

# ESTUDIO COMPARATIVO DE GENERADORES DE ONDAS DE CHOQUE DE LITOTRIPTORES COMERCIALES

J. F. Kolzer, R. García

Grupo de Pesquisa em Engenharia Biomédica  
Florianópolis-Santa Catarina-Brasil. josefkolzer@hotmail.com

## RESUMEN

Los equipamientos utilizados para la realización de la litotricia extracorporea por ondas de choque, denominados litotriptores, utilizan tres diferentes principios de generación de ondas de choque, dando lugar a los litotriptores electrohidráulicos, litotriptores electroconductivos, litotriptores electromagnéticos y litotriptores piezoeléctricos. Este trabajo presenta una comparación de los parámetros que caracterizan a las fuentes de ondas de choque utilizadas en litotriptores comerciales, señalando la influencia de cada parámetro en la eficacia de la terapia. Fueron consultados diversos artículos relativos a estos equipamientos, normas pertinentes y catálogos comerciales. De este estudio se pudo observar que los litotriptores electromagnéticos y piezoeléctricos aventajan a los litotriptores electrohidráulicos en lo que se refiere a reproducibilidad de las ondas de choque. Sin embargo, los litotriptores electromagnéticos aventajan a los piezoeléctricos en energía por pulso.

Por lo tanto, de este estudio se puede concluir que los generadores electromagnéticos actualmente disponibles en el mercado poseen las características técnicas necesarias para la fragmentación eficaz de la mayoría de los cálculos renales.

**Palabras clave:** Cálculos renales, litotriptores, ondas de choque.

## 1- INTRODUCCIÓN

Desde la aparición del primer litotriptor Dornier HM3 hasta la fecha, numerosos aparatos de litotricia extracorporea por ondas de choque fueron introducidos al mercado. Estos aparatos se diferencian entre sí por la fuente de ondas de choque, por el sistema de visualización, por el sistema de focalización y por el sistema de acoplamiento. Existen hoy en día tres tipos de fuentes de ondas de choque: electrohidráulicas, electromagnéticas y piezoeléctricas. Una variante de la fuente electrohidráulica es lo que dió origen a los litotriptores electroconductivos. El propósito de este estudio es presentar los parámetros característicos de las fuentes de ondas de choque para luego compararlas en lo que se refiere a su eficacia.

## TIPOS DE GENERADORES DE ONDAS DE CHOQUE UTILIZADAS EN LOCE

Actualmente existen en el mercado cuatro tipos de litotriptores, dependiendo del modo como son generadas las ondas de choque. 1) Litotriptores electrohidráulicos; 2) Litotriptores electro - magnéticos; 3) Litotriptores piezoeléctricos y 4) Litotriptores electroconductivos. Este último es básicamente un litotriptor electrohidráulico en el cual la descarga de la chispa que genera la onda de choque se realiza en un medio altamente conductivo.

### Generador electrohidráulico

El generador electrohidráulico[1] consiste de una taza semielipsoidal con agua con dos electrodos en el primer foco conectado a un capacitor mediante un interruptor de alto voltaje denominado spark gap. Cuando es conectado el spark gap se forma un plasma entre los dos electrodos. La energía liberada produce una burbuja de vapor y una onda de choque la cual, cuando es focalizada en el segundo foco del elipsoide ( $F_2$ ), es suficientemente fuerte como para desintegrar cálculos renales o biliares (ver Fig. 1).

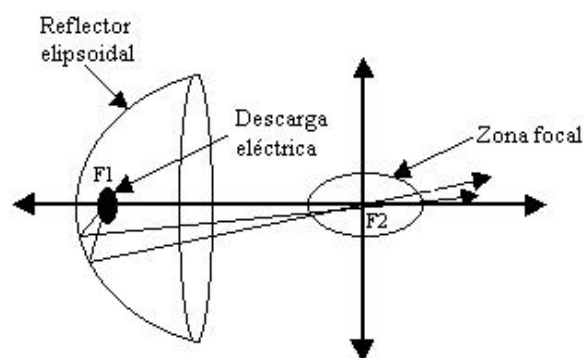


Fig. 1. Generador electrohidráulico

Los litotriptores que utilizan este principio para generar ondas de choque tienen las siguientes limitaciones[2]:

1. Variabilidad significativa de la energía entregada a  $F_2$  de una onda de choque a la próxima, con una desviación estándar estimada entre el 30% y el 45%. Esta variabilidad tiene un impacto sobre la duración, eficacia y tolerancia del tratamiento;
2. Área focal mayor que en otros sistemas de ondas de choque, en particular, el piezoeléctrico;
3. Dificultad de tratar pacientes sin anestesia aún con potencia mínima;
4. Elevado desgaste del electrodo debido a la variación de la presión;

5. Dependencia de la calidad del agua, lo cual es limitado en algunas áreas geográficas.

### Generador electromagnético

El generador electromagnético[1] tiene un principio de funcionamiento similar a la de un altoparlante. Es suministrado un pulso eléctrico a una bobina enrollada en forma de espiral la cual se encuentra próxima a una lámina metálica rodeada de agua. La lámina es inducida a flexionarse y emite una onda la cual es focalizada por medio de una lente acústica ubicada en frente de la lámina. (ver Fig. 2).

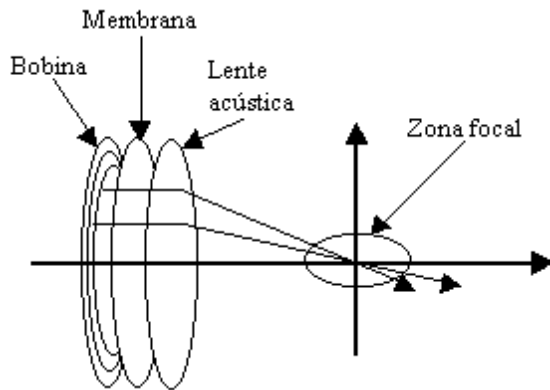


Fig. 2. Generador electromagnético

La membrana utilizada por los generadores electromagnéticos tienen una vida útil de aproximadamente 400.000 ondas de choques, pudiendo ser reemplazada.

### Generadores piezoeléctricos

Los generadores piezoeléctricos[1] están constituidos por un conjunto de pequeños elementos piezoeléctricos dispuestos en la superficie interna de un disco esférico lleno de agua. Estos elementos son excitados simultáneamente para crear una onda de choque la cual converge en el centro de curvatura del disco (ver Fig. 3).

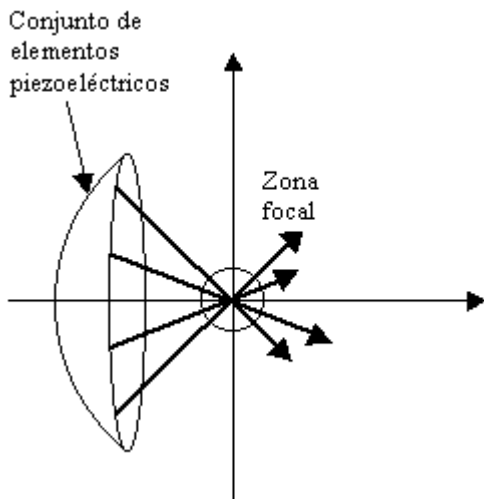


Fig. 3. Generador piezoeléctrico

Estos generadores, a pesar de producir elevados valores de presión, entregan reducida energía por pulso puesto que la zona focal es muy reducida.

### Generadores electroconductoros

Un generador electroconductor [2], [3], [4] es, básicamente, un generador electrohidráulico en el cual la descarga se lleva a cabo en un medio altamente conductor. Esto mejora notablemente la reproducibilidad de los disparos, aumenta mucho la vida útil de los electrodos (hasta 50 veces), se reduce la zona focal y aumenta la presión media máxima. El electrolito usado en el generador de ondas de choque DIATRON III de EDAP Technomed es cloruro de sodio a una concentración de 100 g/l, correspondiendo a una resistividad eléctrica de 7 ohm cm. Para evitar la formación de burbujas en la bujía, el electrolito es hecho con agua desgasificada usando una bomba de vacío. Este electrolito está contenido en una membrana de silicona (ver Fig. 4).

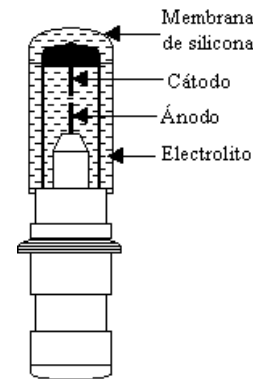


Fig. 4. Bujía de un litotriptor electroconductor

### PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE UN GENERADOR DE ONDAS DE CHOQUE

1. Energía. El propósito de un litotriptor es entregar suficiente energía al cálculo a ser tratado para reducirlo a fragmentos lo suficientemente pequeños como para que puedan ser eliminados espontáneamente del sistema urinario[5], siendo la energía necesaria para la desintegración de un cálculo dependiente de su tamaño y composición[5], [6]. Sería deseable que toda la energía producida por el generador de ondas de choque fuese utilizada para desintegrar el cálculo tratado. Sin embargo, parte de esta energía es absorbida por órganos y estructuras óseas que encuentran en su camino hasta el cálculo[5].

2. Zona focal. Una zona focal grande reduce la necesidad de focalización exacta de la onda de choque sobre el cálculo renal. Por otro lado, el tejido normal queda más expuesto a la energía de las ondas de choque. Cuando la zona focal es pequeña, el riesgo de dañoal tejido vacino es menor pero en este caso se requiere focalización exacta de la onda de choque[7]. Además, cuanto menor sea la zona focal, menor será la energía por pulso lo cual implica la necesidad de aumentar el número de choques necesarios para la fragmentación de un cálculo dado y hasta puede imposibilitar la fragmentación de cálculos grandes o aquellos que por su composición, requieren niveles de energía mayores. Los generadores piezoeléctricos poseen zonas focales de pocos milímetros lo que lo hacen adecuados para tratar cálculos pequeños (ver Tabla 2) [8], [7], [9], [10], [4].

3. Rango de energía. Cuanto mayor sea el rango de energía de un generador de ondas de choque, mayor se

puede adaptar los niveles de energía a cada caso particular[10].

4. Tasa de repetición de pulsos. Un factor importante es la tasa de repetición de pulso la cual es limitada a no más de 3 Hz en litotriptores electrohidráulicos. Si bien los litotriptores piezoléctricos pueden funcionar con tasas de repetición de pulsos mayores, la presión generada por los mismos cae a medida que la tasa aumenta[1]. Arriba de 3 Hz el valor medido de presión disminuye alrededor del 50% del valor de un sólo disparo (ver Fig. 5). La tasa de repetición de pulsos también influye en el grado de daño al tejido blando. Fue demostrado que el daño renal asociado a las ondas de choque es menor cuanto menor sea la frecuencia de repetición de pulsos para el mismo número de pulsos entregados[11].

5. Abertura del sistema de focalización. Otro factor que debe ser tenido en cuenta es la apertura del sistema de focalización. Cuanto mayor es la apertura del sistema de focalización, menor es la densidad de energía a nivel de la piel (Tabla 1) [1], [2], [7].

6. Reproducibilidad de la onda de choque. La reproducibilidad de la onda de choque es otro parámetro que influye en la terapia [ ], puesto que esto conduce a mala focalización de la onda de choque[2].

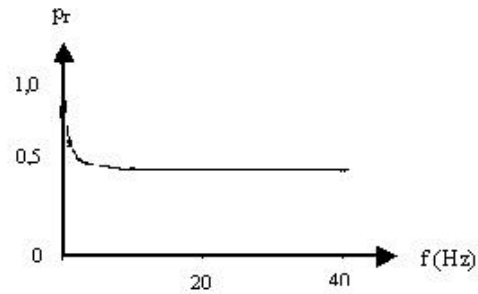


Fig. 5. Presión relativa en el foco del rayo en función a la frecuencia de repetición de pulso

**Tabla 1.**  
Comparación de la zona focal de litotriptores comerciales

Modelo/Marca	HM3-Dornier	Lithostar Plus Siemens	Piezolith 3000 Wolf	Modulith SL20 Storz	Sonolith 4000 Edap Technomed
Principio de funcionamiento	Electrohidráulico	Electromagnético	Piezoelectrico	Electromagnético (15kV)	Electroconductor (18kV)
Tamaño de la zona focal	$f_x = f_y = 15$ mm $f_z = 90$ mm	$f_x = f_y = 4$ mm $f_z = 40$ mm	$f_x = f_y = 3$ mm $f_z = 21$ mm	$f_x = f_y = 6$ mm $f_z = 28$ mm	$f_x = f_y = 7$ mm $f_z = 28$ mm

**Tabla 2.**

Dimensiones (en metro) del sistema de focalización, incluyendo el diámetro de apertura y el ángulo medio de apertura (en grados) de generadores de ondas de choque.

Litotriptor	Tipo	Dimensionamiento (m)	Diámetro de apertura (m)	Ángulo medio de apertura (grados)
Sonolith 2000	EH	a = 0,14; b = 0,08	0,16	31
Sonolith 3000	EH	a = 0,17; b = 0,11	0,22	40
Sonolith 4000	EH	a = 0,150; b = 0,112	0,224	80
Dornier HM3	EM	a = 0,138; b = 0,077	0,155	31
Piezolith 2200	PE	r = 0,345	0,5	45
EDAP LT-01	PE	r = 0,35	0,40	35
Lithostar	EM	f = 0,113	0,106	25

Obs. a = Dimensiones del eje mayor del reflector elipsoidal  
 b = Dimensiones del eje menor del reflector elipsoidal  
 r = Radio de curvatura  
 f = Longitud focal

Cuanto menor es el diámetro de apertura del sistema de focalización, mayores son los niveles de energía en la piel (ver Fig. 6), mayor es la sensación de dolor a nivel percutáneo y, por lo tanto, mayor es la necesidad de anestesia para el paciente.

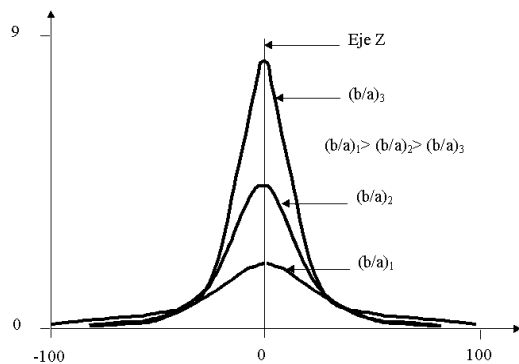


Fig. 6. Densidad de energía en  $J/cm^2$  en la piel del paciente para una energía emitida de 1J en función de la relación  $b/a$ .

## 2-DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

Entre los diferentes litotriptores encontrados en el mercado, los litotriptores electromagnéticos parecen poseer un rango de energía más amplio, elevada reproductibilidad, zona focal comparable al tamaño de los cálculos a ser tratados y energía por pulso considerable. La membrana utilizada para generar las ondas de choque tiene una vida útil mucho mayor a la de los electrodos utilizados en los litotriptores electrohidráulicos y electroconductivos pero es menor a la vida útil de los elementos piezoeléctricos que componen un generador piezoeléctrico. Sin embargo, existe en el mercado mayor disponibilidad de litotriptores electrohidráulicos lo cual reduce su costo de adquisición.

Los mayores inconvenientes característicos de los generadores electrohidráulicos fueron resueltos efectuando la descarga eléctrica en una solución altamente conductiva (litotriptores electroconductivos). Estos litotriptores poseen una zona focal comparable a la zona focal de los litotriptores electromagnéticos (ver Tabla 2), elevada reproductibilidad de las ondas de choque y reducido desgaste de los electrodos.

Con respecto a los litotriptores piezoeléctricos, el mayor inconveniente es la reducida energía entregada por choque debido a el volumen focal reducido (ver Tabla 2), lo cual aumenta la tasa de retratamiento para cálculos grandes y hasta puede inviabilizar la terapia. La eficacia de estos litotriptores es comparable a la eficacia de los otros sistemas para cálculos pequeños.

Por lo tanto, de este estudio se puede concluir que los generadores electromagnéticos actualmente disponibles en el mercado poseen las características técnicas necesarias para la fragmentación eficaz de la mayoría de los cálculos renales.

## REFERENCIAS

[1] Andrew J. Coleman and John E. Saunders – Ultrasound in Med. & Biol. Vol. 15, No. 3, pp. 213-227, 1989. A survey of the acoustic output of commercial extracorporeal shock wave lithotripsy.  
 [2] D. Cathignol & al – Reviem of Scientific Instruments, 65:7 (July 1994). Desing and characterization of a shock wave generator using canalizad electrical discharge: application to lithotripsy.

[3] D. Cathignol, J. L. Mestas, F. Gomez and P. Lenz – Ultrasound in Med. & Biol. Vol. 17, No. 8, pp. 819-828, 1991. Influence of Water Conductivity on the Efficiency and the Reproducibility of Electrohydraulic Shock Wave Generation.  
 [4] T. Flam & al – Journal of Endoulogy, 8:4, 249-255 (1994). Electroconductive Lithotripsy: Principles, Experimental Data and First Clinical Results of the Sonolith 4000.  
 [5] Jeffrey A. Moody, Andrew P. Evan, James E. Lingemann- UroNews No. 45, 3-18. Litotricia Extracorpórea por Onda de Choque (Leco).  
 [6] Manuel R. Garrido et al. – Informes Evaluación Tecnológica Sanitaria, Ministerio de Sanidad y Consumo, Dirección General de Planificación Sanitaria, Subdirección General de Evaluación Sanitaria y Tecnológica, Enero de 1988. Litotricia Extracorpórea.  
 [7] James S. Morris et. al. - The Journal of Urology Vol. 145, 864-867, April 1991. A Comparison of Renal Damage Induced by Varing Modes of Shock Wave Generation.  
 [8] Hamada El-Damanhoury, Thomas Scharfe, Joachim Ruth, Stephan Roos and Rudolf Hohenfellner – The Journal of Urology. Vol. 145, 484-488, Mach 1991. Extracorporeal Shock Wave Litotripsy of Urinary Calculi: Experience in Treatment of 3,278 Patients Using The Siemens Lithostar and Lithostar Plus.  
 [9] G. Ludvik, M. Marberger – Catálogo proporcionado por la Richard Wolf.  
 [10] J. Rassweiler, U. Kohrmann, G. Heine, W. Back, ° Wess, P. Alken – Eur Urol 1990; 18:237-241. Modulith SL 10/20-Experimental Introduction and First Clinical Experience with a New Interdisciplinary Lithotripter.  
 [11] Greenstein A, Matzkin H – Urology 54: (3) 430-432 Sep 1999. Does the rate of extracorporeal shock wave delivery affect stone fragmentation?

# A COMPARATIVE STUDY OF GENERATORS OF SHOCK WAVES OF COMMERCIAL LITHOTRIPTERS

## ABSTRACT

Three different principles of generation of shock waves are used by lithotripters. So, there are electrohydraulic, electroconductive, electromagnetic and piezoelectric lithotripters. This paper shows a comparison of generators of shock waves that are used in commercial lithotripters and are indicated how these parameters influence in the efficacy of the therapy. It was studied several articles regarding to these equipments, technical standards and commercial folders. This study has allow to see that that the electromagnetic lithotripter have more reproducibility that the electrohydraulic lithotripter. However, electromagnetic lithotripters overcome to piezoelectric lithotripters regarding to energy for pulse. So, from this study is possible to conclude that electromagnetic generators availables in the market today have the technical characteristics for fragmentation of majority of renal calculi.

**Keywords:** *Renal calculi, lithotripters, shock waves.*