

體外衝擊波 結石 破碎療法

高麗大學校 保健專門大學 放射線科

許 俊

Extracorporeal Shock Wave Lithotripsy

Joon Huh

Dept. of Radiotechnology, Junior College of Allied Health Sciences, Korea University

I. 緒 論

체의 충격파 쇄석술(extracorporeal shockwave lithotripsy, ESWL)은 超音速으로 날으는 비행기의 유리 앞면에 물방울이 충돌되면 유리가 깨지는 원인을 연구한 독일의 Dornier사에서 충격파를 체외에서 발사하여 결석을 부수어뜨린다는 발상에 따라 1974년부터 연구가 시작되어 동물실험을 거쳐서 임상응용이 시작되었다^{1,2,3)}. 즉, 충격파의 물리적 특성을 응용한 悲觀血的 治療법으로 ESWL은 체외에서 발생한 충격파를 체내의 결석에 전파 집중시키고 파쇄시킨 다음에 부서진 결석을 자연적으로 배출시키는 치료법이다^{4,5,6)}.

이 치료법은 독일의 Ludwing Maximilians 대학 비뇨기과의 Chaussy Schmiedt 등에 의해서 고안되었으며, 기계회사와 공동으로 1983년 9월에 신장·요관 결석의 파쇄장치를 개발하여 상품화 되었다.

임상적인 적용으로서는 신장·요관 결석에 대해서 가장 안전한 치료수단으로 선택되고 있으며, 그 밖에 담낭결석, 췌장결석 등에 응용되고 있어 우리나라에서도 그 장비의 설치가 증가되어 이미 30대가량이 도입되고 있다.

ESWL은 결석검출을 위한 검사나 치료 후의 경과 관찰 등에 초음파나 X선 등의 화상법을 사용하고 있

으며, 또한 ESWL 장치의 조작은 X선장치와 유사한 점이 많아서 放射線士는 의사와 함께 팀의료의 한 사람으로 참여하게 된다^{4,5)}.

이와 같은 관점에서 ESWL의 개요에 대해서 검토한다.

II. 衝擊波의 破碎原理²⁾

1. 충격파의 발생

음은 일정한 진폭이 있는 압력의 波로 되어 있으나 우리가 듣고 있는 소리의 진폭은 극히 작다. 그러나 音壓이 크게되면 음파로서의 성질에서 벗어나고압부는 다른 부분에 비해서 대단히 빨리 전달하는 성질, 즉 非線形性을 나타내고, 시간과 함께 초기의 약한 압력진폭은 급격히 증강되는 파형으로 된다. 이 移行過程과 공기, 물과 같은 매체의 압축성, 粘性 등의 경합과 조합의 결과로서 급격히 증대된 일정한 파형, 즉 충격파를 형성하게 된다.

물속에서 아지드화 납(lead azide) 4mg을 폭발시키면 완전한 구형의 충격파가 그림 1과 같이 된다. 이 수중충격파의 속도는 수중의 음속에 대한 비 mach수로 1.005이고, 이 때 충격파 배후의 압력은 수십 기압이 된다. 즉 수중충격파의 전파속도는 음

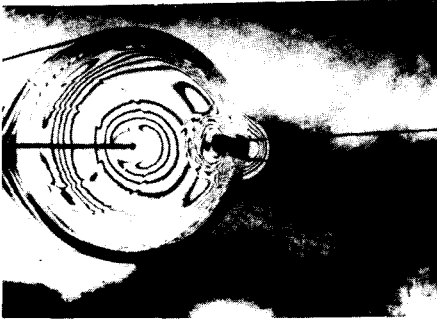


그림 1. 수중충격파의 관찰
 A: 기폭점 B: 결석 C: 충격파면
 D: 결석에 반사된 파
 E: 결석을 통과한다.

속에 가까와서 거의 음속으로 취급할 수 있다. 이것은 물의 압축성이 공기에 비해서 현저하게 작아지는 것에 기인하는 것으로, 같은 압력을 공기 중에서 얻게하면 그 충격파의 mach수는 6.5로 되고 온도는 2,300°C로 된다.

수중충격파를 발생시키는 방법은 Dornier사를 위시하여 여러 회사에서 고전압의 수중방전, 미소한 폭약을 쓰는 방식, 그 밖에 piezoelectricity(압전효과), laser 또는 전자장을 이용한 금속판의 진동이 쓰여지고 있다.

2. 결석의 파쇄원리

음향임피던스가 거의 똑같은 경우에 2개의 매체는 음향학적으로 동일하다고 볼 수 있어 충격파는 반사되지 않고 통과된다. 생체 각 장기의 임피던스는 뼈, 치아 및 폐와 같은 공기를 함유하는 장기를 제외하면 물에 가깝다(표 1 참조). 즉 충격파는 생체

표 1. 생체 장기와 결석의 음향임피던스(물에 대한 비)

혈액	1.06~1.10
지방	0.9
신장	1.08
간장	1.1
근육	1.07
뼈	2.3 ~4.4
비뇨기 결석	2.4 ~3.7
담석	0.8 ~1.6

를 물과 같이 전파하므로 파쇄작용은 거의 볼 수 없다. 한편, 결석의 음향임피던스는 물과는 전혀 틀리다. 충격파는 음향임피던스가 틀리는 경계면에서는 반사하여 팽창파가 되고, 이것이 잡아당기는 힘이 되어 파쇄작용이 일어난다.

뼈의 음향임피던스는 결석보다는 작으나 물과는 틀리다. 그러나 실제의 동물실험에서는 별로 변화는 일어나지 않는다. 그 이유로서 생체 내의 뼈는 내부에 혈액이 있는 것과 뼈의 복잡한 matrix 구조 때문이라 생각된다.

충격파가 통과하는 과정에서 뼈나 가스 등에 그 에너지가 흡수되면 위험성이 있다. 따라서 결석의 위치확인파와 충격파의 통과 과정의 확인, 뼈나 가스 등의 회피방법의 검색은 필수조건이다⁵⁾.

결석탐사와 결석의 위치를 결정하는 데에는 X선과 초음파 화상법에 의한 방법이 있으나, 신장·요관결석에는 X선촬영이 적당하며 담도결석에는 초음파방식이 우수하고 결석파쇄 중의 상황은 초음파방식으로 가능하다.

III. 結石破碎裝置의 發達과 그 構成 및 性能

1. 장치의 발달⁶⁾

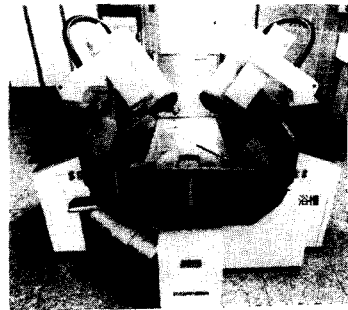


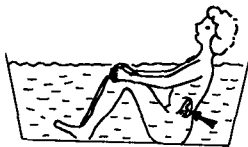
그림 2. 제 1세대 결석 파쇄장치 Dornier-HM3

제1세대 결석파쇄장치로서 처음으로 요로결석에 대해서 임상응용이 된 것은 Dornier HM3이다. 환자를 浴槽 내에 매달고 욕조의 밑에 설치한 1개의 전극을 고압으로 스파크 시킴으로써 생긴 충격파를 체내의 결석에 조사하여 결석을 파쇄시키는 방법이다. 파쇄된 결석은 체외로 배출이 된다. 더욱 충격파를 결석에 명중시키기 위해서는 환자의 左右斜方向으

로 X선투시를 한다. 이 장치는 세계 각국에 보급되어 그 유용성이 보고 되었으나, 장치 자체가 목조를 필요로 하여 설비하는데 부담이 크며 치료 중에 X선투시가 필요하고 또한 치료하는데 고가의 전극을 소모하게 되는 것 등에 따라 제2세대의 결석 파쇄장치가 개발되었다(표 2 참조).

표 2. 결석 파쇄장치

결석 파쇄장치	충격파의 발생원	충격파의 매체	결석의 초점맞춤	
Dornier(서독)	HM 3	전극수중방전	목 조	X선 TV
	MPL 9000	전극수중방전	물베개	초음파
	MFL 5000	전극수중방전	물베개	X선 TV
Edap(프랑스)	EDAP LT--01	압전소자	물베개	초음파
Siemens(서독)	LITHOSTAR PLUS	전자진동	물베개	X선TV+초음파
Technomed(프랑스)	SONOLITH 3000	전극진동	腰 湯	초음파
Wolf(서독)	Piezolith 2300	압전소자	腰 湯	초음파
Medstone(미국)	1050 ST	전극수중방전	물베개	X선촬영
八千伐田(일본)	YACHIYODA SZ--1	미소폭발	목 조	X선투시
Direx(이스라엘)	TRIPTEP X1	전극수중방전	물베개	X선투시
Diasonic(미국)	THERASONIC	압전소자	물베개	X선투시+초음파
Northgate(미국)	SD--3	전극수중방전	물베개	초음파



a : 목조



b : 허리 부분의 욕조



c : 물베개

그림 3. 충격파의 매체

충격파를 체내에서 효율있게 하기 위해서는 충격파를 물속에서 발생시키고 물을 통해서 조사할 필요가 있다. 따라서 욕조에 환자를 매달고 치료를 하는 대신에 제2세대의 결석 파쇄장치에서는 환자의 허리 부분만을 침수시키는 방법이나 물베개를 대고서 물베개에서 발생시킨 충격파를 체내에 투여하는 방식이 쓰여지고 있다(그림 3 참조).

또 초점을 맞추는데 관해서도 X선투시에 대신하여 초음파화상을 이용하는 방법이 개발되고 있다. 충격파발생 방법에 대해서는 전극을 소모시키는 대신에 세라믹 壓電素子를 사용하는 것, 미량의 화약을 쓰는 것, 또 전자진동판을 사용하는 것 등이 개발되고 있다(그림 4 참조).

치료에 있어서는 Dornier HM3의 경우에 당초에는 마취를 필요로 하였으나, 제2세대의 결석 파쇄장치를 포함하여 거의 대부분의 장치는 마취를 하지 않고 결석파쇄의 치료가 실시되고 있다.

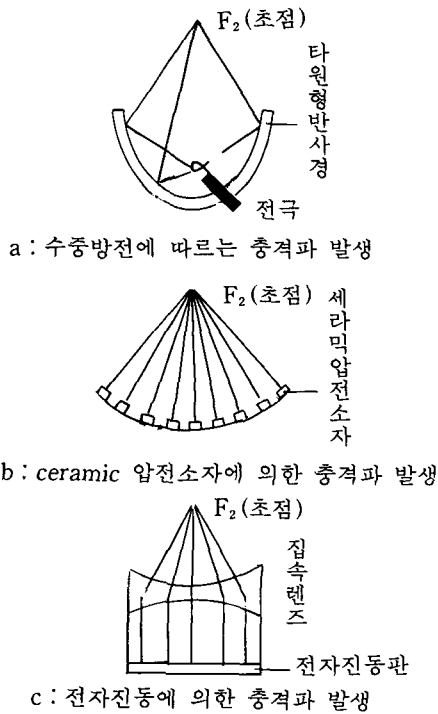


그림 4. 충격파의 발생방법

2. 장치의 구성^{3,4)}

장치의 시스템을 기능면에서 다음과 같이 분류할 수 있다.

- (1) 환자를 고정하는 테이블
- (2) 결석의 위치를 모니터링하는 장치
- (3) 충격파의 발생기
- (4) 결석의 파쇄상태를 확인, 기록하는 장치

이와같은 hard ware로 구성되는 ESWL장치는 치료실에 있는 것으로는 환자테이블(image intensifier, 충격파의 발생배드, Bucky장치 포함), Ceiling X선관 장치, X선 TV 모니터, 제어카비넷, 호흡·심전도 감시장치, 마취기 등이 있으며, 조작실에는 중앙조작콘솔, X선발생장치, 제어판, X선 TV 모니터, 호흡·심전도 모니터, multiformat camera, illuminator 등이 배치되고 있다. 표 3은 각종 ESWL의 기능과 실제 사용하는 데에 있어서 그 연결을 비교한 것이다.

표 3. ESWL 기종의 비교⁴⁾

제조회사 기종	Dormier HM-3	Technomet Sonolith	Siemens Lithostar	EDAP LT-01	Wolf Piezolith
충격파 발생	수중방전		전자진동	압전변환	
집속의 방법	회전 타원체 반사경		음향렌즈	구면판	
생체로 전달	수조(水槽)		막(膜)		수조
위치결정	X선	초음파	X선	초음파	
이동방식	환자를 운반대로 이동	장치를 컴퓨터로 제어	환자대를 이동	발생장치를 이동	
출력	300~1,000 bar	400~1,200 bar	500 bar(일정)	350~400 bar	350~1,000 bar
마취	경막외 또는 국소마취	필요없거나 경막외	경막외 또는 국소마취	필요 없음	
출력의 동기	ECG	ECG	ECG 및 호흡	없다	
초점의 크기	35×15 mm	25×15 mm	15×8 mm	10×8 mm	9×4 mm
소음	크다			작다	
기타	X선장치의 방어시설이 필요하고 수조로 연결되는 급수배관이 필요하다.	수조로 연결되는 급수給湯이 필요하다.	X선장치의 방어설비가 필요	320개 있는 電素 f가 몇개 망가져도 그대로 치료할 수 있다.	수조가 있으나 작다.

3. 장치의 성능

1) 결석의 위치결정과 모니터링

결석의 위치결정과 파쇄상태를 확인하기 위해서 2 방향(정면과 Caudo-Cranial 방향)의 X선을 조사해야 한다. 이 X선장치는 보통 연속 투시에서 피폭을 억제하면서 선명한 정지 화상을 낼 수 있다. 더욱 화상처리로서 noise reduction 및 윤곽강조가 되므로 파쇄상태를 real time으로 선명하게 파악할 수 있으며, 또한 X선사진으로 최종확인과 기록이 이루어지고 있다.

2) 呼吸同期法에 의한 결석의 파쇄

충격파의 발사는 호흡, 즉 환자가 숨을 내쉴 때에 同期로 이루어지므로 명중율이 높고 또 결석 이외의 부위에 작용하는 것이 없어 부작용도 경감된다. 더욱 필요에 따라 심전도(ECG) 동기법을 쓰고 期外수축을 방지하는 것도 가능하다.

3) 안전한 충격파 발생

전자변환기의 원리에 따르는 충격파에너지는 안전하여 환자의 고통은 작다. 또 발생에너지의 강도와 1회마다의 발생회수를 변화시킬 수 있어 결석의

크기와 정도에 따라 세밀한 조정을 할 수 있다.

4) 각종 내시경 조작에 대응

ESWL을 실시하는 전후에 보조적인 수단이 필요할 경우에는 같은 테이블에서 대응이 가능하다.

요로결석의 경우에 경피적 신장·요관결석 쇄석술(PNL), 경요도적 요관결석 쇄석술(TUL), 경피적 腎梗造設術(PNC), 역행성 신우요관 조영(RP) 또 담석의 경우에는 내시경적 역행성 담도조영(ERCP) 및 내시경적 역행성 담도 drainage(ERBD) 등에 대응이 가능하다.

기타 X선장치로서 신장, 방광단순촬영(KUB), 經皮經肝性 담도조영법(PTCD) 등에도 적용이 가능하다.

IV. ESWL 治療

1. 요로결석의 ESWL^{3,4,6)}

ESWL 치료는 결석이 비교적 작은 경우에는 파쇄술을 한 다음에 그 날로 귀가할 수 있으나, 보통은 4~7일간의 입원이 필요하다. ESWL 치료 전후의 순서는 표 4와 같다.

표 4. 요로결석의 ESWL

전날 입원	orientation, ESWL을 비데오로 관찰 緩下劑 투여, 혈액확보
당일	<p>병 실 수술실</p> <p>아침에 관장, 점적 1,000 ml, KUB(신장, 방광 단순촬영) 경막외 마취 (요로 카테터 삽입의 경우), 방광유치 카테터 삽입, ESWL 치료 수술 중 수액 1,000 ml, KUB</p> <p>병 실</p> <p>수술 후에 수액 1,000 ml, 항생물질을 예방으로 투여, 당일 에 한정한다(요관 카테터 조작에는 2일간), 저녁때 유치 카테터를 제거, 저녁식사를 섭취해도 되며, 자유로이 움직여도 된다.</p>
다음날 이후	제1일과 3일에 KUB, 水腎의 유무를 echo로 검사, 발열과 동통: 水腎 등이 없으면 퇴원한다.

표 5. 담낭결석의 ESWL의 적응기준

1. 결석의 크기가 2.5 cm 이내 (단일 결석 경우에는 3 cm 이내)
2. 결석의 수가 3개 이내 (결석이 작을 경우에는 5~6개까지 가능)
3. Cholesterol 결석으로 석회화가 없는 것
4. 담낭에 수축기능이 있는 것
5. 임상적으로 증상이 있는 것
(급성 담낭염 또는 만성 담낭염, 지속적으로 동통이 있는 것은 제외)
6. 임신이 아닌 상태
7. 생명유지 관리장치가 장착되면 제외
8. 내시경적으로 유두에 이상이 없을 것
9. 혈액질환, 출혈성 소인이 없을 것

환자는 치료하기 전에 치료내용을 기재한 책자를 보게하고 시술 전의 검사를 한다. 치료하기 전날에 입원을 하고 video로 ESWL 치료상황을 보게하여 치료에 대해서 이해를 시킨다.

치료하는 날에는 시술하기 직전에 신장 방광의 단순촬영으로 결석부위를 확인한 다음에 ESWL 치료를 실시한다.

충격파에 의해서 일어나는 고통은 개인과 결석부위에 따라 차이가 있다. 따라서 마취를 안해도 될 경우가 있으며, 국소마취 또는 경막의 마취나 요추마취를 필요로 할 때도 있다.

요관결석에서 결석의 주위에 水層을 만들면 파쇄 효과가 증대된다. 치료시간은 30~40분 정도가 되며 충격파 발생회수는 결석의 크기와 硬度에 따라 차이가 있으나, 대략 500~2,000발의 충격파가 필요하다.

치료 후에는 수분의 섭취와 운동을 하여 파쇄된 결석의 자연배출을 촉진시킨다. 시술한 날과 3일 후에 신장, 방광의 단순촬영을 하여 결석이 배출된 것이 확인되면 퇴원이 된다.

2. 담도결석과 ESWL^{4,6)}

담낭결석에 ESWL을 적용하는 기준은 표 5와 같으며 bilirubin 결석은 파쇄가 잘 되지 않으며, 작은 cholesterol 결석이 그 치료대상으로 된다.

담낭결석은 cholesterol 결석이 가장 많으며 신장·요관결석보다도 많다. 소량의 석회화가 있는 결

석은 파쇄가 잘 되지 않으나, 반복하여 ESWL로 파쇄하면 치료가 가능하여 적응범위는 확대될 것으로 기대된다.

V. 結 論

ESWL 요법은 결석의 외과적 치료법을 근본적으로 개혁한 획기적인 방법으로 결석환자에 대해서 큰 도움을 주고 있다. 단지 비수술이라는 것 이외에 재발이 반복되는 결석에 대해서도 수술로서 반복할 수 있는 회수에 제한이 있으나 ESWL은 몇번이고 반복하여 실시할 수 있어 침습이 작아서 안전한 치료법으로 확립되고 있다. 더욱 앞으로의 전망으로는 암세포에 대한 충격파의 발육억제, 靱細胞 효과에 대한 기초적인 연구가 이루어지고 있어, 이 방면의 발전은 주목이 된다.

ESWL은 X선장치와 초음파 진단장치가 겸비되고 있으며, 결석의 종류와 부위에 따라 적용하여 치료 효과를 나타낼 수 있다. 따라서 방사선사는 ESWL의 조작이나 X선검사, 초음파검사에 팀의료의 일원으로서 적극적으로 참여하여 ESWL의 치료효과를 향상하는 데에 기여 할 수 있도록 노력을 해야 할 것이다.

參 考 文 獻

1. 東原英二：體外衝擊波腎碎石，診斷と治療，1805~1808，1988.

2. 折笠精一・桑原正明：水中衝撃による結石破碎，*Innervision*, 3(2)：2～8, 1988.
3. 日本放射線機器工業會：體外衝擊波結石破碎裝置，*醫用畫像・放射線機器ハントブック*，電子計測出版社，241～245, 1989.
4. 金森勇雄 外：體外衝擊波結石破碎療法(Extracorporeal shock wave lithotripsy)の現状，*大垣市民病院年報*(第15號)，588～519, 1989.
5. 金森勇雄 外：體外衝擊波結石破碎療法(Extracorporeal shock wave lithotripsy)の現状．第2報 腎・尿管結石破碎療法，*日本放射線技師會雜誌*，37(5)：399～405, 1990.
6. 東義人 外：結石の診斷と治療，ESWLによる治療を中心に，*Innervision*, 5(10)：7～25, 1990.