

Principios y técnica de la cirugía con ultrasonido focalizado guiada con resonancia magnética (MRgFUS) en el tratamiento de los miomas uterinos

Jorge Vázquez-Lamadrid, Yeni Fernández-de Lara, Analuz Carrasco-Choque, Cecilia Romero-Trejo, Juan Cosme-Labarthe y Ernesto Roldan-Valadez*

Unidad de Resonancia Magnética, Fundación Clínica Médica Sur, México, D.F.

Resumen

Los miomas uterinos constituyen una fuente de morbilidad para mujeres en edad reproductiva, lo que puede resultar en síntomas que afectan la calidad de vida. El tratamiento definitivo ha sido tradicionalmente la miomectomía, sin embargo, un número creciente de mujeres busca las opciones para procedimientos no invasivos en el caso de esta enfermedad benigna y usualmente autolimitada. La termoablación con ultrasonido focalizado es una de las opciones terapéuticas menos invasiva entre las terapias existentes en la actualidad y que no requiere anestesia. La cirugía con ultrasonido focalizado guiado con resonancia magnética (MRgFUS) es un nuevo método de tratamiento que fusiona dos tecnologías: combina la termoablación administrada por un transductor de ultrasonido (US) con la guía por imagen de resonancia y la termometría (monitorización de la temperatura en tiempo real) realizada por el equipo de resonancia magnética (RM). En este artículo se presenta una revisión general de los principios físicos y procedimientos de esta nueva técnica, con las guías para el tratamiento, la selección de pacientes y el seguimiento, así como una comparación con otras técnicas terapéuticas en la actualidad.

PALABRAS CLAVE: *Imagen por resonancia magnética. Miomas uterinos. Cirugía. Termoablación. Ultrasonido.*

Abstract

Uterine fibroids are a significant source of morbidity for women of reproductive age, and can result in substantial symptoms affecting their quality of life. Definitive treatment has traditionally been a myomectomy, but increasingly women are not prepared to undergo such an invasive procedure for a benign and usually self-limiting condition. Focused ultrasound ablation is one of the least invasive treatment options outside medical therapy and does not require an anesthetic. Magnetic resonance guided focused ultrasound (MRgFUS) ablation combines therapy delivered by an ultrasound transducer with imaging guidance for therapy and thermal feedback provided by magnetic resonance imaging. This paper provides an overview of the MRgFUS technique, including a brief description of the treatment system, guidelines for selection of patients and follow-up, and a comparison with other treatment techniques.

KEY WORDS: *Magnetic resonance imaging. Uterine fibroids. Surgery. Thermoablation. Ultrasound.*

Correspondencia:

*Ernesto Roldan-Valadez

Coordinación de Investigación e Innovación en RM

Unidad de Resonancia Magnética

Fundación Clínica Médica Sur

Puente de Piedra, 150

Col. Toriello Guerra. C.P. 14050, México, D.F.

E-mail: ernest.roldan@usa.net

Fecha de recepción en versión modificada: 24-11-2010

Fecha de aceptación: 15-12-2010

Introducción

La termoablación con MRgFUS es una de las opciones terapéuticas menos invasiva entre las terapias existentes en la actualidad para el tratamiento de los miomas uterinos y que no requiere anestesia.

El principio de MRgFUS fusiona dos tecnologías: combina la termoablación administrada por un transductor de US con la guía por imagen de resonancia y la termometría (monitorización de la temperatura en tiempo real) realizada por el equipo de RM. En octubre del año 2004, el tratamiento de MRgFUS administrado con el equipo ExAblate 2000 (Insightec, Haifa, Israel) fue aprobado por la *Food and Drug Administration* (FDA) específicamente para el tratamiento de los miomas uterinos¹.

Es ya conocido que la RM proporciona una excelente resolución anatómica del blanco, tiene alta sensibilidad para localizar tumores y permite en tiempo real la detección precisa de la elevación de temperatura en el tejido sometido a tratamiento, con lo que elevaciones de temperatura relativamente pequeñas son detectadas antes que se induzca un daño irreversible a los tejidos. El MRgFUS permite de forma no invasiva la ablación térmica de miomas². Este método utiliza una técnica híbrida: la capacidad de generar calor con US guiado con las imágenes obtenidas con RM y la monitorización en tiempo real con RM de la temperatura alcanzada. La técnica ha demostrado ser factible y segura^{2,3}, combina la guía de la imagen con la descarga de energía en el sitio de interés⁴.

En este artículo presentamos una revisión de los principios físicos y diferentes etapas del procedimiento de MRgFUS en el tratamiento de los miomas uterinos.

Equipo

El equipo utilizado para el MRgFUS (incluido nuestro hospital) es una combinación de un magneto de 1.5 Teslas (GE Signa, General Electric Medical Systems, Milwaukee Wisconsin) y el dispositivo para US concentrado conocido como ExAblate 2000 (Insightec-TxSonics, Haifa, Israel).

Guía con resonancia magnética

La imagen obtenida con RM permite una representación anatómica multiplanar con alta sensibilidad y resolución espacial, además de la ventaja de mostrar contraste tisular al combinar diferentes secuencias de RM, lo cual permite la representación de estructuras

pélvicas y el diagnóstico de enfermedad de esta región, incluyendo miomas y otro tipo de tumores. El diagnóstico se basa en una combinación de secuencias ponderadas en T1 y T2 que pueden claramente diagnosticar y definir la presencia de miomas incluyendo su tamaño, volumen y localización. Con la adición del gadolinio (Gd) intravenoso y la técnica de perfusión es posible caracterizar el tipo de mioma (hipercelular, vascular o necrótico). La adquisición de secuencias multiplanares permite una valoración completa en tres dimensiones del mioma, lo cual es muy útil para la planeación del tratamiento y monitorización^{5,6}.

Una de las características del MRgFUS es la capacidad de planeación y monitorización en tiempo real de la dosis térmica que se administra a los tejidos. Esto se realiza con la imagen en fase, la cual utiliza cambios en la radiofrecuencia de resonancia de los protones que permite la detección de la elevación de temperatura en tiempo real, lo que confirma la administración de una dosis terapéutica y que evite el daño a los tejidos fuera de un volumen de tratamiento previamente designado, esto a través de la detección de pequeñas elevaciones de temperatura en los márgenes determinados⁷. Esta función también permite que el calor focal se confine al volumen blanco determinado en la planeación del tratamiento, y que la elevación de temperatura sea la suficiente para asegurar la necrosis por coagulación del tejido.

Papel del ultrasonido focalizado

El transductor se localiza dentro de la mesa de RM, rodeado por un tanque de agua (Fig. 1). Se utiliza un transductor piezoeléctrico, que concentra la onda sónica, tiene 120 mm de diámetro y una frecuencia de operación de 1.5 MHz. Las ondas concentradas atraviesan sin lesionar la piel intacta de la pared anterior del abdomen creándose temperaturas elevadas en rangos de 55-90 °C en el punto focal del tejido deseado por pocos segundos, lo que resulta en la ablación térmica del tejido, sin embargo, los tejidos adyacentes son respetados. Una membrana de plástico delgado cubre el tanque con agua y permite que la onda sónica se propague al interior del tejido dentro de la pelvis. El paciente yace en decúbito ventral dentro del magneto. La pared abdominal anterior y pélvica son posicionadas por encima del tanque con agua. El acoplamiento acústico se logra con una almohadilla de gel colocado bajo la pelvis, la cual adquiere el contorno de la pared pélvica anterior al recibir el peso del paciente. La información proporcionada por el transductor permite

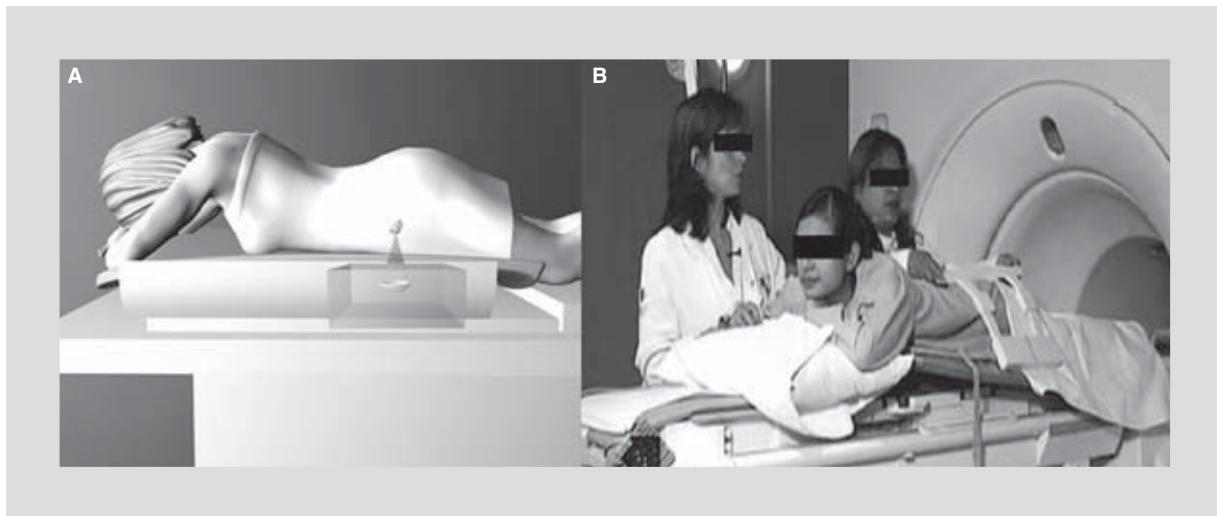


Figura 1. A: representación esquemática del paciente en decúbito ventral sobre la mesa de tratamiento para MRgFUS; el US focalizado genera calor y ablaciona el tejido en el punto focal. B: colocación del paciente dentro del equipo de RM.

controlar la localización del punto focal, así como el volumen calculado que sufrirá necrosis por coagulación. El movimiento del transductor a lo largo de los tres ejes se logra a través de un dispositivo mecánico de posicionamiento. Los disparos, llamados «disparos sónicos», se realizan utilizando un sistema de US, que es compatible con los equipos de RM utilizados en la actualidad.

Criterios de selección para el tratamiento con ultrasonido focalizado guiado con resonancia magnética

Los criterios de selección para el tratamiento se dividen en criterios de inclusión de las pacientes (por ejemplo, mayores de 18 años de edad, un útero menor a las 24 semanas de gestación y una puntuación alta en el cuestionario de síntomas para miomas uterinos y calidad de vida), criterios de exclusión (claustrofobia, adenomiosis difusa, etc.) y criterios para inclusión del mioma uterino. La tabla 1 muestra una descripción de estos criterios.

Secuencias utilizadas en la evaluación de los miomas

Las pacientes se someten a una evaluación con RM pretratamiento para detección de lesiones. Este protocolo estandarizado se realiza en un resonador de 1.5 Teslas General Electric. El paciente se coloca en decúbito ventral (Fig. 1), lo opuesto a la adquisición de una RM de abdomen convencional. Se obtienen secuencias espín eco (SE) estándar ponderadas en T2

(Fig. 1), secuencias SE ponderadas a T1 post-Gd y secuencias eco de gradiente (SPGR) ponderadas a T1 con pulso para supresión grasa multifase. La aplicación intravenosa de Gd (gadopentato de dimeglumina) tiene dosis de 0.1 mmol/kg de peso corporal (laboratorio Bayer), se utiliza una antena para cuerpo o una antena multicanal para pelvis. Este protocolo permite determinar el tamaño, el volumen, la localización y la presencia o ausencia de realce. Después del tratamiento, el protocolo se aplica nuevamente para permitir una comparación directa de los resultados pre- y postratamiento.

Ultrasonido focalizado guiado con resonancia magnética como una técnica híbrida

El ultrasonido focalizado guiado con resonancia magnética conjunta la capacidad de generar calor con US guiado con las imágenes obtenidas con RM y la monitorización en tiempo real con RM de la temperatura alcanzada. La técnica ha demostrado ser factible y segura, y combina la guía de la imagen con la descarga de energía en el sitio de interés. El MRgFUS permite de forma no invasiva la ablación térmica de miomas^{8,9}.

El tejido calentado excede el umbral del tejido normal, lo que lleva a necrosis por coagulación del tejido. Esta necrosis celular es al 100%. Para lograrla se necesitarían: a 43 °C, 240 minutos de tratamiento; a 54 °C, 3 segundos; y a 57 °C 1 segundo, las temperaturas que se alcanzan durante el tratamiento con MRgFUS exceden los 60 °C. Esta temperatura logra

Tabla 1. Criterios de selección para tratamiento con MRgFUS

Criterios de inclusión del paciente	<ul style="list-style-type: none"> – Mayores de 18 años – Estatus premenopáusico – Tolerancia a la posición prona – Tamaño uterino equivalente a menos de 24 semanas – Clasificación ASA 1 o 2
Criterios de exclusión del paciente	<ul style="list-style-type: none"> – Claustrofobia – Adenomiosis difusa – Embarazo o infección pélvica aguda – Antecedente de cicatrices subcutáneas por liposucción – Cáncer uterino
Criterios de inclusión del mioma	<ul style="list-style-type: none"> – Bien definidos en T2 – Número de miomas ≤ 6 – Tamaño de 11 mm a 10 cm de diámetro mayor – Volumen menor de 125 cm³ para un tratamiento – Volumen menor de 250 cm³ en dos tratamientos – Miomas no pediculados o de pedículos amplios

ASA: American Society of Anesthesiologists.

ablacionar al mioma, sin embargo, al quedar localizada a la zona de tratamiento, no lesiona el miometrio circundante².

Secuencias para evaluar la termoablación y análisis de la imagen

Se usa una imagen en fase, la cual utiliza cambios en la radiofrecuencia de resonancia de los protones que permite la detección de la elevación de temperatura en tiempo real. Permite que el calor focal se confine al volumen blanco determinado en la planeación del tratamiento, y que la elevación de temperatura sea la suficiente para asegurar la necrosis por coagulación del tejido¹⁰.

Las imágenes de RM pretratamiento identifican los miomas en las secuencias ponderadas en T2 en tres planos ortogonales. Las imágenes se utilizan para confirmar el diagnóstico de miomas y localizar la lesión blanca. Permiten también la medición del tamaño y volumen, y se utilizan para planear la trayectoria del rayo y distancia hasta el sitio de lesión. La localización del mioma se delinea de las estructuras adyacentes, y se valoran también toda las asas intestinales que no deben de encontrarse en el camino potencial del rayo.

Características de la piel antes del tratamiento

Se evalúa también la pared abdominal anterior buscando alguna de las siguientes características:

- La pelvis completa se evalúa en búsqueda de otras alteraciones.
- Valorar cicatriz cutánea o áreas de irregularidad como queloides, pues pueden concentrar el calor y disminuir la intensidad del rayo¹. Actualmente, la empresa fabricante del equipo distribuye un parche cutáneo desechable que evita el sobrecalentamiento de alguna cicatriz cutánea y puede ser utilizado hasta por cuatro horas durante el tratamiento¹¹.

Preparación del paciente y posicionamiento

La noche anterior al procedimiento el paciente recibe instrucciones de afeitarse el vello en el abdomen inferior hasta la sínfisis del pubis y dieta blanda, y guarda ayuno a partir de la medianoche. Al llegar a la Unidad de RM, el paciente es recibido por el radiólogo a cargo del procedimiento, el paciente firma un consentimiento informado y autoriza el recibir sedación consciente intravenosa utilizando clorhidrato de midazolam (una ampolla de 5 mg en 5 ml, que se administra 1 ml/hora durante el tratamiento) para minimizar la ansiedad; bromuro de butilhioscina (una ampolla de 20 mg en 5 ml, que se administra en dosis única al inicio del tratamiento) para disminuir el movimiento intestinal, y ketorolaco trometamina (dos ampollitas de 30 mg, también en dosis única al inicio del tratamiento) para disminuir las molestias durante el procedimiento. Al paciente se le coloca una sonda Foley calibre pediátrico para vaciar o llenar la vejiga urinaria según se requiera durante el procedimiento.

La pared abdominal anterior y pélvica deben localizarse por encima del tanque con agua. El acoplamiento acústico se logra con una almohadilla de gel colocado bajo la pelvis, la cual adquiere el contorno de la pared pélvica anterior al recibir el peso del paciente (Fig. 1). La información proporcionada por el transductor permite controlar la localización del punto focal, así como el volumen calculado que sufrirá necrosis por coagulación.

Selección del volumen de tratamiento

La selección usualmente se realiza con base a las imágenes de RM pretratamiento ponderadas en T2 utilizando el software del sistema¹². Este volumen a tratar es visualizado en dos planos ortogonales, usualmente

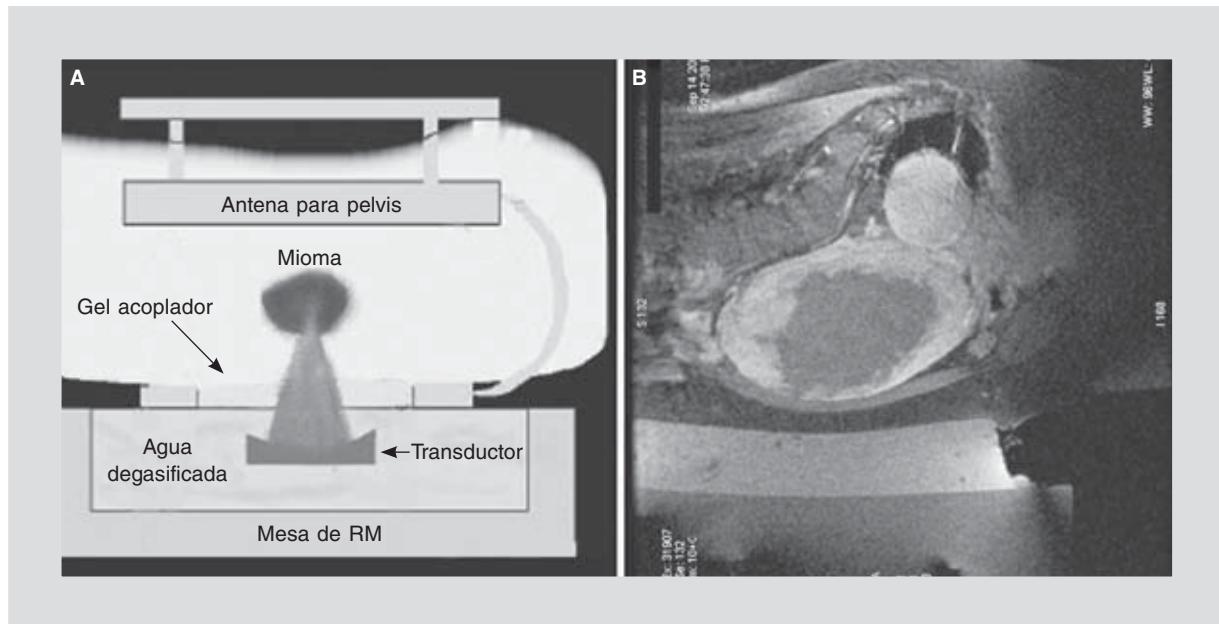


Figura 2. Esquema de funcionamiento de la termoablación con US focalizado guiado con RM. **A:** esquema que muestra los componentes del equipo para MRgFUS. **B:** ejemplo de mioma uterino gigante (imagen en plano sagital, paciente en decúbito ventral) después del tratamiento: se observa que el centro del mioma no realza con el Gd, debido a que los capilares en su interior han sufrido necrosis por termocoagulación.

sagital y coronal (Fig. 2). El transductor del sistema concentra el rayo de US de alta energía y su trayectoria es visualizada en los planos de RM del tejido que atraviesa. Utilizando esta planeación se asegura que el trayecto directo del rayo al volumen de tratamiento deseado evite atravesar paredes de intestino. El volumen de tratamiento permite también que la planeación de los «disparos sónicos» se lleve a cabo por el radiólogo, colocando las sonicaciones de forma tal que cubran el volumen blanco completo para asegurar una necrosis por coagulación completa del volumen seleccionado. Los disparos sónicos pueden ser modificados interactivamente durante el tratamiento por el operador para obtener una dosis térmica completa evaluada con RM que cubra, además, el volumen blanco completo, y permite la obtención de imágenes de control post-Gd, las cuales de forma característica no presentan realce con el contraste (Fig. 3).

Disparos sónicos y monitoreo de la termoablación

El disparo sónico del rayo induce termoablación tisular (necrosis por coagulación), que cubre la porción seleccionada del mioma. Inicialmente se aplica un disparo de baja energía dentro del volumen de blanco antes de comenzar los disparos sónicos terapéuticos. Durante cada disparo sónico se obtienen imágenes de forma continua. En esta etapa las imágenes se utilizan

para confirmar la localización correcta del disparo sónico y asegurar los cambios en la dosis térmica. La intensidad de los disparos sónicos se incrementa hasta que la localización del foco se observa claramente en las imágenes sensibles a temperatura y pueda realizarse la medición del cambio térmico. Las imágenes de RM basadas en diferencia de fase sensibles a temperatura se realizan durante cada disparo sónico para monitorear la localización del foco y el cambio de temperatura tisular utilizando secuencias SPGR. El pico de temperatura y las dosis térmicas recibidas se utilizan como guía para asegurar que se administró energía adecuada para lograr la necrosis por coagulación (Fig. 3). La trayectoria precisa del rayo de cada una de las sonicaciones se monitorea en tiempo real en 3D y pueden cambiar si fuera necesario durante el tratamiento (por ejemplo, si hay movimiento del paciente). Este proceso continúa hasta completar todos los disparos sónicos planeados. El tiempo de tratamiento y el tiempo de permanencia del paciente en la Unidad de RM dependen del volumen blanco del mioma. El tiempo de visita en la Unidad de RM se reporta en rangos de 3-6 horas, y el tiempo neto de tratamiento en rangos de 2-4 horas. El número de disparos sónicos/mioma se ha reportado en rangos de 60-180 disparos sónicos (depende del tamaño y composición del mioma), con volúmenes blancos promedio de 130 cm³ o menos, y tiempo de tratamiento promedio de 180 minutos¹².

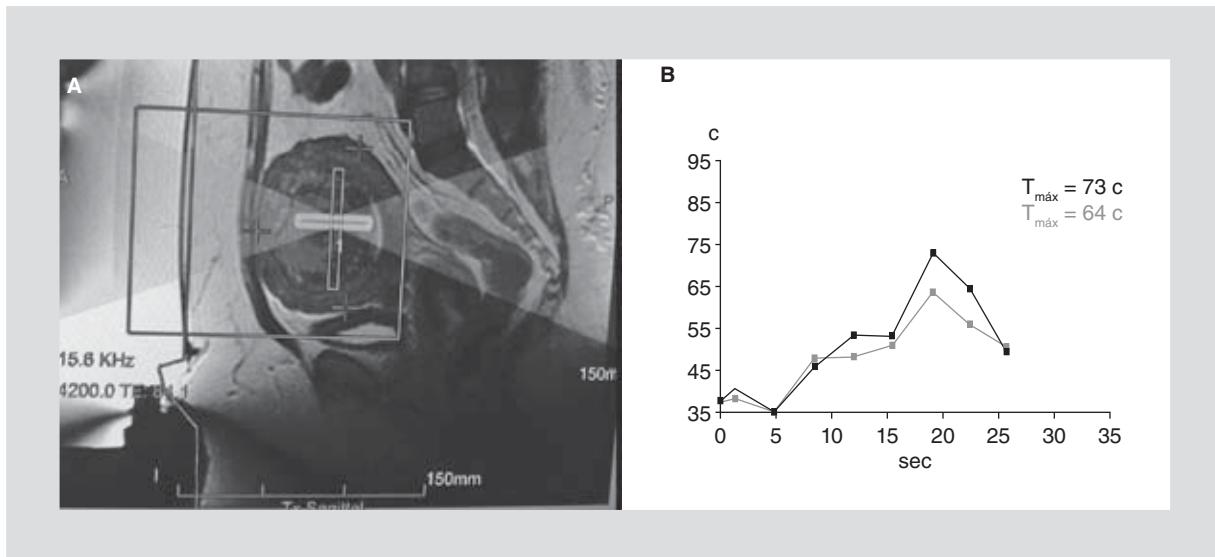


Figura 3. Planeación y tratamiento como se observa en la pantalla durante el proceso de MRgFUS. **A:** secuencia T2 sagital de la pelvis, mostrando la planeación de los disparos sónicos. El software de MRgFUS permite delimitar el volumen del mioma a ser tratado, con pequeños disparos sónicos puntiformes que se van sumando, hasta lograr la termoablación completa del volumen planeado. **B:** innovación tecnológica del MRgFUS, que permite la termometría (monitoreo en tiempo real de la temperatura del mioma), a fin de lograr una ablación térmica óptima, sin lesionar el tejido adyacente; la precisión que se logra para respetar áreas vecinas es de 0.1 mm.

Análisis de la imagen postratamiento

Después de completar los disparos sónicos, se requieren imágenes con la secuencia SPGR posterior a la

administración de Gd intravenoso a fin de calcular el área nueva de necrosis postratamiento. El volumen del mioma pretratamiento (imágenes en T2) y las áreas de necrosis en el mioma tratado (las imágenes con realce

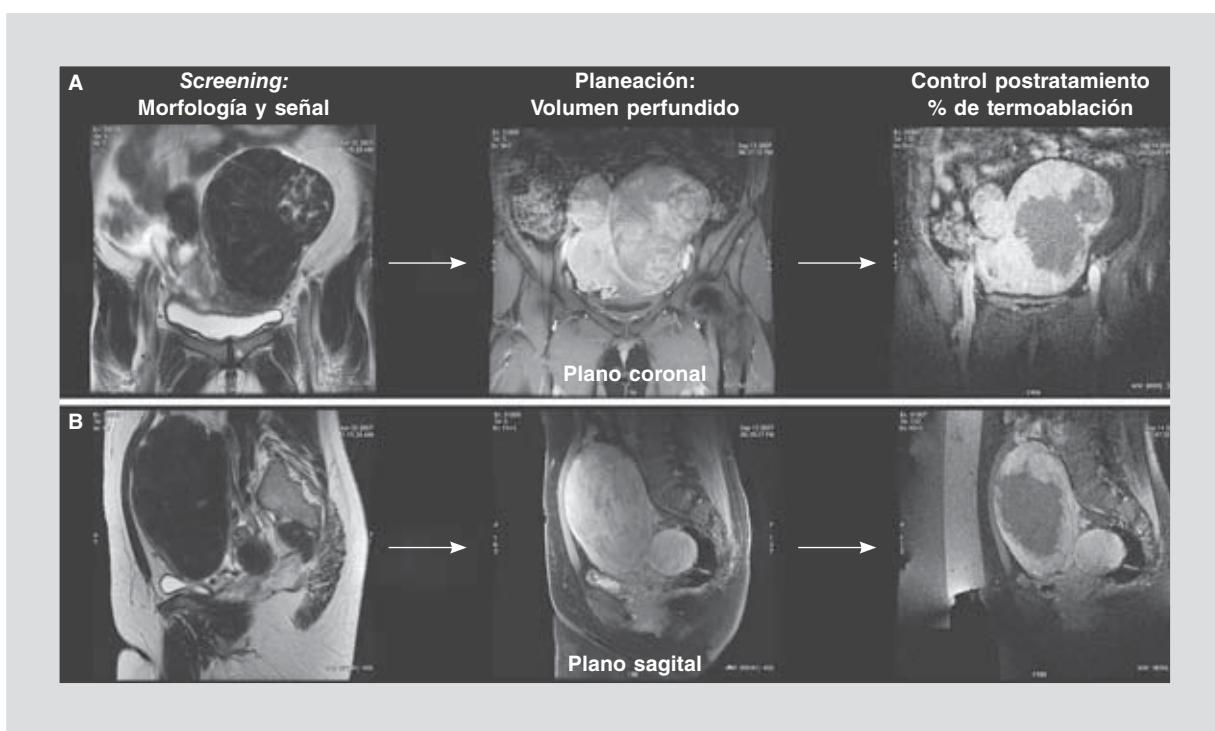


Figura 4. Mioma uterino gigante, transmural, tratado con RM. Se pueden observar las fases de caracterización con secuencia T2 (imágenes de la izquierda), determinación del volumen tratable con las secuencias T1 post-Gd (imágenes centrales) y determinación del volumen no perfundido (VNP), lo que traduce el porcentaje de termoablación, que se obtiene con una segunda adquisición de imágenes (secuencia T1 post-Gd) al final del tratamiento (imágenes de la derecha). **A:** plano coronal. **B:** plano sagital.

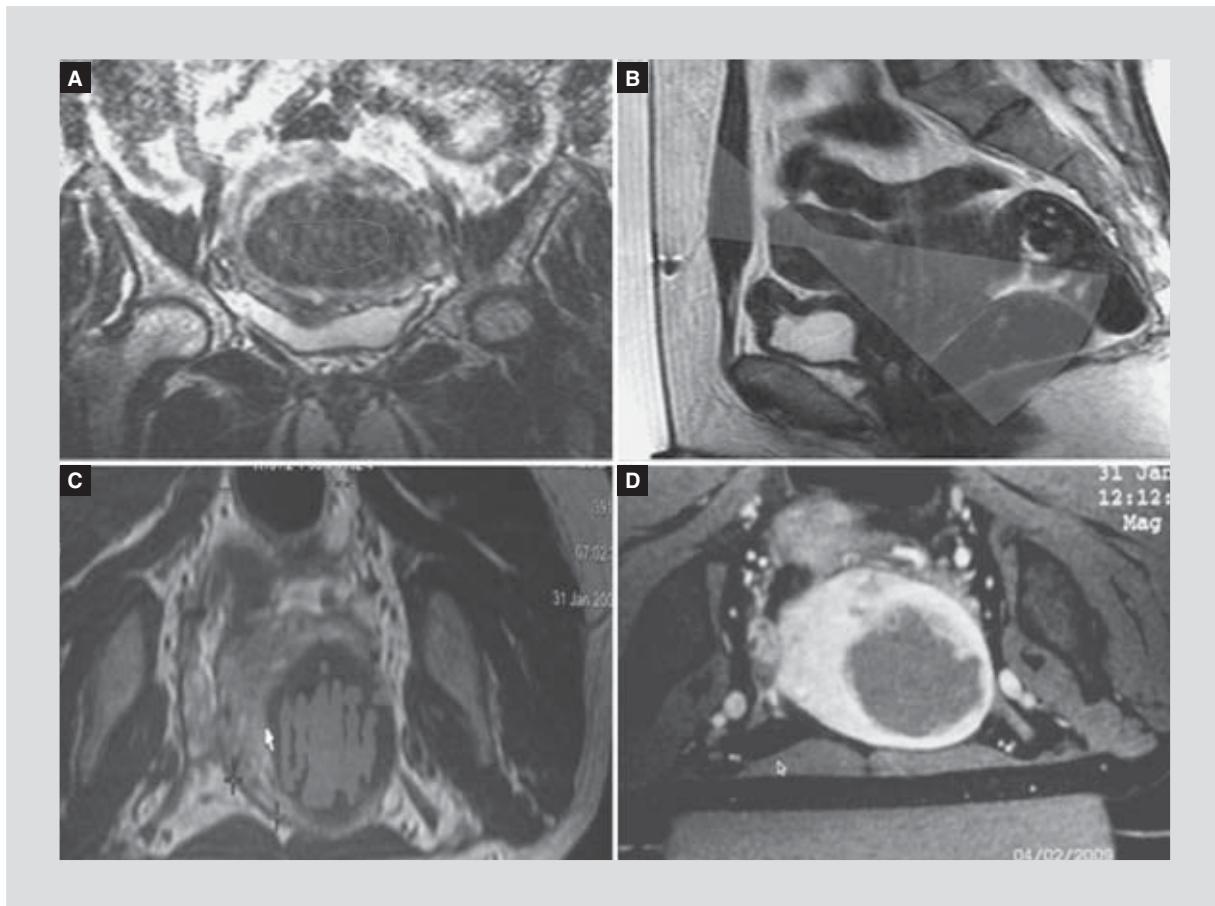


Figura 5. Monitoreo, control y evaluación del efecto de ablación térmica. **A:** imagen coronal con secuencia T2 que muestra la selección exacta del blanco tumoral. **B:** imagen sagital en T2 que muestra la concentración del rayo de US de alta energía. **C:** imagen axial en T2; el software para volumetría presenta la dosis termal acumulada. **D:** secuencia T1 poscontraste, donde se observa la zona no perfundida dentro del mioma tratado que documenta la seguridad y eficacia del tratamiento.

de contraste) se calculan al dibujar los contornos del área de interés utilizando software tridimensional a fin de calcular el volumen completo. Las áreas de necrosis inducida se miden manualmente al delinear los contornos de la nueva área que no muestra realce, se suman las áreas de los diferentes voxels incluidos en los cortes en un solo plano, el software integra estas mediciones con el grosor de corte para presentar el volumen completo de la zona blanca. Las figuras 4 y 5 muestran ejemplos de la selección de volúmenes para tratamiento y de las etapas del monitoreo, control y evaluación inmediata del efecto de ablación térmica. La tabla 2 presenta un resumen de las etapas en la evaluación y el tratamiento de pacientes con MRgFUS.

Limitaciones del procedimiento

Es importante conocer que la evaluación del tratamiento con MRgFUS no termina el día del procedimiento, sino

que se extiende a lo largo de un periodo de 6, 12 y hasta 24 meses de evaluaciones consecutivas de las características de volumen, señal y perfusión del mioma uterino, ya que la disminución en tamaño y en consecuencia la disminución de los síntomas se ha reportado que alcanza su máximo en un periodo de 9-18 meses.

A consideración del médico tratante se realizan las etapas de evaluación y tratamiento con MRgFUS en la primera semana con seguimientos al menos a los 6 y 12 meses (Tabla 2).

Ventajas del ultrasonido focalizado guiado con resonancia magnética con otros métodos de tratamiento

Las opciones de tratamiento para los miomas en la actualidad incluye la miomectomía, la histerectomía, la terapia hormonal, la embolización de la arteria uterina

Tabla 2. Etapas en la evaluación y tratamiento de pacientes con MRgFUS

Etapa	Tiempo de la evaluación	Tipo de imágenes adquiridas con RM	Mediciones obtenidas en cada etapa
Fase I	Mismo día o semana 1	Multiplanares T2 sin Gd	Volumen completo del mioma en T2
Fase II		Multiplanares T1 con Gd	Volumen de perfusión pretratamiento
Fase III		Multiplanares T1 con Gd, imágenes del tratamiento MRgFUS	Volumen no perfundido, porcentaje de termoablación
Fase IV	Evaluación a los 6 meses	Multiplanares T1 con Gd, T2 en plano sagital	Volumen completo del mioma en T2, (evidencia cambio en el volumen)
Fase V	Evaluación a los 12 meses	Multiplanares T1 con Gd, T2 en plano sagital	Volumen completo del mioma en T2, (evidencia cambio en el volumen)

Tabla 3. Ventajas y desventajas de los métodos actuales en el tratamiento de miomas uterinos

Método	Miomectomía histeroscópica	Miomectomía laparoscópica	Embolización de arterias uterinas	MRgFUS
Descripción	Resección quirúrgica del mioma por vía histeroscópica	Resección quirúrgica del mioma por vía laparoscópica	Embolización del mioma vía catéter intraarterial (radiología intervencionista)	Termoablación del mioma con US de alta energía guiado con RM
Lugar del procedimiento	Quirófano	Quirófano	Sala de angiografía	Interior del equipo de RM
Uso de radiación	No	No	Sí	No
Uso de contraste nefrotóxico	No	No	Contraste iónico	Contraste con Gd
Visualización de tejidos	Visualización del mioma submucoso	Visualización del útero	Visualización de estructuras vasculares con fluoroscopia	Visualización no invasiva y completa de la estructura de la pelvis
Disponibilidad	Hospitales de 3. ^{er} nivel	Hospitales de 3. ^{er} nivel	Hospitales de 3. ^{er} nivel con equipo para radiología intervencionista	Actualmente solo dos equipos instalados en América Latina (Méjico y Brasil)
Tiempo del procedimiento	1-2 horas	1-2 horas	1-2 horas	2-4 horas
Tiempo de recuperación	1 día	1 día	1 día	Paciente recibe el alta una hora después del tratamiento
Primeros reportes del procedimiento	1976	1970	1994	2003
Tipo de miomas que se pueden tratar	Submucosos	Subserosos, intramurales,	Subserosos, intramurales, submucosos	Subserosos con pedículo amplio, intramurales (incluidos aquellos con mínima extensión submucosa)
Capacidad de tratar miomas específicos	Sí	Sí	No es selectiva para miomas únicos	Sí

y la ablación térmica. Se han investigado distintos métodos de ablación térmica, incluyendo la crioterapia^{8,13,14} y la terapia láser intersticial percutánea^{6,15}.

La principal ventaja del MRgFUS es que permite observar toda la estructura de la pelvis y sus tejidos, así como caracterizar la histología del mioma por su señal durante el procedimiento. Es importante mencionar el tiempo de tratamiento de 2-3 horas, con un tiempo de uso de magneto unas 4-5 horas, y una estancia en la Unidad de RM de 6-8 horas. La paciente está despierta (sedación consciente) durante el procedimiento y se da de alta el mismo día, con lo que se reintegra a sus actividades al día siguiente. La capacidad de localizar la energía térmica del disparo sónico permite preservar el útero con la posibilidad de fertilidad futura. La tabla 3 presenta una comparación de los métodos actuales en el tratamiento de miomas uterinos.

Otras aplicaciones del ultrasonido focalizado guiado con resonancia magnética

Las aplicaciones quirúrgicas potenciales de la cirugía no invasiva con US llevan investigándose desde hace más de cinco décadas⁴; desde entonces, el US se ha probado extensamente en la cirugía para cerebro en animales^{16,17} y en humanos¹⁸. En los últimos 15 años se han desarrollado nuevos ensayos clínicos utilizando el US focalizado para cirugía no invasiva de la próstata, riñón, hígado y vejiga¹⁹⁻²² que han mostrado el potencial clínico de este método.

Conclusiones

El ultrasonido focalizado guiado con resonancia magnética es un método no invasivo que permite la ablación térmica local, y su uso en el tratamiento de miomas ha demostrado que es un procedimiento seguro. La imagen con RM permite guiar la planeación del tratamiento y la monitorización directa de la administración de los disparos sónicos, lo cual resulta en áreas bien definidas de desnaturización de proteínas del mioma (resultado de la ablación térmica) respetando los tejidos adyacentes. Este procedimiento, que ya

es utilizado en diferentes hospitales alrededor del mundo, se encuentra disponible en la Ciudad de México y puede ser una alternativa confiable a las terapias actuales.

Bibliografía

- Hesley GK, Gorny KR, Henrichsen TL, Woodrum DA, Brown DL. A clinical review of focused ultrasound ablation with magnetic resonance guidance: an option for treating uterine fibroids. *Ultrasound Q.* 2008; 24(2):131-9.
- Tempany CM, Stewart EA, McDannold N, Quade BJ, Jolesz FA, Hynynen K. MR imaging-guided focused ultrasound surgery of uterine leiomyomas: a feasibility study. *Radiology.* 2003;226(3):897-905.
- Stewart EA, Gedroyc WM, Tempany CM, et al. Focused ultrasound treatment of uterine fibroid tumors: safety and feasibility of a noninvasive thermoablative technique. *Am J Obstet Gynecol.* 2003;189(1):48-54.
- Fennelly FM, Tempany CM. MRI-guided focused ultrasound surgery of uterine leiomyomas. *Acad Radiol.* 2005;12(9):1158-66.
- Chung AH, Jolesz FA, Hynynen K. Thermal dosimetry of a focused ultrasound beam in vivo by magnetic resonance imaging. *Med Phys.* 1999; 26(9):2017-26.
- Law P, Gedroyc WM, Regan L. Magnetic resonance-guided percutaneous laser ablation of uterine fibroids. *J Magn Reson Imaging.* 2000; 12(4):565-70.
- Hynynen K, Vykhodtseva NI, Chung AH, Sorrentino V, Colucci V, Jolesz FA. Thermal effects of focused ultrasound on the brain: determination with MR imaging. *Radiology.* 1997;204(1):247-53.
- Jolesz FA, Hynynen K. Magnetic resonance image-guided focused ultrasound surgery. *Cancer J.* 2002;8 Suppl 1:S100-12.
- Wegienka G, Baird DD, Hertz-Pannier I, et al. Self-reported heavy bleeding associated with uterine leiomyomata. *Obstet Gynecol.* 2003; 101(3):431-7.
- McDannold N, Tempany CM, Fennelly FM, et al. Uterine leiomyomas: MR imaging-based thermometry and thermal dosimetry during focused ultrasound thermal ablation. *Radiology.* 2006;240(1):263-72.
- InSightec-Ltd. ExAblate Scar Patch. [Internet] Disponible en: www.insightec.com. Tirat Carmel, Israel, 2010.
- Lenard ZM, McDannold NJ, Fennelly FM, et al. Uterine leiomyomas: MR imaging-guided focused ultrasound surgery--imaging predictors of success. *Radiology.* 2008;249(1):187-94.
- Sewell PE, Arriola RM, Robinette L, Cowan BD. Real-time I-MR-imaging-guided cryoablation of uterine fibroids. *J Vasc Interv Radiol.* 2001; 12(7):891-3.
- Cowan BD, Sewell PE, Howard JC, Arriola RM, Robinette LG. Interventional magnetic resonance imaging cryotherapy of uterine fibroid tumors: preliminary observation. *Am J Obstet Gynecol.* 2002;186(6):1183-7.
- Hindley JT, Law PA, Hickey M, et al. Clinical outcomes following percutaneous magnetic resonance image guided laser ablation of symptomatic uterine fibroids. *Hum Reprod.* 2002;17(10):2737-41.
- Fry WJ, Barnard JW, Fry FJ, Brennan JF. Ultrasonically produced localized selective lesions in the central nervous system. *Am J Phys Med.* 1955;34(3):413-23.
- Lele PP. A simple method for production of trackless focal lesions with focused ultrasound: physical factors. *J Physiol.* 1962;160:494-512.
- Heimburger RF. Ultrasound augmentation of central nervous system tumor therapy. *Indiana Med.* 1985;78(6):469-76.
- Gelet A, Chapelon JY, Bouvier R, Pangaud C, Lasne Y. Local control of prostate cancer by transrectal high intensity focused ultrasound therapy: preliminary results. *J Urol.* 1999;161(1):156-62.
- Paterson RF, Barret E, Siqueira TM, Jr., et al. Laparoscopic partial kidney ablation with high intensity focused ultrasound. *J Urol.* 2003; 169(1):347-51.
- Yang R, Sanghvi NT, Rescorla FJ, et al. Extracorporeal liver ablation using sonography-guided high-intensity focused ultrasound. *Invest Radiol.* 1992;27(10):796-803.
- Watkin NA, Morris SB, Rivens IH, Woodhouse CR, ter Haar GR. A feasibility study for the non-invasive treatment of superficial bladder tumours with focused ultrasound. *Br J Urol.* 1996;78(5):715-21.