、従来の報告と大差はなかつた。

2) 結石の密度は0.97g/ml から1.75g/ml であつた。

3) 結石の硬度は12.5HrF から102.5HrF であつた。

4) 結石の圧縮強度は19.2kg/cm² から176.0kg/cm² であつた。

5) 結石の引張り強度は0.8kg/cm² から34.3kg/cm² であつた。

6) 結石の圧縮強度と引張り強度の間には一定の比例関係が認められた。

7) 弾性率は 5.4×10^8 dyne/cm² から 88.0×10^8 dyne/cm² であつた。

8) 結石の成分はその強度とあまり関係がないが、結石が構造的に輪層状構造を有するか否かは、その強度とかなりの関係を有するように思われた。

9) すべての尿路結石は、その強度上、乾燥状態における圧縮強度65kg/cm²、引張り強度15kg/cm² を境界値として、全体の80~90%を占める低強度結石と、全体の10~20%を占める高強度結石とに分類されることが判

明した。

10) 乾燥状態における結石の強度測定結果よりみれば、尿路結石破碎実験に用いるための結石モデルとしては、圧縮強度65kg/cm²、引張り強度15kg/cm² 前後の低強度結石モデルと、同じく圧縮強度180kg/cm²、引張り強度35kg/cm² 前後の高強度結石モデルの、2種が必要であると思われた。

文 献

- 1) 渡辺 決, 生沼仙三: 日泌尿会誌, 68, 243, 1977.
- 2) Coats, E.C.: J. Urol., 75, 865, 1956.
- 3) Bush, I.M. et al.: 61st Annual Meeting, American Urological Association, 1966.
- 4) Apparat "YPAT-1". V/O Medexport, USSR, Moscow.
- 5) Terhorst, T. and 八竹 直: 泌尿紀要, 20, 533, 1974.
- 6) 高崎悦司, 島野栄一郎, 永田正義: 臨床泌尿器科, 29, 571, 1975.
- 7) 市川篤二, 柿崎勉, 今村一男, 高崎悦司, 千原 呉郎: 日泌尿会誌, 50, 1, 1959.
- 8) 高崎悦司: 治療, 52, 1657, 1970.
- 9) 青木楠男: 土木材料, オーム社, 1976.
- 10) 杉山吉克: 京府医大誌, 68, 557, 1960.
- 11) 浅見郁夫: 京府医大誌, 70, 767, 1961.

(1976年10月30日受付, 特別掲載)