

## Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica

Volumen  
Volume **26**

Número  
Number **1**

Marzo  
March **2005**

*Artículo:*

Ultrasonido de baja intensidad para el  
tratamiento de fracturas óseas con  
retardo en la curación

Derechos reservados, Copyright © 2005:  
Sociedad Mexicana de Ingeniería Biomédica, AC

Otras secciones de  
este sitio:

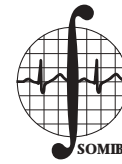
- 👉 Índice de este número
- 👉 Más revistas
- 👉 Búsqueda

*Others sections in  
this web site:*

- 👉 *Contents of this number*
- 👉 *More journals*
- 👉 *Search*



Medigraphic.com



# Ultrasonido de baja intensidad para el tratamiento de fracturas óseas con retardo en la curación

Orlando R. Rodríguez Rúa,\*  
Ricardo Monreal,\*\*  
J. Enrique Chong-Quero\*\*\*

\* Instituto de Cibernética, Matemática y Física (ICIMAF), La Habana Cuba.

\*\* "Hospital Docente Comandante Manuel Fajardo". La Habana, Cuba.

\*\*\* Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Estado de México, México.

Correspondencia:

Orlando R. Rodríguez Rúa  
Calle 15 Núm. 551 e/ C y D, 10400,  
La Habana, Cuba.  
Teléfono: (537) 8320771 /  
Fax: (537) 333373  
E-mail: reyrúa@icmf.inf.cu

## RESUMEN

El empleo de una señal de ultrasonido pulsado de baja intensidad ha estado demostrando a través de numerosas pruebas clínicas, ser un eficaz método para la estimulación de la reparación ósea. Este trabajo presenta los resultados obtenidos en un estudio preliminar efectuado en el "Hospital Docente Comandante Manuel Fajardo", en La Habana, Cuba, entre los años 1999 y el 2000, sobre el tratamiento de fracturas óseas con retardo en su proceso de curación, tratadas mediante una terapia por ultrasonidos. Un total de 11 fracturas con diferentes tiempos de evolución fueron tratadas diariamente por un periodo de 20 minutos, con una señal ultrasónica de 30 mW/cm<sup>2</sup> (promedio espacial - promedio temporal), 1 MHz, sinusoidal pulsada en paquetes de 400 μs de duración y repetidos con una frecuencia de 0.5 kHz. El tratamiento fue empleado hasta que la fractura fue encontrada tanto clínicamente como radiológicamente curada. Ningún tratamiento falló.

## Palabras clave:

Ultrasonido, terapia, fractura ósea, unión demorada.

## ABSTRACT

The employment of a low intensity pulsed ultrasound signal has been demonstrating through numerous clinic studies, to be an effective method for the stimulation of bone repair. This work presents the results obtained in a preliminary study realized in the "Manuel Fajardo Teaching Hospital", in Havana, Cuba, between 1999 and 2000, about the treatment of bone fractures with a delayed healing process treated by a specific ultrasound therapy. A total of 11 fractures with different times of evolution were treated daily for a period of 20 minutes, with an ultrasound signal of 30 mW/cm<sup>2</sup> (spatial average - temporal average), 1 MHz, 400 μs sine wave burst width, repeated at 0.5 kHz. The treatment was employed until the fracture was found clinically and radiologically healed. No treatment failed.

## Key Words:

Ultrasound, therapy, bone fracture, delayed union.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad el ultrasonido se emplea en las más diversas aplicaciones médicas. Éstas abarcan tanto aplicaciones de diagnóstico como de terapia y de procedimientos operativos<sup>1-6</sup>.

En medicina física y rehabilitación, las intensidades de energía ultrasónica empleadas están en el rango de 1 a 3 W/cm<sup>2</sup><sup>5</sup>. En procedimientos operativos y en la terapia por hipertermia, los niveles de intensidad van de 5 a más de 4,000 W/cm<sup>2</sup> para producir entre otros efectos, ablación e incluso la evaporación de tejidos<sup>6</sup>. En las aplicaciones de imágenes diagnósticas las intensidades son mucho más bajas, de 0.5 a 50 mW/cm<sup>2</sup> y en la práctica no tienen efectos térmicos<sup>1</sup>.

Entre los usos del ultrasonido con fines terapéuticos se distingue en la actualidad con resultados muy positivos, el empleo de una señal ultrasónica de baja intensidad, pulsada, para la aceleración de la reparación ósea. Esta terapia está demostrando ser un eficaz método para la aceleración de la curación de las llamadas fracturas frescas, pero también, para el tratamiento de las uniones retardadas.

Poder contar con una estrategia alternativa de tratamiento de la fractura posee una gran importancia, ya que el complejo proceso de reparación ósea aun atendido por la más avanzada técnica médica tradicional, constituye un reto en la ortopedia moderna.

Este hecho se pone de manifiesto en dos aspectos de especial interés. En primer lugar, en los prolongados tiempos de curación de determinadas fracturas, lo que constituye indiscutiblemente un problema, lo que es particularmente importante en grupos específicos de pacientes como son los deportistas de alto rendimiento, o como en los pacientes de edad avanzada donde la curación de la fractura normalmente se retarda, y en segundo término en el tratamiento de las fracturas con algún tipo de trastorno en su curación.

El presente trabajo expone los resultados obtenidos en un estudio preliminar efectuado en el "Hospital Docente Comandante Manuel Fajardo", en La Habana, Cuba, entre los años 1999 y el 2000, sobre el tratamiento de fracturas óseas con retardo en su proceso de curación, tratadas mediante una terapia por ultrasonidos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El proceso de reparación ósea se desarrolla de forma continua, de forma tal que una división en etapas puede ser un tanto arbitraria. No obstante, diversos criterios son tomados con el objetivo de poder evaluar la progresión de la curación de la fractura, donde su estabilidad mecánica así como una evaluación radiológica, resultan fundamentales. En este estudio el tratamiento mediante ultrasonido pulsado de baja intensidad fue utilizado en aquellos pacientes con un desarrollo maduro del sistema óseo, cuando se determinó médicamente así como radiológicamente, que el proceso de curación de la fractura se encontraba afectado o retardado en evaluaciones entre las 10 y las 20 semanas<sup>7</sup>. En todos los casos se excluyeron los huesos craneales, así como de la columna vertebral.

Los pacientes fueron tratados con una señal ultrasónica de baja intensidad de 30 mW/cm<sup>2</sup> (promedio espacial - promedio temporal), 1 MHz, sinusoidal pulsada en paquetes de 400  $\mu$ s de duración y repetidos con una frecuencia de 0.5 kHz, aplicada de forma transcutánea por 20 minutos diariamente. La estimulación ultrasónica fue aplicada sobre el sitio de la fractura. La selección de los parámetros de la señal fueron seleccionados en correspondencia con estudios preliminares<sup>8-10</sup>, pero seleccionando 1 MHz para una mayor penetración de la energía en el sitio de la fractura. No obstante, nuevos estudios deberán ser realizados con vistas a optimizar la señal empleada teniendo en cuenta el modelo biológico utilizado.



**Figura 1.** Abertura practicada en el yeso de fijación de la fractura ósea para la aplicación de la terapia ultrasónica.

En la Figura 1 se muestra un paciente aquejado de una fractura de tibia, al cual se le efectuó una ventana en el yeso con el objetivo de aplicar a través de la misma, el tratamiento por ultrasonido.

El equipo empleado en la generación de la señal ultrasónica fue desarrollado en nuestros laboratorios de acuerdo con las normas internacionales, tanto de requisitos de seguridad al paciente, como del empleo del ultrasonido con fines terapéuticos, y certificado para su uso en aplicaciones médicas por el Instituto Nacional de Investigaciones en Metrología, Ciudad de la Habana, Cuba.

El transductor de ultrasonidos empleado, dispone de una cerámica piezoeléctrica del tipo PZT-4, como elemento activo para la generación de las ondas ultrasónicas y posee un área de radiación externa de 5 cm<sup>2</sup>.

Entre los huesos tratados se encontraba el escafoides carpiano, tibia, húmero, radio y metacarpiano.

## RESULTADOS

El hecho de que una fractura se encuentre demorada en su curación, no necesariamente implica que finalmente degenera en una noniún, pero indiscutiblemente constituye un factor de riesgo a ser tomado en cuenta.

Los resultados obtenidos con la estimulación por ultrasonidos de las fracturas que se presentan en este trabajo sugieren que se logró finalmente una evolución favorable de éstas hacia su curación total, lo que puede inducir a pensar que esta terapia puede ser considerada además, como una estrategia de tratamiento una gran incidencia en los métodos terapéuticos empleados en el futuro de forma extendida con el objetivo de poder evitar las noniúnes o pseudoartrosis.

Las fracturas tratadas, así como los resultados específicos obtenidos se relacionan en los Cuadros 1 y 2. Se puede observar un índice de curación de un 100% de los casos.

**Cuadro 1.** Tiempo desde la ocurrencia de la fractura hasta el inicio del tratamiento con ultrasonidos.

Hueso	Subtotal	Más de 10 semanas	Entre 10 y 20 semanas
Escafoides	2	1	1
Húmero	2	0	2
Radio	1	0	1
Metacarpiano	4	2	2
Tibia	2	1	1
Total	11	4	7

**Cuadro 2.** Tiempo desde el inicio del tratamiento hasta la curación de la fractura.

Hueso	Subtotal	Más de 10 semanas	Entre 10 y 20 semanas
Escafoides	2	2	0
Húmero	2	2	0
Radio	1	1	0
Metacarpiano	4	4	0
Tibia	2	2	0
Total	11	11	0

## DISCUSIÓN

En 1983 Dyson y Brookes<sup>10</sup> efectuaron un estudio con el objetivo de investigar los efectos del ultrasonido en el proceso de reparación ósea. Con este propósito emplearon un modelo placebo controlado en fracturas bilaterales de peroné en ratas. En este sentido usaron señales ultrasónicas pulsadas de 1 y 3 MHz, 500 mW/cm<sup>2</sup> (promedio espacial - promedio temporal) aplicadas transcutáneamente durante 5 minutos sobre el sitio de la fractura. El estudio arrojó como resultado una aceleración de la curación de las fracturas que fueron tratadas con ultrasonidos.

En un trabajo realizado de forma independiente Duarte<sup>11</sup> reportó en un modelo placebo controlado de conejos, que una señal ultrasónica pulsada de baja intensidad puede acelerar la curación de la fractura en el sitio de osteotomías bilaterales de peroné y en perforaciones bilaterales en la corteza del fémur mediante evaluaciones histológicas y radiológicas. Sin embargo, la intensidad del ultrasonido fue inferior a la empleada por Dyson y Brookes.

Diversos estudios adicionales han demostrado la eficacia del ultrasonido para la estimulación de la fractura ósea, tanto en modelos *in vivo* como en pruebas clínicas<sup>12-14</sup>.

Sin embargo, los efectos inducidos por el ultrasonido en el tejido conducente a la estimulación de la reparación ósea, aún están pendientes de ser definidos con precisión.

Esto se debe en gran medida, no sólo a lo complejo del desarrollo biológico del tejido óseo, sino también, a los muy diversos eventos físicos que pueden tener lugar en este medio como consecuencia de la aplicación del ultrasonido, y a las muy variadas respuestas biológicas que pueden ser inducidas en el entorno de la fractura ósea por este agente.

No obstante, entre las respuestas encontradas en el tejido biológico como consecuencia de la aplicación de este estímulo mecánico de alta frecuencia y que bien pudieran estar en la base de la acción estimuladora del ultrasonido sobre el proceso de reparación ósea, podemos citar a las siguientes: incremento de la absorción intracelular de calcio<sup>15</sup>, estimulación a la producción del factor de crecimiento PDGF-AB<sup>16</sup>,

estimulación a la angiogénesis<sup>17</sup>, así como un incremento de la vascularidad<sup>18</sup> en el sitio de la fractura.

## CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este estudio preliminar sobre el empleo del ultrasonido en el tratamiento de fracturas óseas con retardo en su proceso de curación, sugieren la utilidad de esta terapia no sólo para acelerar la curación de estas fracturas, sino además, en disminuir la incidencia de las fracturas que finalmente no logren curar, por lo tanto, probablemente se evitó la evolución de un número de fracturas a casos de nonuniones o pseudoartrosis, lo cual hubiera implicado costosos tratamientos incluyendo el quirúrgico.

Sin embargo, el número de pacientes tratados fue reducido, lo cual indica la necesidad de extender los estudios a un mayor número de casos para poder evaluar con más precisión los beneficios de esta técnica terapéutica. Adicionalmente podría sugerirse la realización de más estudios sobre otros tipos de fractura como las nonuniones de reconocida dificultad en su tratamiento, así como a lograr una mejor definición en cuanto a la señal que resulte más adecuada de acuerdo al tipo de fractura de que se trate.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Brown BS. How safe is diagnostic ultrasonography? *Can Med Assoc J* 1984; 131(4): 307-311.
2. Bly NN, McKenzie A, Wong T, West J, Hunt TK. Incisional wound healing: a controlled study of low and high ultrasound. *J Orthop Sports Phys Ther* 1993; 18(5): 619-628.
3. Paternostro-Sluga T, Zoch C. Conservative treatment and rehabilitation of the shoulder problems. *Radiologe* 2004; 44(6): 597-603.
4. Young SR, Dayson M. The effect of therapeutic ultrasound on angiogenesis. *Ultrasound Med Biol* 1990; 16: 261-269.
5. Bly NN, McKenzie A, Wong T, West J, Hunt TK. Incisional wound healing: A controlled study of low and high dose ultrasound. *J Orthop Sport Phys Ther* 1993; 18: 619-628.
6. Smith NH, Hynynen K. The feasibility of using focused ultrasound for transmyocardial revascularization. *Ultrasound in Med and Biol* 1998; 24(7): 1045-1054.
7. Marsh D. Concepts of fracture union, delayed union, and nonunion. *Clin Orthop* 1998; (355 Suppl): S22-30.
8. Parvizi J, Wu CC, Lewallen DG, Greenleaf JF, Bolander ME. Low-intensity ultrasound stimulates proteoglycan synthesis in rat chondrocytes by increasing aggrecan gene expression. *J Orthop Res* 1999; 17(4): 488-94.

9. Heckman JD, Ryaby JP, McCabe J, Frey JJ, Kilcoyne RF. Acceleration of tibial fracture-healing by non-invasive, low intensity pulsed ultrasound. *J Bone Joint Surg Am* 1994; 76: 26-34.
10. Dyson M, Brookes M. Stimulation of bone repair by ultrasound. *Ultrasound Med Biol* 1983; Suppl 2: 61-66.
11. Duarte LR. The Stimulation of Bone Growth by Ultrasound. *Arch Orthop Trauma Surg* 1983; 101: 153-159.
12. Klug W, Franke WG, Knoch HG. Scintigraphic control of bone-fracture healing under ultrasonic stimulation: an animal experimental study. *Eur J Nucl Med* 1986; 11(12): 494-497.
13. Kristiansen TK, Ryaby JP, McCabe J, Frey JJ, Roe LR. Accelerated healing of distal radial fractures with the use of specific, low-intensity ultrasound. A multicenter, prospective, randomized, double-blind, placebo-controlled study. *J Bone Joint Surg Am* 1997; 79: 961-973.
14. Wang SJ, Lewallen DG, Bolander ME, Chao EYS, Ilstrup DM, Greenleaf JF. Low intensity ultrasound treatment increases strength in a rat femoral fracture model. *J Orthop Res* 1994; 12(1): 40-47.
15. Parvizi J, Parpura V, Greenleaf JF, Bolander ME. Calcium signaling is required for ultrasound-stimulated aggrecan synthesis by rat chondrocytes. *J Orthop Res* 2002; 20(1): 51-57.
16. Ito M, Azuma Y, Ohta T, Komoriya K. Effects of ultrasound and 1.25-dihydroxyvitamin D3 on growth factor secretion in co-cultures of osteoblasts and endothelial cells. *Ultrasound Med Biol* 2000; 26(1): 161-166.
17. Young SR, Dayson M. The effect of therapeutic ultrasound on angiogenesis. *Ultrasound Med Biol* 1990; 16(3): 261-269.
18. Rawool NM, Goldberg BB, Forsberg F, Winder AA, Hume E. Power Doppler assessment of vascular changes during fracture treatment with low-intensity ultrasound. *J Ultrasound Med* 2003; 22(2): 145-153.