体外衝撃波結石破碎療法における結石側要因の検討

国立病院医療センター泌尿器科

藤田 公生 佐山 孝* 松島 常 宗像 昭夫

STONE BURDEN ON EXTRACORPOREAL SHOCK WAVE LITHOTRIPSY

Kimio Fujita, Takashi Sayama, Hisashi Matsushima and Akio Munakata

Department of Urology, National Medical Center, Tokyo

Based on the 89 stones treated by ESWL therapy alone, the factors which influence the number of ESWL shots were analyzed. Stone volume was calculated by summing up the value "length $\times$ short axis" for each stone. The value correlated well with the number of shots needed to disintegrate the stone ($p < 0.01$). The stones below the pelvioureteral junction needed twice shots compared with stones in the pelvis and calyces (80.3: 40.2, $p < 0.005$). Stones formed by a single component of cystine or calcium oxalate were hard to be disintegrated (53.2: 31.6, compared with other complex stones). The radiological figure could not predict the fragility.

Key words: ESWL, stone size, fragility

要旨: 体外衝撃波結石破碎療法において、治療に必要な衝撃波数に関与する因子を検討した。X線写真上における結石の長径と短径の積の総和は容易に得ることができ、結石の総体積および必要衝撃波数を示すよい指標になった ($p < 0.01$)。腎盂尿管移行部以下の尿管結石は腎盂腎杯結石に比較して2倍の衝撃波を必要とした(80.3: 40.2, $p < 0.005$)。ほぼ純粋な尿酸カルシウム結石およびシスチン結石は他の混合結石に比較して、必要な衝撃波数が多いという傾向があった(53.2: 31.6)。X線写真上の形から割れやすさを判定することはできなかった。

キーワード: 衝撃波療法, 結石サイズ, 硬度

結 言

体外衝撃波による結石破碎療法 (Extracorporeal Shock Wave Lithotripsy: ESWL) は Chaussy¹⁾によって始められ、上部尿管結石に対して第一に考慮選択されるべき治療法としての地位を短期間のうちに占めるようになった。本邦においても1984年から治療が開始され、すでに多くの臨床経験が報告されている。ここでは体外衝撃波結石破碎装置を用い、無麻酔下の反復単独治療を行うことによって結石負荷²⁾の問題について検討することが出来たので報告する。

対象と方法

使用した装置は Sonolith3000である。本機は水中放電方式で、放電圧が可変、放電は心収縮に同期するようになっている。患者は原則として無麻酔で、前処置や前投薬は行わなかった。電圧を12kVとして治療し

たが、後期には患者が疼痛に耐えられるようなら13.5 kVまで電圧をあげた。入院患者については2~3日、外来患者は1~2週に1回の間隔で反復治療をおこなった。結石が大きくて、排出困難な結石のstreetを形成しそうな例はあらかじめダブルJカテーテルを留置した。尿管結石は、一部の例についてはカテーテルによる腎盂内への押し上げを試みた。腸骨と重なる結石が2例あったが、尿管カテーテルでやや上方に押し上げて、他の場合と同様に背部から治療した。下部尿管例の一部は座位で治療した。

結石の位置については、細かく記載する横山の分類を参考にして以下のようにした (図1)。1: 上腎杯 (ESWL検討委員会によればR2, 以下同様), 2: 中腎杯 (R2), 3: 下腎杯 (R2), 4: 腎盂 (R2), 5: 腎盂尿管移行部 (R3), 6: 腎下極より上部の尿管 (U1), 7: 腸骨稜上縁までの尿管 (U1), 8: 腸骨と重なる部位 (U2), 9: 仙腸関節より下部の尿管 (U3) の9分

* 現 東京大学泌尿器科

図1 結石の位置と、それを破碎するのに必要であった衝撃波数。

腎盂腎杯内の結石はいずれも同様な衝撃波数を示し、平均で $40.2 \pm 27.7 \text{ shots/mm}^2$ であった。腎盂尿管移行部以下の結石は $80.3 \pm 62.3 \text{ shots/mm}^2$ と、約2倍の衝撃波を必要とした ($p < 0.005$)。

類である。ただし各腎杯に散在している結石は最大結石の存在部位で分類し、鋳型結石のように大きな結石が腎盂腎杯に分布している例は腎盂結石として分類した。また、腎盂が直接に尿管に移行する形態の例には腎盂尿管移行部という表現は用いずに腎盂結石とし、図のように腎盂がいちど漏斗状にくびれて一見尿管様の形態をとり、これが尿管に移行する部位に嵌頓している結石を腎盂尿管移行部の結石とした。

結石の大きさについては、X線写真上で各結石陰影の長径と、それと直交する短径を測定した。この際、回転楕円体を想定してそれに近似するという考え方で、小さい突起は無視して平均的な外形をとった。各結石についての積の和を結石全体の大きさの指標とした。

結石の形状を陰影の輪郭から、1. 雪結晶状、2. 不整形、3. 円形の3段階に分類し、また陰影の密度分布から、1. 粗、2. 層状ないし不均一、3. 均一の3段階に分類した。

排出された結石は可能な限り採取して、赤外線分析によって成分を同定した。

残石については、4mm以上の排出困難な結石のあるときは破碎治療を反復することにした。

結 果

対象となった症例は79例89結石で男49例、女30例、年齢は平均(±SD)が 47.6 ± 14.2 歳(14~79歳)であった。

図2 結石影と結石の体積との関係

いくつかのモデル系において、長径が投影された場合の曲線を描き、実際の結石の測定値をあてはめた。1. 球体、2. 長径と短径の比が2:3の長径を回転軸とした回転楕円体、3. 同じく長径と短径の比が1:2の回転楕円体、4. 2:3の回転楕円体が1/2の大きさの相似体を伴った場合、5. 同じく2/3の大きさの相似体を伴った場合、6. 同じ大きさの回転楕円体が2個ある場合

図2に結石影と結石の体積の関係を検討した。いくつかのモデル系において陰影に長径が投影された場合の曲線を描き、実際の結石の測定値をあてはめてみた。指標は二次元であるので、相似型の立体ならば大きくなるほど指標の増加が体積の増加に追いつかないことになるが、例えば完全な球体が腎盂腎杯の中で大きく育つのは不可能であり、次等に複雑な形態をとり、小結石を伴って図の右方の線に移動していくので、この指標と総体積との間には比較的比例関係が保たれていた。

つぎに最大結石の大きさを指標としたときと、総和を指標としたときに、どちらが治療に必要な衝撃波数を示すよりよい指標になるかを検討した(表1)。次項に述べるように尿管結石では平均して腎(腎盂腎杯)結石の2倍の衝撃波を必要とすることがわかったので両者を分ける必要があり、種々な大きさの結石が存在する腎結石を検討の対象とした。衝撃波数を結石の大きさに除した値であると必要衝撃波数と最大結石との関係を検討すると相関係数 0.344203 で95%の信頼度で

表1 腎結石の大きさの指標と破碎に必要な衝撃波数の相関度

	例数	相関係数	信頼度
最大結石	44	0.344203	95%
総和指数	44	0.484244	99%
単一結石*	31	0.839747	99%

*：対象結石が一個の例のみについて相関をみた。
総和が最大結石の大きさと一致する例であり、
状況が単純で、相関係数は最も高くなっている。

有意なのに対し、結石総和との関係では相関係数0.484244で信頼度99%で有意と、より密接な関係を示した。参考に、複数の結石が散在している症例に比べて単純な系である、単一結石症例のみに限って相関度をみたところ、結石の大きさと衝撃波数との間には相関係数0.839747で、より密接な関係が得られた。

図1には結石の位置と、その結石を破碎するのに必要であった衝撃波数を示してある。カテーテルによる押し上げに成功してから治療した例は腎盂結石と分類して必要衝撃波数を計算した。この衝撃波数は腎盂腎杯結石はいずれもほぼ同じであり、腎盂尿管移行部以下で高い値を示した。ただし膀胱近接部の尿管結石に対する必要衝撃波は少なかった。この結果から腎盂腎杯結石は細分類する必要はなく、一括して腎結石としてよいこと、腎盂尿管移行部の結石は尿管結石として考えるべきことが判明した。U1については、腎下極の高さより上か下かによる差はなかった。腎盂尿管移行部以下の結石を尿管結石とすると、治療に必要であった衝撃波数は $80.3 \pm 62.3 \text{ shots/mm}^2$ で腎盂腎杯内の結石の $40.2 \pm 27.7 \text{ shots/mm}^2$ の2倍であり、明らかに有意な差を示した ($p < 0.005$)。

図3には結石の大きさと、その結石の破碎に必要であった衝撃波数を一部の例について示した。尿管結石にあまり大きなものはないこと、しかも小さい結石にもかかわらず多くの衝撃波が必要であったこと、腎結石が非常に大きいときはその碎片化が効率よく行われ、小さくなると陰影の減少効率が悪くなることが示されている。

陰影からみた結石の性状から必要衝撃波を予測する試みは、有意な相関を見いだすことができなかった。表2に腎結石と尿管結石に分けたうえで、一見もっとも破碎が容易と思われた結晶状で粗な結石と、破碎が困難と思われた円形で均一な結石を比較した結果を示した。形態による差は全くみられず、尿管結石の衝撃

図3 結石の大きさとその結石の破碎に必要であった衝撃波数。

尿管結石にあまり大きなものはないこと、しかも結石の大きさの割に多くの衝撃波が必要であったこと、また非常に大きい腎結石はその碎片化が効率よく行われ、小さくなると陰影の減少効果が悪くなることが示されている。

表2 結石の性状と衝撃波数(shots/mm²)

	雪結晶状で粗	円形で均一
腎結石	38.1 ± 19.3 (n = 8)	38.9 ± 31.8 (n = 19)
尿管結石	86.2 ± 67.7 (n = 14)	85.4 ± 53.7 (n = 7)

波数が腎結石の2倍であるという関係が細分類された群間においても保たれていた。

結石成分との関係では、ほぼ純粋なシスチン結石および尿酸カルシウム結石は破碎しにくく、混合結石、とくに炭酸カルシウムをふくむ種々な成分を複雑にふくむ結石は破碎されやすいという関係が示された(表3)。純粋なシスチンないし尿酸カルシウム結石(n=9)と混合結石(n=17)に大別してみると衝撃波数は 53.2 ± 29.7 対 31.6 ± 25.3 であった ($0.05 < p < 0.1$)。

表3 結石成分と衝撃波数

成 分	全例数	腎 結 石	
		例数	衝撃波数
			(shots/mm ²)
シスチン	3	3	59.9±36.5
尿酸 Ca (>98%)	11	6	49.8±25.0
尿酸 Ca+ 磷酸 Ca	28	13	29.5± 9.9
尿酸 Ca+尿酸	1	1	
尿酸	1	0	
磷酸 Ca, NH4+炭酸 Ca	1	3	10.3± 0.6
磷酸 Ca+炭酸 Ca+尿酸 Ca	1		
磷酸 Mg, NH4, Ca+炭酸 Ca	1		

考 察

体外衝撃波治療において、結石の破碎しやすさについては治療の成功率という観点からの検討があるが、必要な衝撃波数からの分析はほとんどない。これは、初期においては反復治療は現実の問題として考えられなかったことと、圧電素子型の機種においては衝撃波数などという簡単な数値で表現することが出来ないためであろう。

結石の大きさをどう表現するかという課題については種々な方法がとられている。わが国の ESWL 検討委員会では簡易な方法として最大結石の長径のみを記載することにして、Griffith らは最大結石の長径とともに、各結石の長径の和を求め、surgical burden として表現している²⁾。われわれは X 線写真上の陰影面積を長径と短径の積の和として表現すると、実際の結石の体積と良好な比例関係があることを知り (図 2)、指標として用いている。長径のみを指標とするよりも短径との積をとったほうが実際の体積に近づき、また最大結石のみをみるよりも総和をとったほうがよりよい指標になることは、結石の形の多様性、同大の結石が 2 個あったときのことを考えると当然と思われる。この指標が結石の大きさのみでなく治療に必要な衝撃波数とも密接な関係にあることが今回の検討で示された。細かい突起は無視し、コンピュータグラフィックで種々な大きさの球体の集合で複雑な立体をつくりあげていくのに似た感覚で採寸すると、より望ましい数値が得られると思われる。また、細かい結石はいちいち計算しても総和に対する寄与率は小さくなるので省略してもよい。この数値は臨床的に容易に得られ、有用な指標と考えられる。

尿管結石が破碎されにくいということはいずれの施設によっても観察されている。Mueller らはベンロー

スドレインにいった石に衝撃波を与え、結石の周囲から破碎が始まっているにもかかわらず破片はそのまま留まり、以後の衝撃波による破碎を妨げていると述べている³⁾。今回の検討では、この破碎されにくさを 2 倍という数値で表現されている。仙腸関節を通り過ぎた下部尿管については、比較的少ない衝撃波で治療できることを Pettersson らも観察している⁴⁾。これは下部尿管においては、ある程度の大きさに破碎すれば容易に排出されるためであろう。

大きさと位置に次ぐ第 3 の因子として、衝撃波によって割れにくい性質の結石という問題があるが⁵⁾、X 線写真上の陰影の性状から割れやすい結石かどうかを判定することはできなかった。今回のような分類が必ずしも結石成分を反映しなかったことが大きな理由であろう。ほぼ純粋な尿酸カルシウム結石と、尿酸カルシウムと磷酸カルシウムの混合結石は種々な形態をとり全分類に分布した。純粋な尿酸結石は尿管に 1 例あったのみで、その例が特に割れやすいという結果は得られなかった。Struvite と思われる成分の結石は丸く均一な結石として分類されていたが、むしろ衝撃波数は少なかった。シスチン結石がもっとも破碎しにくい結石であることは確認された。尿酸カルシウム、とくに monohydrate が破碎しやすいという結論は、以上の結果から出なかった。混合結石は破碎しやすくて純粋な尿酸カルシウム結石は割れにくいというのは、均一な結晶を形成できるからであると考えたとそれなりに理解できる結果である。

以上を要約すると、体外衝撃波単独療法で、排出できるところまで反復治療することによって結石の破碎に必要な衝撃波数を検討することができた。結石の大きさについては、X 線写真上で各結石の長径と短径の積を加算していくことでよい指標を得られた。結石の位置については、腎盂腎杯結石は細分類する必要はなかった。腎盂尿管移行部以下の結石は同じ大きさの腎盂腎杯結石の 2 倍の衝撃波を必要とした。腎下極以上と以下を区別する必要もなく、わが国の ESWL 検討委員会の分類は妥当なものであることが確認された。下部尿管結石は比較的容易に排出された。結石の形態から必要衝撃波数に差を求める試みは失敗に終わった。結石成分との関係ではシスチン結石がもっとも破碎しにくく、混合結石は破碎が容易であった。

文 献

1) Chaussy, C., Brandel, W. and Schmiedt, E.: Extracorporeally induced destruction of kidney

- stones by shock waves. *Lancet*, ii, 1265—1268, 1980.
- 2) Griffith, D.P. and Valiquette, L.: PICA/burden: A staging system for upper tract urinary stones. *J. Urol.*, 138, 253—257, 1987.
- 3) Mueller, S.C., Wilbert, D., Thrueroff, J.W. and Alken, P.: Extracorporeal shock wave lithotripsy of ureteral stones: Clinical experience and experimental findings. *J. Urol.*, 135, 831—834, 1986.
- 4) Pettersson, B. and Tiselius, H.-G.: Extracorporeal shock wave lithotripsy of proximal and distal ureteral stones. *Eur. Urol.*, 14, 184—188, 1988.
- 5) Dretler, S.: Stone fragility—A new therapeutic distinction. *J. Urol.*, 139, 1124—1127, 1988.
(1990年2月5日受理)
-