

체외충격파쇄석술 시 요석 분쇄의 예측에 있어 이중에너지 방사선 흡수법의 이용

The Use of Dual Energy X-ray Absorptiometry in the Prediction of Stone Fragility in Extracorporeal Shock Wave Lithotripsy

Hee Jong Kim, Jeong Oh Lee, Bo Hyun Han

From the Department of Urology, Maryknoll Hospital, Busan, Korea

Purpose: The aim of this study was to determine whether the stone mineral content (SMC) and stone mineral density (SMD), as measured by dual energy X-ray absorptiometry, can predict the stone fragility in extracorporeal shock wave lithotripsy (ESWL).

Materials and Methods: In the experimental study, the stone size, weight, SMC and SMD of 111 urinary calculi, obtained by open surgery, were measured. The SMC and SMD were measured using dual energy X-ray absorptiometry, which is the gold standard for measuring the bone mineral content and density. The number of shock waves necessary for full fragmentation was accepted as a measure of the stone fragility in ESWL (EDAP-sonolith Praktis). In the clinical study, the stone size, SMC and SMD were measured in a total of 48 patients with a solitary renal stone of less than 3cm. Prior to ESWL all patients underwent dual energy X-ray absorptiometry to calculate the SMC and SMD. The correlations between the number of total shock waves and the stone size, SMC and SMD were analyzed.

Results: In the experimental study, the stone size, stone weight, SMC and SMD values correlated with total shock waves, with a correlation coefficients (R) of 0.79, 0.95, 0.99 and 0.86, respectively (n=111). In the clinical study, the mean stone size, mean MC and MD values differed significantly between the clinically successful and failed ESWL (n=36 and n=12), respectively (p=0.0002, p=0.004, p=0.004). On a simple regression analysis, the SMC ($R^2=0.74$), SMD ($R^2=0.56$) and stone size ($R^2=0.51$) were significant factors in predicting the number of shock waves. Using the receiver operating characteristic curves for comparing the stone size, SMC and SMD in relation to the number of shock waves, the areas under the respective curves were 0.79, 0.84 and 0.81 with cut-off values of 1.8, 1.4 and 1.8.

Conclusions: The stone size, SMC and SMD measured by dual energy x-ray absorptiometry may provide a prediction of the outcome of patients prior to ESWL treatment. Patients with high SMC (greater than 1.4gm) could be recommended for percutaneous nephrolithotripsy or another treatment modality, thus, avoiding the unnecessary cost of prior ESWL. (Korean J Urol 2006;47:1210-1219)

Key Words: Extracorporeal shockwave lithotripsy, Bone mineral content, Bone mineral density

대한비뇨기과학회지
제 47 권 제 11 호 2006

메리놀병원 비뇨기과

김희중 · 이정오 · 한보현

접수일자 : 2006년 5월 19일
채택일자 : 2006년 9월 20일

교신저자: 이정오
메리놀병원 비뇨기과
부산광역시 중구 대청동 4가
12번지
☎ 600-094
TEL: 051-461-2569
FAX: 051-465-7475
E-mail: ljouro@yahoo.co.kr

서 론

요석은 비뇨기과 영역에서 흔한 질환 중 하나로 일생 동

안 유병률이 대략 10%로 보고되고 있는 질환율이 높은 질환이다. 특히 최근 생활수준과 식사구성의 변화, 운동량의 감소 등에 따른 생활습관의 변화에 의해서 요석의 발생이 증가되고 있으며, 이에 따라 다양한 요석 치료방법이 개발

되고 있다. 1980년 Chaussy 등^{1,2}이 최초로 체외충격파쇄석술 (extracorporeal shock wave lithotripsy; ESWL)을 이용하여 요석을 치료한 이래로 체외충격파쇄석술의 안정성과 효율성을 높이기 위해 많은 기술개발이 이루어졌으나 체외충격파쇄석술만으로 모든 요석들을 치료할 수 없다는 사실이 밝혀짐에 따라 요석 분쇄와 배출이 잘 될 수 있는 환자를 미리 알 수 있는 방법에 대해 연구가 많이 이루어지고 있다. 이들 연구를 통하여 체외충격파쇄석술의 효과를 예측할 수 있는 많은 임상적 인자들이 제시되었지만, 체외충격파쇄석술의 성공과 관련이 깊은 요석 분쇄와 요석 무기물 함유량, 요석 무기물 밀도의 상관관계에 대해서는 잘 알려져 있지 않다.

이에 저자들은 골 밀도를 측정하는 이중에너지 방사선 흡수법을 이용하여 요석 무기물 함유량, 요석 무기물 밀도를 측정하여 체외충격파쇄석술 전에 요석 분쇄효과를 미리 예측할 수 있는지 알아보고자 하였다.

대상 및 방법

1. In vitro 연구

1995년 1월부터 2004년 12월까지 본원에서 수술로 적출된 111개의 요석을 대상으로 요석 크기, 요석 무게, 요석 무기물 함유량 및 밀도를 측정하였다. 요석 크기는 X-선 카세트에 요석을 놓고 촬영하여 장경을 측정하였으며 촬영 시 관전압은 40kv, X-선 관전류량은 30MaS였다. 그리고 요석 무게는 전자저울을 이용하여 측정하였다. 요석 무기물 함유량 및 밀도는 골 밀도를 측정하는 이중에너지 방사선 흡수법 (dual energy X-ray absorptiometry, Hologic QDR 4,500기종)을 이용하였다. 본 연구에 사용된 체외충격파쇄석기는 3세대 EDAP-sonolith Praktis로 충격파의 발사빈도는 2회/초 (2Hz), 충격파강도는 100%, 관전압은 20kv, 관전류는 30mA에 일정하게 고정하여 완전분쇄에 필요한 충격파수를 측정하였다. 모든 요석은 쇄석 전에 24시간 동안 물에 수화시킨 후 0.2cm 체구멍이 고정되어 있는 플라스틱 용기에 결석이 젖을 정도로 증류수를 채우고 요석을 향하여 초점을 맞추고 실험을 했다. 완전분쇄는 분쇄된 요석편이 0.2cm 체구멍을 통과한 시점을 완전분쇄로 정의하였다.

통계분석은 요석 크기, 요석 무게, 요석 무기물 함유량 및 밀도를 독립변수로 각각 종속변수인 체외충격파쇄석술 시 완전분쇄에 필요한 총 충격파수와 연관성을 밝히고자 단순 회귀분석을 시행하여 단순회귀모델을 구하였으며, 각각의 독립변수를 대상으로 다중 회귀분석을 시행하여 다중회귀모델을 구하였다.

2. In vivo 연구

2005년 7월부터 2006년 7월까지 신결석으로 진단받고 체외충격파쇄석술을 시행 받은 48명의 환자를 대상으로 하였다. 대상 환자는 남자 28명, 여자 20명이었고, 평균 연령은 48.6 ± 0.9 세 (35-65), 평균 결석크기는 1.47 ± 0.09 cm (0.53-2.91)였다. 정상 신기능의 요로 폐색이 없고 일측 신장의 신우나 신배 내에 결석이 있는 경우만을 대상으로 하였고, 해부학적 기형이나 신배 개실 내의 결석, 환자 체위변화에도 불구하고 척추회돌기나 늑골에 중첩되는 결석 및 방사선 투과성 결석은 조사 대상에서 제외하였다. 환자는 체외충격파쇄석술 전에 단순요로촬영으로 신결석의 크기를 측정하고 이중에너지 방사선 흡수법을 이용하여 무기물 함유량 및 밀도를 양와위에서 측정하였고 3명의 환자에서는 각각 10회씩 측정하여 변동계수를 구하여 측정의 정확도가 있는지 알아보았으며 환자의 체중증가에 따른 해상도 감소를 보정하기 위하여 촬영 시간을 turbo(촬영시간 10초 이내), fast (30초), array (60초), high definition (120초)로 맞춰 검사하였다. 체외충격파쇄석술 시행 후 체외충격파쇄석술 치료 성공군과 실패군으로 나누어 서로 유의한 차이가 있는지 확인하고 유의한 변수에 대해 상관분석을 시행하였다. 체외충격파쇄석술 치료의 성공은 1회당 2,000번의 충격파를 최대 3회까지 (6,000 충격파수) 시행하여 단순요로촬영상 잔석의 크기가 0.4cm 이하이거나 없는 경우로 정의하였고 그 외의 경우는 실패로 판정하였다. 통계분석은 체외충격파쇄석술 성공군과 실패군 간에 Student's t-test를 시행하고 유의한 인자를 대상으로 상관분석을 시행하였고 또한 유의한 예측인자를 대상으로 체외충격파쇄석술 치료효과에 대한 민감도, 특이도를 조사하였으며 수신자 판단 특성 곡선 (receiver operating characteristic curve; ROC curve)을 작성하여 체외충격파쇄석술 치료효과를 예측하는데 있어 각각의 지표들의 유용성을 검토하였다. 가장 높은 효율성 (민감도x특이도/100)을 보인 값을 절단치 (cut-off value)로 하였으며, 유의한 예측인자에 대해서 회귀분석을 시행하였다. 통계분석을 위한 프로그램은 SAS (version 8.2)을 이용하였고 p값이 0.05 미만인 경우를 통계적 유의성이 있다고 판정하였다.

결 과

1. 요석 무기물 함유량 및 밀도의 재현성 (reproducibility)의 검사

이중에너지 방사선 흡수법을 이용하여 요석 무기물 함유량 및 밀도를 측정할 시 정확도를 판별하기 위해 적출 요석

Table 1. Reproducibility of SMC and SMD in vitro and in vivo

	In vitro (n=3)		
	Stone A	Stone B	Stone C
Stone size (cm)	1.12	1.55	2.60
Mean SMD (gm/cm ²) (SD)	0.47 (0.0149)	0.71 (0.020)	1.02 (0.013)
Mean SMC (gm) (SD)	0.11 (0.0042)	0.62 (0.021)	3.83 (0.058)
CV of SMD (%)	3.19	2.88	1.35
CV of SMC (%)	4.27	3.52	1.54

	In vitro (n=3)		
	Patient A	Patient B	Patient C
Stone size (cm)	0.92	1.53	2.30
Mean SMD (gm/cm ²) (SD)	0.41 (0.0168)	0.68 (0.0212)	1.62 (0.0479)
Mean SMC (gm) (SD)	0.36 (0.0193)	0.55 (0.0226)	1.45 (0.0572)
CV of SMD (%)	4.12	3.12	2.96
CV of SMC (%)	5.37	4.12	3.95

SMC: stone mineral content, SMD: stone mineral density, CV: coefficient of variance, SD: standard deviation

표본 (in vitro) 및 신결석 환자 (in vivo) (각각 n=3)에서 각각 10회씩 반복 측정하여 요석 무기물 함유량 및 밀도의 재현성을 검토하였다. 적출 요석 표본에서는 요석 무기물 함유량 및 밀도의 변동계수 (coefficient of variance; CV)의 평균은 각각 3.11% (1.54-4.27), 2.47% (1.35-3.19)로 나왔고, 신결석 환자에서는 요석 무기물 함유량 및 밀도의 변동계수의 평균은 각각 4.48% (3.95-5.37), 3.41% (2.96-4.12)로 나와 비교적 측정의 정확도가 높음을 알 수 있었다 (Table 1).

2. In vitro 연구

평균 요석 크기 및 무게는 $1.95 \pm 0.98\text{cm}$ (0.5-4.0), $2.27 \pm 2.90\text{gm}$ (0.27-12.12)이었고 평균 요석 무기물 함유량 및 밀도는 $1.35 \pm 2.10\text{gm}$ (0.01-8.96), $1.28 \pm 1.69\text{gm/cm}^2$ (0.05-7.53)였고 완전분쇄에 필요한 총 충격파수는 288-2,670번이었다. 상관분석을 시행하였을 때 각각의 요석 크기, 요석 무게, 요석 무기물 함유량 및 밀도는 총 충격파수와 양의 상관관계를 보였으며 그 중 요석 무게와 요석 무기물 함유량의 상관계수는 0.95, 0.99로 강한 양의 상관관계를 나타냈다 ($p < 0.001$) (Table 2). 각각의 독립변수에 대해 단순 회귀분석을 시행한 결과 완전분쇄에 필요한 총 충격파수는 $(445.4 \times \text{요석 크기}) - 224.1$, $(182.3 \times \text{요석 무게}) + 231.9$, $(264.2 \times \text{요석 무기물 함유량}) + 287.9$, $(284.7 \times \text{요석 무기물 밀도}) + 281.7$ 와 같은 회귀방정식으로 예측할 수 있었으며 결정계수는 각각 0.62, 0.90, 0.99, 0.75이었다 ($p < 0.001$) (Table 3) (Fig. 1). 이상의 결

Table 2. Correlation coefficients of the number of shock waves for the various parameters in vitro

Parameters	Number of shock waves	p-value
Stone size (cm)	0.79	<0.001
Stone weight (gm)	0.95	<0.001
SMC (gm)	0.99	<0.001
SMD (gm/cm ²)	0.86	<0.001

SMC: stone mineral content, SMD: stone mineral density

과에서 독립변수로 종속변수를 어느 정도 정확히 예측이 가능하며 요석 크기는 62%, 요석 무게는 90%, 요석 무기물 함유량은 99%, 요석 무기물 밀도는 75% 정도까지 총 충격파수를 유의하게 예측할 수 있었다. 단순 회귀분석과 마찬가지로 독립변수인 요석 크기, 요석 무게, 요석 무기물 함유량, 요석 무기물 밀도에 대해 다중 회귀분석을 시행한 결과, 독립변수인 요석 크기, 요석 무게, 요석 무기물 밀도는 종속변수인 총 충격파수와 유의한 상관관계를 보였으며 (adjusted $R^2 = 0.91$, $p < 0.001$) 요석 완전분쇄에 필요한 총 충격파수는 $(\text{요석 무게} \times 152.4) + (\text{요석 무기물 밀도} \times 71.0) + (\text{요석 크기} \times 18.7) + 245.6$ 와 같은 회귀방정식으로 알 수 있었다 (Table 4).

Table 3. Result of a simple regression analysis in vitro

Variables	β	95% CI	R^2	p-value
Stone size (cm)	445.4	380.6-510.2	0.62	<0.001
Stone weight (gm)	182.3	171.3-193.3	0.90	<0.001
SMC (gm)	264.2	262.8-265.6	0.99	<0.001
SMD (gm/cm ²)	284.7	253.7-315.8	0.75	<0.001

SMC: stone mineral content, SMD: stone mineral density, β : regression coefficient, CI: confidence interval, R^2 : coefficient of determination

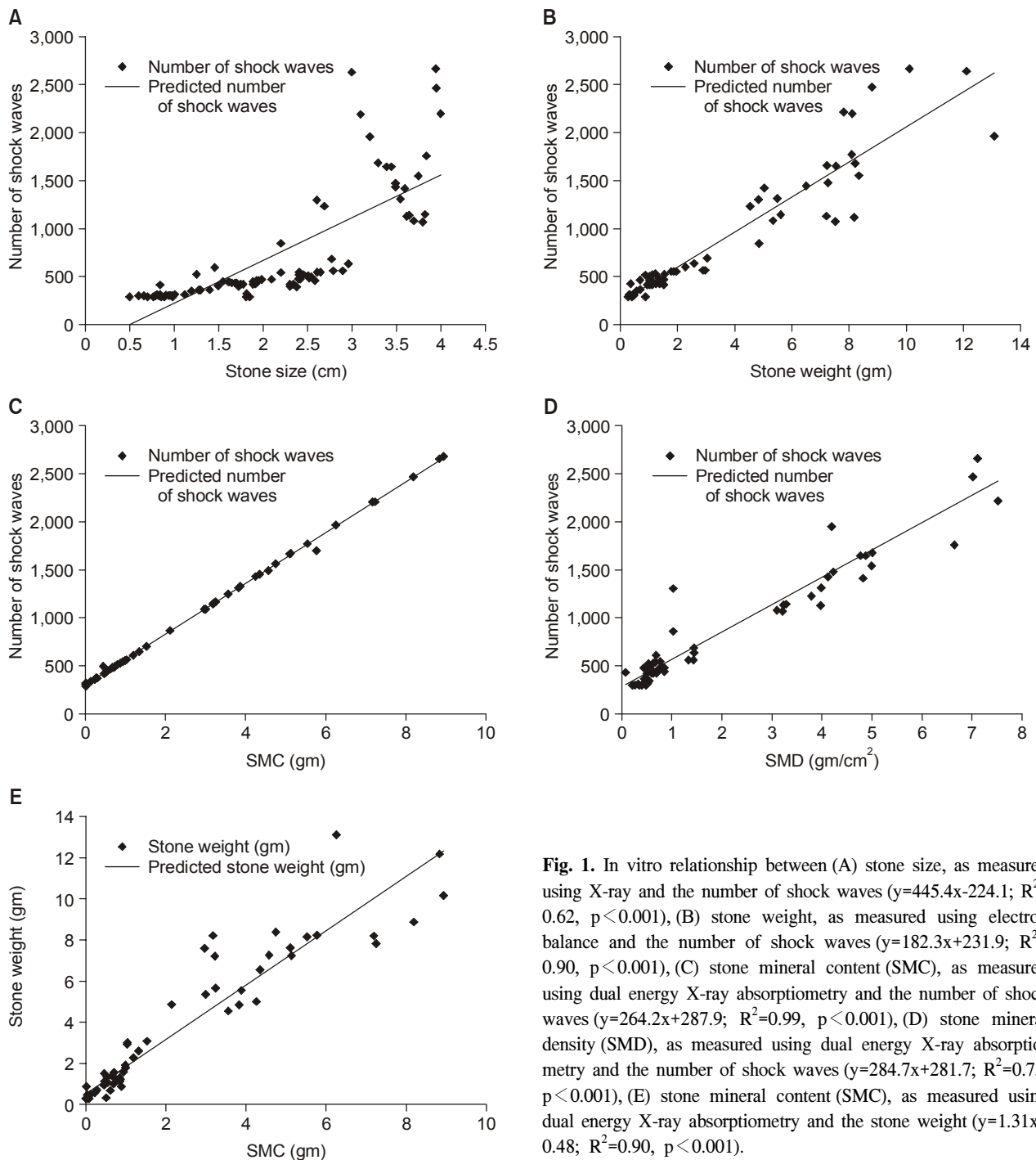


Fig. 1. In vitro relationship between (A) stone size, as measured using X-ray and the number of shock waves ($y=445.4x-224.1$; $R^2=0.62$, $p<0.001$), (B) stone weight, as measured using electron balance and the number of shock waves ($y=182.3x+231.9$; $R^2=0.90$, $p<0.001$), (C) stone mineral content (SMC), as measured using dual energy X-ray absorptiometry and the number of shock waves ($y=264.2x+287.9$; $R^2=0.99$, $p<0.001$), (D) stone mineral density (SMD), as measured using dual energy X-ray absorptiometry and the number of shock waves ($y=284.7x+281.7$; $R^2=0.75$, $p<0.001$), (E) stone mineral content (SMC), as measured using dual energy X-ray absorptiometry and the stone weight ($y=1.31x+0.48$; $R^2=0.90$, $p<0.001$).

3. In vivo 연구

48명의 임상 신결석 환자의 평균 결석 크기, 무기물 함유량 및 밀도를 측정하였으며, 각각 $1.47 \pm 0.09\text{cm}$ (0.53-2.91), $0.75 \pm 0.12\text{gm}$ (0.11-3.91), $0.99 \pm 0.16\text{gm/cm}^2$ (0.18-4.71)였고 평균 체외충격파수는 $4,545.41 \pm 279.59$ 번 (2,000-8,000)이었다. 적출 요석과 임상 신결석 간에는 요석 크기, 요석 무기물 함유량 및 밀도에 통계학적으로 유의한 차이가 없었다 ($p > 0.005$). 임상 신결석 환자 48명을 체외충격파쇄석술을 시행하여 치료 성공군과 실패군으로 분류하였다. 치료 성공군의 환자수는 36명, 평균 연령 및 결석 크기는 48.8 ± 6.9 세 (35-65), $1.26 \pm 0.54\text{cm}$ (0.53-2.70)였고 평균 결석 무기물 함유량 및 밀도는 $0.42 \pm 0.32\text{gm}$ (0.11-1.45), $0.56 \pm 0.46\text{gm/cm}^2$ (0.18-2.12)였으며, 평균 체외충격파수는 $3,049.4 \pm 905.9$ 번 (2,000-5,500)이었다. 그러나 치료 실패군의 환자수는 12명, 평균 연령 및 결석 크기는 48.0 ± 6.4 세 (39-56), $2.11 \pm 0.57\text{cm}$ (1.25-2.91)였고, 평균 결석 무기물 함유량 및 밀도는 $1.75 \pm 0.36\text{gm}$ (0.40-3.91), $2.21 \pm 0.46\text{gm/cm}^2$ (0.58-4.71)였으며, 평균 체외충격파수는 $7,033.3 \pm 659.6$ 번 (6,100-8,000)이었고 각 군 사이에는 연령을 제외하고 통계학적으로 유의한 차이가 있었다 (Table 5). 치료 성공군 36명에 대해서 통계학적으로 유의한 결석 크기, 결석 무기물 함유량 및 밀도와 총 충격파수

와의 상관관계를 상관분석을 시행한 결과, 결석 무기물 함유량과 총 충격파수와의 상관계수가 0.86으로 가장 높았고, 결석 무기물 밀도 및 크기와의 상관계수는 0.75, 0.71이었다 (Table 6). 또한, 총 충격파수에 대한 결석 크기, 결석 무기물 함유량 및 밀도 수치에 따른 각각의 민감도와 특이도를 조사하였으며 (Table 7) 이를 바탕으로 수신자 판단 특성 곡선 (ROC curve)를 작성하였다 (Fig. 2). 총 충격파수에 대한 결석 크기, 결석 무기물 함유량 및 밀도의 ROC curve 이하면 적의 크기는 각각 0.79, 0.84 및 0.81이었고 각각의 절단치를 1.8, 1.4, 1.8로 한 경우 가장 높은 효율성을 보였다. 그리고 단순 회귀분석을 시행한 결과 완전분쇄에 필요한 총 충격파수는 $(1,195.1 \times \text{결석 크기}) + 1,540.5$, $(2,416.1 \times \text{결석 무기물 함유량}) + 2,033.9$, $(1,461.1 \times \text{결석 무기물 밀도}) + 2,218.6$ 와 같은 회귀 방정식으로 예측할 수 있었으며 결정계수 (R^2)은 각각 0.51, 0.74, 0.56이었으며 (Table 8) (Fig. 3), 이들 인자를 대상으로 다중 회귀분석 시행결과, 요석 크기는 독립인자로 유의하지 않았으며 완전분쇄에 필요한 총 충격파수는 $(3,511.4 \times \text{요석 무기물 함유량}) + (-806.8 \times \text{요석 무기물 밀도}) + 2,032.4$ 와 같은 회귀방정식으로 예측할 수 있었다 (adjusted $R^2 = 0.74$) (Table 9). 이상의 상관분석, 회귀분석 및 ROC curve 분석 결과, 총 충격파수를 예측할 수 있는 가장 유의한 인자는 결석 무기물 함유량이었다.

Table 4. Result of a multiple regression analysis in vitro

Variables	β	95% CI	p-value
Stone size (cm)	18.7	4.9-37.3	0.005
Stone weight (gm)	152.4	130.2-174.6	0.0001
SMC (gm)	265.8	260.8-270.8	0.60
SMD (gm/cm ²)	71.0	35.6-106.4	0.00012

SMD: stone mineral density, β : regression coefficient, CI: confidence interval

Table 6. Correlation coefficients of the number of shock waves for the various parameters in vivo

Parameters	Number of shock waves	p-value
Stone size (cm)	0.71	< 0.0005
SMC (gm)	0.86	< 0.0005
SMD (gm/cm ²)	0.75	< 0.0005

SMC: stone mineral content, SMD: stone mineral density

Table 5. Descriptive statistics on patients with successful and failed ESWL

Values	Success (n=36)	Failure (n=12)	p-value*
Mean age \pm SD	48.8 ± 6.9 (35-65)	48.0 ± 6.4 (39-56)	0.70
Mean stone size \pm SD (cm)	1.26 ± 0.54 (0.53-2.70)	2.11 ± 0.57 (1.25-2.91)	0.0002
Mean SMC \pm SD (gm)	0.42 ± 0.32 (0.11-1.45)	1.75 ± 0.36 (0.40-3.91)	0.004
Mean SMD \pm SD (gm/cm ²)	0.56 ± 0.46 (0.18-2.12)	2.21 ± 0.46 (0.58-4.71)	0.004
Mean SWs \pm SD	$3,049.4 \pm 905.9$ (2,000-5,500)	$7,033.3 \pm 659.6$ (6,100-8,000)	0.0005

ESWL: extracorporeal shock wave lithotripsy, SMC: stone mineral content, SMD: stone mineral density, SWs: shock waves, SD: standard deviation, *: Student's t-test

Table 7. Sensitivity and specificity calculated for the stone size, SMC and SMD values according to number of shock waves

	TP for success	FP for failure	Sensitivity	%	Specificity	%	
Stone size less than	1.0	15	0	15/36	41.6	12/12	100
	1.2	19	1	19/36	52.7	11/12	91.6
	1.4	22	3	22/36	61.1	9/12	75.0
	1.6	25	4	25/36	69.4	8/12	66.6
	1.8	29	5	29/36	80.5	7/12	58.3
	2.0	31	7	31/36	86.1	5/12	41.6
	2.2	33	8	33/36	91.6	4/12	33.3
	2.4	33	8	33/36	91.6	4/12	33.3
	2.6	35	10	35/36	97.2	2/12	16.6
	2.8	36	10	36/36	100	2/12	16.6
SMC less than	3.0	36	12	36/36	100	0/12	0
	0.2	7	0	7/36	19.4	12/12	100
	0.4	14	0	14/36	38.8	12/12	100
	0.6	25	3	25/36	70.1	9/12	75
	0.8	28	4	28/36	78.1	8/12	66.6
	1.0	31	5	31/36	86.1	7/12	58.3
	1.2	32	5	32/36	90.4	7/12	58.3
	1.4	34	5	34/36	94.4	7/12	58.3
	1.6	35	6	35/36	97.2	6/12	50
	1.8	36	7	36/36	100	5/12	41.6
SMD less than	2.8	36	7	36/36	100	5/12	41.6
	3.0	36	10	36/36	100	2/12	16.6
	3.4	36	11	36/36	100	1/12	8.3
	3.8	36	11	36/36	100	1/12	8.3
	4.0	12	12	36/36	100	0/12	0
	0.2	2	0	2/36	5.5	12/12	100
	0.4	14	0	14/36	38.8	12/12	100
	0.6	23	3	23/36	65.1	9/12	75
	0.8	28	5	24/36	80.3	7/12	58.3
	1.0	29	5	25/36	82.1	7/12	58.3
	1.2	30	6	27/36	84.1	6/12	50
	1.4	31	6	29/36	85.3	6/12	50
	1.6	32	6	32/36	88.8	6/12	50
	1.8	34	6	34/36	94.4	6/12	50
	2.0	35	7	35/36	97.2	5/12	41.6
	2.4	35	7	35/36	97.2	5/12	41.6
	3.4	36	7	36/36	100	5/12	41.6
	3.6	36	8	36/36	100	4/12	33.3
	3.8	36	9	36/36	100	3/12	25
	4.0	36	11	36/36	100	1/12	8.3
	4.2	36	12	36/36	100	0/12	0

TP: true positive, FP: false positive, SMC: stone mineral content, SMD: stone mineral density

고 찰

요석은 비뇨기과 입원환자의 약 30% 이상을 차지하는 흔한 질환 중 하나로 환자의 40-45%에서 5년이 지나면 재발한다고 알려져 있다.³ 요석의 치료는 과거에는 외과적 절석

술을 주로 시행하였지만, 1976년 Fernstrom과 Johansson⁴에 의한 경피적 신쇄석술 (percutaneous nephrolithotripsy), 그리고 1980년 Perez-Castro Ellendt와 Martinez-Pineiro⁵에 의해 요관경하배석술 (ureteroscopic lithotripsy)이 시행되면서 새로운 치료방법이 시도되기 시작하였다. 체외충격파쇄석술은 1980년 Chaussy 등^{1,2}이 최초로 요석치료에 이용한 이후 안

정성과 효율성을 높이기 위한 기술개발에 힘입어 높은 성공률과 낮은 합병증, 비침습성, 입원기간의 단축 및 마취 필요성의 감소 등 여러 가지 장점 때문에 거의 모든 요석의

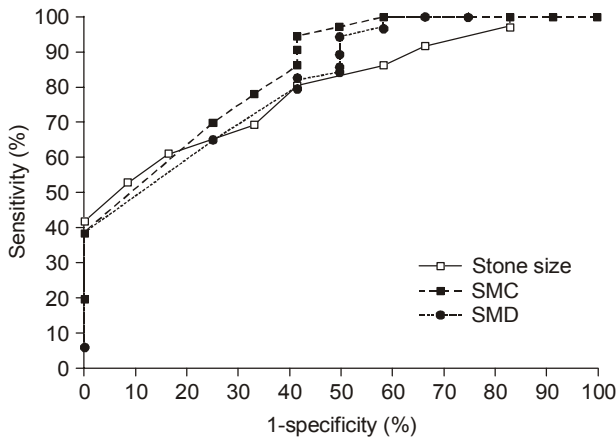


Fig. 2. Receiver operating characteristic curves comparing the stone size, SMC and SMD with the number of shock waves. SMC: stone mineral content, SMD: stone mineral density.

일차치료로 이용되고 있다. 그러나 높은 치료 성공률과 안정성에도 불구하고 강한 충격파에 의한 합병증이 발생할 수 있는데 Tiselius⁶는 체외충격파쇄석술 시행 이후에 발생할 수 있는 합병증으로 육안적 혈뇨, 혈중, 측복부 동통, 발열, 주위 장기 손상, 석로 현상, 고혈압, 패혈증, 부정맥의 악화 등의 심혈관계 합병증 등을 일으킬 수 있다고 보고하였다. 이와 같은 합병증은 충격파의 강도와 충격파수가 증가할수록 발생빈도가 높게 나타나는 것으로 알려져 있다. 그리고 체외충격파쇄석술 실패도 종종 큰 문제가 되고 있으며 몇몇 환자들은 결국 내비뇨기과적 시술이나 관혈적 치료를 필요로 하게 된다.

따라서 체외충격파쇄석술의 성공률에 영향을 미치는 인자에 대한 많은 연구가 시행되었다. 체외충격파쇄석술 성공률에 영향을 미치는 인자로는 요석의 크기, 위치, 성분, 요관 점막에 매몰된 상태, 모양, 동반된 수신증의 정도, 요로감염 여부, 요관 카테터 삽입 여부, 요석의 방사선 비투과도 등이 있고 이중 요석의 크기가 가장 큰 영향을 미치며 요석의 위치 및 요관 카테터삽입술은 영향이 없다고 보고

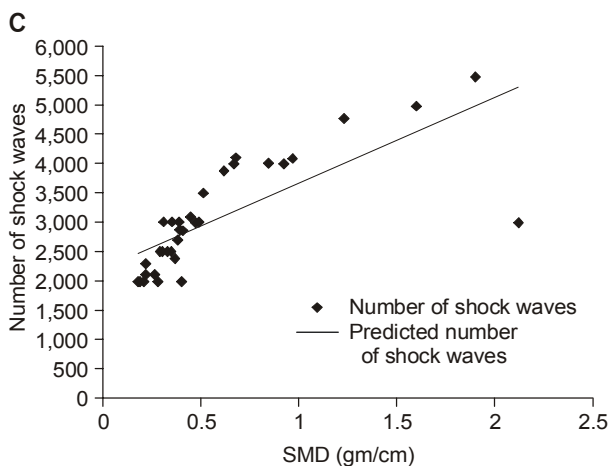
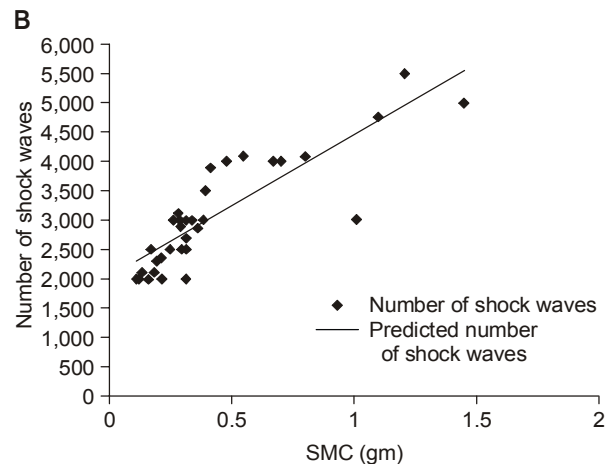
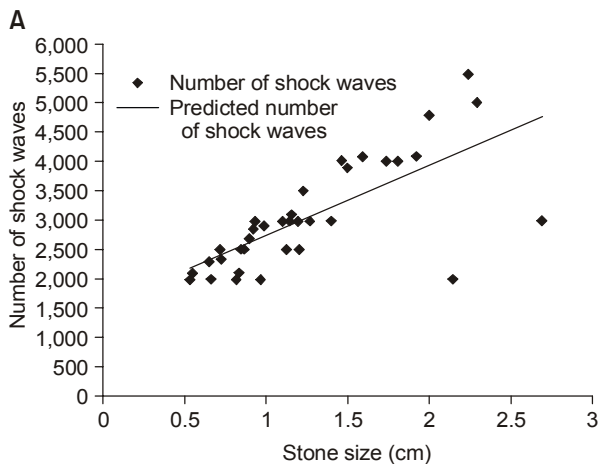


Fig. 3. In vivo relationship between (A) stone size, as measured using X-ray and the number of shock waves ($y=1195.1x+1540.5$; $R^2=0.51$, $p<0.0005$), (B) stone mineral content (SMC), as measured using dual energy X-ray absorptiometry and the number of shock waves ($y=2,416.1x+2,033.9$; $R^2=0.74$, $p<0.0005$), (C) stone mineral density (SMD), as measured using dual energy X-ray absorptiometry and the number of shock waves ($y=1,461.1x+2,218.6$; $R^2=0.56$, $p<0.0005$).

Table 8. Result of a simple regression analysis in vivo

Variables	β	95% CI	R ²	p-value
Stone size (cm)	1,195.1	790.2-1,600.1	0.51	<0.0005
SMC (gm)	2,416.1	1,914.2-2,918.1	0.74	<0.0005
SMD (gm/cm ²)	1,461.1	1,016.1-1,906.1	0.56	<0.0005

SMC: stone mineral content, SMD: stone mineral density, β : regression coefficient, CI: confidence interval, R²: coefficient of determination

Table 9. Result of a multiple regression analysis in vivo

Variables	β	95% CI	p-value
Stone size (cm)	16.8	-613.3-647.0	0.95
SMC (gm)	3,511.4	2,118.9-4,903.8	0.04
SMD (gm/cm ²)	-806.8	-1,767.2-153.6	0.04

SMC: stone mineral content, SMD: stone mineral density, β : regression coefficient, CI: confidence interval

된 바 있다.⁷⁻¹³ 또한 Kim 등¹⁴은 체외충격파쇄석술의 성공률은 시술자에 따라 다르고 가장 긴 투시검사시간과 높은 충격과강도로 시행했던 시술자에서 가장 좋은 결과를 보였다고 하였으며, Sampaio와 Aragao¹⁵는 신장 하부 신배의 해부학적 구조가 요석의 배출에 영향을 미치며 신배 길이가 길고 신배 폭이 좁으며 신두두신우각이 예각인 경우 둔각인 경우 (66%)와 비교해서 성공률이 30-40%로 낮았다고 보고하였다. 체외충격파쇄석술 시 요석 완전분쇄에 필요한 총 충격파수를 미리 예측할 수 있다면 시술 전에 가장 효과적인 치료방법을 선택할 수 있으며 불필요한 시술이 행해지는 것을 막을 수 있고 체외충격파쇄석술에 의한 합병증을 감소시킬 수 있기 때문에 체외충격파쇄석술로 치료가 잘 될 수 있는 환자들을 선택하기 위해 치료 전 영상에 대한 많은 연구가 이루어졌는데 Chaussy와 Fuchs¹⁶는 단순촬영에서 요석의 방사선밀도가 척추보다 높을 시 요석 분쇄가능성이 떨어진다고 하였으며, Mattelaer 등¹⁷은 단순촬영상 요석의 크기가 같은 경우 방사선밀도가 높은 요석이 낮은 요석보다 요석 분쇄를 위해 더 많은 충격파가 필요하다고 보고하였다. 그러나 단순촬영으로 요석의 방사선밀도를 측정하는 것은 주관적이며 비정량적이기 때문에 객관적 지표가 되지 못하는 못하였다. Saw 등¹⁸은 나선형 컴퓨터 단층촬영을 이용하여 요석 Hounsfield units (HU)를 측정하고 요석을 인공뇨가 채워진 용기에 넣어 체외충격파쇄석술을 시행하였는데 요석의 HU가 높을수록 요석 분쇄를 위해 많은 횟수의 충격파가 필요하다고 보고하였다. 그러나 컴퓨터 단층촬영이 3mm 간격으로 시행될 때 충격파 요구량은 HU와 연관성

이 있었으나 1mm 간격으로 시행될 때에는 연관성을 보이지 않았는데 이것은 용적평균효과 (volume averaging effect)로 인해 단층촬영 단면의 간격이 좁을수록 HU가 더 높게 나타나기 때문이라고 보고하였다. Sakamoto 등¹⁹은 골 밀도를 측정하는 양광자 감마선 흡수법 (dual photon absorptiometry)을 이용하여 측정한 요석 무기물 함유량으로 요석 분쇄를 예측할 수 있다고 하였으며 Zanchetta 등²⁰은 양광자 감마선 흡수법을 이용한 임상실험 결과 요석 무기물 함유량과 분쇄에 필요한 충격파수는 강한 양의 상관관계를 보인다고 보고하였다 ($r=0.81$, $p<0.001$). 그러나 Banks²¹는 양광자 감마선 흡수법은 방사선 동위원소 ¹⁵³Gd의 사용과 긴 반감기 (240 days), 긴 촬영시간 (30-90 min), 해상도가 낮은 단점이 있다고 보고하였다. Demirbas 등²²은 216개의 수술로 적출된 요석을 대상으로 요석 크기, 요석 무게, 화학적 구조, 방사선적 모양을 분석하였으며 양광자 감마선 흡수법을 이용하여 요석 무기물 함유량 및 요석 무기물 밀도를 측정하고 요석 완전분쇄에 필요한 총 충격파수를 측정하여 연관성을 밝힌 결과 요석 무게가 가장 유의한 예측인자로서 완전분쇄에 필요한 총 충격파수를 72%까지 예측 가능하였으며 요석 크기, 요석 무기물 밀도를 고려한다면 85%까지 예측이 가능하다고 보고하였다. Mandhani 등²³은 컴퓨터 단층촬영에 비해 경제적이고, 비침습적인 이유로 요석 무기물 함유량 측정 시 이중에너지 방사선 흡수법을 사용했으며 3cm 이하 크기의 신결석 환자 94명을 대상으로 결석 크기, 결석 위치를 파악하고 이중에너지 방사선 흡수법을 이용하여 결석 무기물 함유량, 결석 무기물 밀도를 측정하여 결석 분쇄에 필요한 총 충격파수를 분석한 결과, 결석 크기, 결석 위치 및 무기물 밀도는 통계학적으로 유의성이 없었으며 결석 무기물 함유량만이 요석 분쇄의 유의한 예측인자이고 결석 무기물 함유량이 1.27gm/cm² 이상 시 요석의 95%는 파쇄되지 않으며 3,000회 이상의 충격파수가 필요하다고 주장하였다. 골 밀도를 정확히 측정하기 위한 방법으로는 여러 종류의 검사법이 있으나 1987년 도입된 이중에너지 방사선 흡수법이 검사시간이 짧고 정밀도가 높으며 양광자 감마선 흡수법과는 달리 동위원소를 교체할 필

요가 없는 장점이 있어 현재 가장 널리 이용되고 있다.^{24,25} 그리고 컴퓨터 단층촬영은 촬영단면의 간격, 촬영 시 에너지 등에 의해 영향을 받고 용적평균효과로 인해 촬영단면의 간격이 좁을수록 HU가 높게 측정되는 문제점이 있다. 이에 저자들은 적출 요석을 실험하여 골 밀도를 측정하는 이중에너지 방사선 흡수법을 이용하여 요석 무기물 함유량 및 밀도를 측정하였으며 요석 크기, 요석 무게, 요석 무기물 함유량 및 밀도가 증가하면서 요석 분쇄에 필요한 총 충격파수도 증가함을 알 수 있었다. 요석 크기는 62%, 요석 무게는 90%, 요석 무기물 함유량은 99%, 요석 무기물 밀도는 75% 정도까지 총 충격파수를 유의하게 예측할 수 있었으며 가장 유의한 예측인자는 요석 무기물 함유량이었다. 이상의 결과를 바탕으로 임상 신결석 환자를 대상으로 연구한 결과 실제 임상 신결석 환자 48명 중 36명 (75%)은 체외충격파쇄석술 치료로 성공적이었지만, 12명 (25%)은 비성공적이었으며, 실험적 결과와는 차이가 많이 나지만 결석 크기는 51%, 결석 무기물 함유량은 74% 및 결석 무기물 밀도는 56% 정도까지 총 충격파수를 유의하게 예측할 수 있었고 ROC curve 이하면적을 비교한 결과 결석 무기물 함유량이 가장 유의한 변수로 나타났으며, 각각의 절단치를 결석 크기 (1.8cm), 결석 무기물 함유량 (1.4gm) 및 결석 무기물 밀도 (1.8gm/cm²)를 기준으로 한다면 체외충격파쇄석술을 통해 결석을 효율적으로 치료할 수 있을 뿐 아니라 신결석 치료 효과 예측의 객관적 지표로 유용하리라 생각한다.

결 론

본 연구에서 이중에너지 방사선 흡수법을 이용하여 측정 한 요석 무기물 함유량, 요석 무기물 밀도 는 요석의 완전분쇄에 필요한 총 충격파수를 예측할 수 있는 유의한 인자였으며 이들 인자를 이용하여 요석의 완전분쇄에 필요한 총 충격파수를 쉽게 알 수 있었다. 그 중에서 요석 무기물 함유량이 가장 유의한 인자였으며 요석 무기물 함유량이 1.4gm 이상일 경우는 환자의 의료비용을 고려하여 체외충격파쇄석술 이외의 다른 치료방법이 1차적 치료로 고려되어야 한다고 생각한다. 따라서 요석 치료 전에 기존의 체외충격파쇄석술의 성공률에 영향을 미친다고 알려진 인자에 이중 에너지 방사선 흡수법으로 측정한 요석 무기물 함유량 및 밀도를 같이 고려한다면 체외충격파쇄석술의 성공 예측뿐만 아니라 합병증의 예방이나 치료방법의 선택에 있어서 더 많은 도움을 받을 수 있을 것으로 생각한다.

REFERENCES

1. Chaussy C, Brendel W, Schmiedt E. Extracorporeally induced destruction of kidney stones by shock waves. *Lancet* 1980; 2:1265-8
2. Chaussy C, Schmiedt E. Shock wave treatment for stones in the upper urinary tract. *Urol Clin North Am* 1983;10:743-50
3. Leusmann DB, Niggemann H, Roth S, von Ahlen H. Recurrence rates and severity of urinary calculi. *Scand J Urol Nephrol* 1995;29:279-83
4. Fernstrom I, Johansson B. Percutaneous pyelolithotomy. A new extraction technique. *Scand J Urol Nephrol* 1976;10:257-9
5. Perez-Castro Ellendt E, Martinez-Pineiro JA. Transurethral ureteroscopy. A current urological procedure. *Arch Esp Urol* 1980;33:445-60
6. Tiselius HG. Anesthesia-free in situ extracorporeal shock wave lithotripsy of ureteral stones. *J Urol* 1991;146:8-12
7. Politis G, Griffith DP. ESWL: stone-free efficacy based upon stone size and location. *World J Urol* 1987;5:255-8
8. Dretler SP. Management of ureteral calculi. *AUA Update Series* 1988;7:41-7
9. Lingeman JE, Newman D, Mertz JH, Mosbaugh PG, Steele RE, Kahnoski RJ, et al. Extracorporeal shock wave lithotripsy: the methodist hospital of Indiana experience. *J Urol* 1986; 135:1134-7
10. Dretler SP. Stone fragility-a new therapeutic distinction. *J Urol* 1988;139:1124-7
11. Nakada SY, Pearle MS, Sable JJ, Gardner SM, McClennon BL, Clayman RV. Extracorporeal shock wave lithotripsy of middle ureteral stones: are ureteral stents necessary? *Urology* 1995;46:649-52
12. Lee GH, Kim HJ. Treatment of ureteral stone using Modulith SL-20: analysis of the factors influencing on stone fragmentation. *Korean J Urol* 1996;37:888-93
13. Yong SC, Park DS, Lee JM. Major factors influencing on the success of extracorporeal shock wave lithotripsy. *Korean J Urol* 1994;35:265-71
14. Kim BH, Chung YC, Chung HS, Park CH. Success rate of extracorporeal shock wave lithotripsy according to operator. *Korean J Urol* 2005;46:270-4
15. Sampaio FJ, Aragao AH. Inferior pole collecting system anatomy: its probable role in extracorporeal shock wave lithotripsy. *J Urol* 1992;147:322-4
16. Chaussy CG, Fuchs GJ. Extracorporeal shock wave lithotripsy. *Monogr Urol* 1987;4:80-3
17. Mattelaer P, Schroder T, Fischer N, Jakes G. In situ extracorporeal shock wave lithotripsy of distal ureteral stones: parameters for therapeutic success. *Urol Int* 1994;53:87-91
18. Saw KC, McAteer JA, Fineberg NS, Monga AG, Chua GT, Lingeman JE, et al. Calcium stone fragility is predicted by helical CT attenuation values. *J Endourol* 2000;14:471-4

19. Sakamoto W, Kishimoto T, Takegaki Y, Sugimoto T, Wada S, Yamamoto K, et al. Stone fragility - measurement of stone mineral content by dual photon absorptiometry. *Eur Urol* 1991;20:150-3
 20. Zanchetta JR, Bogado CE, Sanchez TV, Gigler C, Ghirlanda J. In vivo measurement of the mineral content of renal calculi by dual-photon absorptiometry. Correlation with its fragility to extracorporeal shock wave lithotripsy. *Medicina (B Aires)* 1995;55:307-10
 21. Banks LM. Dual energy X-ray absorptiometry (DXA). In: Grainger RG, Allison DJ, editors. *A textbook of medical imaging*. 3rd ed. London: Churchill livingstone; 1997;125-36
 22. Demirbas M, Ergen A, Ozakardes H. Stone fragility in shock wave lithotripsy can be predicted in vitro. *Int Urol Nephrol* 1998;30:553-7
 23. Mandhani A, Raghavendran M, Srivastava A, Kapoor R, Singh U, Kumar A, et al. Prediction of fragility of urinary calculi by dual X-ray absorptiometry. *J Urol* 2003;170:1097-100
 24. Jergas M, Genant HK. Current methods and recent advances in the diagnosis of osteoporosis. *Arthritis Rheum* 1993;36:1649-62
 25. Johnston CC Jr, Slemenda CW, Melton LJ. Clinical use of bone densitometry. *N Engl J Med* 1991;324:1105-9
-