

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 767 580**

51 Int. Cl.:

A61N 7/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **25.09.2013 PCT/IB2013/058837**

87 Fecha y número de publicación internacional: **10.04.2014 WO14053950**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.09.2013 E 13808217 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.11.2019 EP 2903689**

54 Título: **Calentamiento reducido en regiones de campo cercano de solapamiento de ultrasonidos focalizados de alta intensidad**

30 Prioridad:

01.10.2012 US 201261708095 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

18.06.2020

73 Titular/es:

**PROFOUND MEDICAL INC. (100.0%)
2400 Skymark Avenue, Unit 6
Mississauga, ON L4W 5K5, CA**

72 Inventor/es:

TOLO, JAAKKO JUHANI

74 Agente/Representante:

VÁZQUEZ FERNÁNDEZ-VILLA, Concepción

ES 2 767 580 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Calentamiento reducido en regiones de campo cercano de solapamiento de ultrasonidos focalizados de alta intensidad

5

Campo técnico

La invención se refiere a ultrasonidos focalizados de alta intensidad guiados por resonancia magnética, en particular para reducir la deposición de la energía de ultrasonidos en las regiones de campo cercano de solapamiento de múltiples puntos de sonicación.

10

Antecedentes de la invención

Los ultrasonidos de un transductor ultrasónico focalizado pueden usarse para tratar selectivamente regiones en el interior del cuerpo. Las ondas ultrasónicas se transmiten como vibraciones mecánicas de alta energía. Estas vibraciones inducen el calentamiento tisular cuando se amortiguan, y también pueden conducir a cavitación. Tanto el calentamiento tisular como la cavitación pueden usarse para destruir tejido en un entorno clínico. Sin embargo, calentar tejido con ultrasonidos es más fácil de controlar que la cavitación. Los tratamientos ultrasónicos pueden usarse para extirpar tejidos y destruir regiones de células cancerosas selectivamente. Esta técnica se ha aplicado al tratamiento de fibromas uterinos y ha reducido la necesidad de intervenciones de histerectomía.

15

20

Para tratar selectivamente el tejido, puede usarse un transductor ultrasónico focalizado para focalizar el ultrasonido en un tratamiento particular o volumen objetivo. El transductor normalmente se monta dentro de un medio, tal como agua desgasificada, que puede transmitir ultrasonidos. Entonces se usan actuadores para ajustar la posición del transductor ultrasónico y de ese modo ajustar la región tisular que está tratándose.

25

Transductores ultrasónicos focalizados también tienen normalmente múltiples elementos de transductor, en los que pueden controlarse la amplitud y/o fase de los elementos de transductor. En particular la fase de elementos de transductor individuales o grupos de los mismos se controla a menudo para controlar la ubicación del foco del ultrasonido. Esto permite la rápida ubicación de ajuste del foco y la sonicación secuencial de diferentes puntos o ubicaciones de sonicación. El tejido de un sujeto entre el transductor y un punto de sonicación normalmente se denomina la región de campo cercano. El ultrasonido se desplaza a través de la región de campo cercano hasta el volumen de sonicación. Este tejido intermedio también se calienta, aunque no tanto como el volumen de sonicación. Cuando se sonicen múltiples puntos de sonicación, la región de campo cercano de los diferentes puntos de sonicación puede solaparse. Puesto que una parte particular de la región de campo cercano puede solaparse, puede calentarse múltiples veces. Para evitar el sobrecalentamiento de esta región de campo cercano de solapamiento, puede ser necesario que haya retrasos entre la sonicación de múltiples puntos de sonicación.

30

35

La solicitud de patente internacional WO 2006/018686 A1 da a conocer un sistema de tratamiento de tejido dentro de un cuerpo que incluye dirigir un transductor de ultrasonidos que tiene una pluralidad de elementos de transductor hacia tejido corporal objetivo, y suministrar energía de ultrasonidos hacia el tejido objetivo desde los elementos de transductor de manera que la intensidad de energía en el tejido objetivo sea igual o superior a un nivel de tratamiento prescrito, mientras que la intensidad de energía en tejido que va a protegerse en la trayectoria de la energía de ultrasonidos de los elementos de transductor sea igual a o inferior a un nivel de seguridad prescrito.

40

45

La solicitud de patente internacional WO 2011/080631 A2 da a conocer la planificación de la terapia ultrasónica focalizada de alta intensidad (HIFU) guiada por resonancia magnética (MR) de manera que se optimizan los parámetros del elemento de transductor de HIFU en función de los datos de MR 3D que describen el tamaño, la forma y la posición de una región de interés (ROI) y cualquier obstrucción entre los elementos de transductor de HIFU y la ROI. Las fases y amplitudes del elemento de transductor se ajustan para maximizar el suministro de radiación de la HIFU a la ROI, mientras se minimiza el suministro a la obstrucción. Adicional o alternativamente, los elementos de transductor se desactivan selectivamente si la obstrucción está situada entre la ROI y un elemento de transductor dado.

50

55

Sumario de la invención

La invención se refiere a un aparato médico y a un producto de programa informático que tienen las características de la reivindicación independiente respectiva. Las realizaciones preferidas constituyen el contenido de las reivindicaciones dependientes.

60

Tal como apreciará un experto en la técnica, pueden implementarse aspectos de la presente invención como un aparato o producto de programa informático. Por consiguiente, los aspectos de la presente invención pueden adoptar la forma de una realización completamente de hardware, o una realización que combina aspectos de software y hardware que en general puede denominarse en el presente documento "circuito", "módulo" o "sistema". Además, los aspectos de la presente invención pueden adoptar la forma de un producto de programa informático implementado en uno o más medio(s) legible(s) por ordenador que tienen código ejecutable por ordenador

65

implementado en el mismo/los mismos.

Puede utilizarse cualquier combinación de uno o más medio(s) legible(s) por ordenador. El medio legible por ordenador puede ser un medio de señal legible por ordenador o un medio de almacenamiento legible por ordenador. Un “medio de almacenamiento legible por ordenador” tal como se usa en el presente documento engloba cualquier medio de almacenamiento tangible que pueda almacenar instrucciones que son ejecutables por un procesador de un dispositivo informático. El medio de almacenamiento legible por ordenador puede denominarse un medio de almacenamiento no transitorio legible por ordenador. El medio de almacenamiento legible por ordenador también puede denominarse un medio legible por ordenador tangible. En algunas realizaciones, un medio de almacenamiento legible por ordenador puede ser capaz de almacenar datos a los que puede acceder el procesador del dispositivo informático. Los ejemplos de medios de almacenamiento legibles por ordenador incluyen, pero no se limitan a: un disco flexible, una unidad de disco duro magnético, un disco duro de estado sólido, memoria flash, una memoria USB, memoria de acceso aleatorio (RAM), memoria de solo lectura (ROM), un disco óptico, un disco magneto-óptico y el archivo de registro del procesador. Los ejemplos de discos ópticos incluyen discos compactos (CD) y discos versátiles digitales (DVD), por ejemplo discos CD-ROM, CD-RW, CDR, DVD-ROM, DVD-RW o DVD-R. El término medio de almacenamiento legible por ordenador también se refiere a diversos tipos de medios de grabación a los que puede acceder el dispositivo informático a través de una red o enlace de comunicación. Por ejemplo, un dato puede recuperarse a través de un módem, a través de Internet o a través de una red de área local. El código ejecutable por ordenador implementado en un medio legible por ordenador puede transmitirse usando cualquier medio apropiado, incluyendo pero sin limitarse a medio inalámbrico, por cable, cable de fibra óptica, RF, etc., o cualquier combinación adecuada de los anteriores.

Un medio de señal legible por ordenador puede incluir una señal de datos propagada con código ejecutable por ordenador implementado en ella, por ejemplo, en banda base o como parte de una onda portadora. Una señal propagada de este tipo puede adoptar cualquiera de una variedad de formas incluyendo, pero sin limitarse a, electromagnética, óptica o cualquier combinación adecuada de las mismas. Un medio de señal legible por ordenador puede ser cualquier medio legible por ordenador que no es un medio de almacenamiento legible por ordenador y que puede comunicar, propagar o transportar un programa para su uso por o en relación con un sistema, aparato o dispositivo de ejecución de instrucciones.

“Memoria informática” o “memoria” es un ejemplo de un medio de almacenamiento legible por ordenador. Memoria informática es cualquier memoria a la que puede acceder directamente un procesador. “Almacenamiento informático” o “almacenamiento” es un ejemplo adicional de un medio de almacenamiento legible por ordenador. Almacenamiento informático es cualquier medio de almacenamiento legible por ordenador no volátil. En algunas realizaciones, el almacenamiento informático también puede ser memoria informática o viceversa.

Un “procesador” tal como se usa en el presente documento engloba un componente electrónico que puede ejecutar un programa o instrucción ejecutable por máquina o código ejecutable por ordenador. Debe interpretarse que las referencias al dispositivo informático que comprende “un procesador” posiblemente contienen más de un procesador o núcleo de procesamiento. El procesador puede ser por ejemplo un procesador de múltiples núcleos. Un procesador también puede referirse a un conjunto de procesadores dentro de un solo sistema informático o distribuidos entre múltiples sistemas informáticos. El término dispositivo informático también debe interpretarse que se refiere posiblemente a un conjunto o una red de dispositivos informáticos que comprende cada uno un procesador o procesadores. El código ejecutable por ordenador puede ejecutarse por múltiples procesadores que pueden estar dentro del mismo dispositivo informático o que incluso pueden distribuirse a través de múltiples dispositivos informáticos.

El código ejecutable por ordenador puede comprender instrucciones ejecutables por máquina o un programa que hace que un procesador realice un aspecto de la presente invención. El código ejecutable por ordenador para llevar a cabo operaciones para aspectos de la presente invención puede estar escrito en cualquier combinación de uno o más lenguajes de programación, incluyendo un lenguaje de programación orientado a objetos tal como Java, Smalltalk, C++ o similares y lenguajes de programación por procedimiento convencionales, tales como el lenguaje de programación “C” o lenguajes de programación similares y compilados en instrucciones ejecutables por máquina. En algunos casos, el código ejecutable por ordenador puede estar en forma de un lenguaje de alto nivel o en una forma compilada previamente y puede usarse conjuntamente con un intérprete que genera las instrucciones ejecutables por máquina sobre la marcha.

El código ejecutable por ordenador puede ejecutarse en su totalidad en el ordenador del usuario, parcialmente en el ordenador del usuario, como un paquete de software independiente, parcialmente en el ordenador del usuario y parcialmente en un ordenador remoto o en su totalidad en el ordenador o servidor remoto. En este último caso, el ordenador remoto puede estar conectado al ordenador del usuario a través de cualquier tipo de red, incluyendo una red de área local (LAN) o una red de área amplia (WAN), o la conexión puede realizarse a un ordenador externo (por ejemplo, a través de Internet usando un proveedor de servicios de Internet).

Los aspectos de la presente invención se describen con referencia a ilustraciones de diagrama de flujo y/o diagramas de bloques de métodos, aparato (sistemas) y productos de programa informático según realizaciones de

la invención. Se entenderá que cada bloque o una parte de los bloques del diagrama de flujo, las ilustraciones y/o los diagramas de bloques, puede implementarse mediante instrucciones de programa informático en forma de código ejecutable por ordenador cuando sea aplicable. Se entiende además que, cuando no son mutuamente excluyentes, pueden combinarse combinaciones de bloques en diferentes diagramas de flujo, ilustraciones y/o diagramas de bloques. Estas instrucciones de programa informático pueden proporcionarse a un procesador de un ordenador de uso general, un ordenador de uso especial u otro aparato de procesamiento de datos programable para producir una máquina, de manera que las instrucciones, que se ejecutan a través del procesador del ordenador u otro aparato de procesamiento de datos programable, crean medios para implementar las funciones/actos especificados en el bloque o bloques del diagrama de bloques y/o diagrama de flujo.

Estas instrucciones de programa informático también pueden almacenarse en un medio legible por ordenador que puede dirigir un ordenador, otro aparato de procesamiento de datos programable u otros dispositivos para que funcionen de una manera particular, de modo que las instrucciones almacenadas en el medio legible por ordenador produzcan un artículo de fabricación incluyendo instrucciones que implementan la función/acción especificada en el bloque o bloques del diagrama de bloques y/o diagrama de flujo.

Las instrucciones de programa informático también pueden cargarse en un ordenador, otro aparato de procesamiento de datos programable u otros dispositivos para hacer que se realice una serie de etapas de funcionamiento en el ordenador, otro aparato programable u otros dispositivos para producir un procedimiento implementado por ordenador, de manera que las instrucciones que se ejecutan en el ordenador u otro aparato programable proporcionen procedimientos para implementar las funciones/acciones especificadas en el bloque o bloques del diagrama de bloques y/o diagrama de flujo.

Una "interfaz de usuario", tal como se usa en el presente documento, es una interfaz que permite que un usuario u operario interactúe con un ordenador o sistema informático. Una "interfaz de usuario" también puede denominarse un "dispositivo de interfaz humana". Una interfaz de usuario puede proporcionar información o datos al operario y/o recibir información o datos del operario. Una interfaz de usuario puede permitir que el ordenador reciba la entrada de un operario y puede proporcionar salida al usuario desde el ordenador. Dicho de otro modo, la interfaz de usuario puede permitir que un operario controle o manipule un ordenador y la interfaz puede permitir que el ordenador indique los efectos del control o la manipulación del operario. La visualización de los datos o la información en un visualizador o interfaz gráfica de usuario es un ejemplo de proporcionar información a un operario. La recepción de datos a través de un teclado, ratón, bola de seguimiento, panel táctil, palanca apuntadora, tableta gráfica, palanca de mando, controlador para juegos, cámara web, auriculares, palanca de cambios, volante, pedales, guante con cable, alfombra de baile, control remoto, y acelerómetro son todos ellos ejemplos de componentes de interfaz de usuario que permiten recibir información o datos de un operario.

Una "interfaz de hardware", tal como se usa en el presente documento, engloba una interfaz que permite que el procesador de un sistema informático interactúe con y/o controle un dispositivo y/o aparato informático externo. Una interfaz de hardware puede permitir que un procesador envíe señales o instrucciones de control a un dispositivo y/o aparato informático externo. Una interfaz de hardware también puede permitir que un procesador intercambie datos con un dispositivo y/o aparato informático externo. Los ejemplos de una interfaz de hardware incluyen, pero no se limitan a: un bus de serie universal, puerto IEEE 1394, puerto paralelo, puerto IEEE 1284, puerto en serie, puerto RS-232, puerto IEEE-488, conexión Bluetooth, conexión de red de área local inalámbrica, conexión TCP/IP, conexión de Ethernet, interfaz de tensión de control, interfaz MIDI, interfaz de entrada analógica e interfaz de entrada digital.

Un "visualizador" o "dispositivo de visualización" tal como se usa en el presente documento engloba un dispositivo de salida o una interfaz de usuario adaptada para visualizar imágenes o datos. Un visualizador puede presentar datos visuales, de audio o táctiles. Los ejemplos de un visualizador incluyen, pero no se limitan a: un monitor de ordenador, una pantalla de televisión, una pantalla táctil, un visualizador electrónico táctil, pantalla de Braille, tubo de rayos catódicos (CRT), tubo de almacenamiento, visualizador biestable, papel electrónico, visualizador vectorial, visualizador de panel plano, visualizador fluorescente de vacío (VF), visualizadores de diodo emisor de luz (LED), visualizador electroluminescente (ELD), paneles de visualización de plasma (PDP), visualizador de cristal líquido (LCD), visualizadores de diodo emisor de luz orgánicos (OLED), un proyector y un visualizador de realidad virtual.

Una "ventana de ultrasonidos" tal como se usa en el presente documento engloba una ventana que puede transmitir energía u ondas ultrasónicas. Normalmente se usa una membrana o película delgada como ventana de ultrasonidos. La ventana de ultrasonidos puede estar compuesta, por ejemplo, por una membrana delgada de BoPET (poli(tereftalato de etileno) orientado biaxialmente).

En un aspecto la invención proporciona un aparato médico que comprende un sistema de ultrasonidos focalizados de alta intensidad. El sistema de ultrasonidos focalizados de alta intensidad comprende un transductor de ultrasonidos con múltiples elementos de transductor para focalizar ultrasonido en un volumen de sonicación. Hay una región de campo cercano entre el transductor ultrasónico y el volumen de sonicación. Es decir que el transductor de ultrasonidos puede hacerse funcionar para generar una región de campo cercano cuando se focaliza el ultrasonido en el volumen de sonicación. Una región de campo cercano, tal como se usa en el presente

documento, engloba una región a través de la cual pasa ultrasonido en su camino hacia el volumen de sonicación o punto focal. Como el ultrasonido también pasa a través de la región de campo cercano, se calienta, pero no tanto como dentro del volumen de sonicación. Los múltiples elementos de transductor pueden controlarse en grupos. Los elementos de transductor pueden controlarse de manera que puede cambiarse la fase y/o amplitud de elementos de transductor individuales o de un grupo de elementos. Por ejemplo, la fase puede usarse para cambiar la posición del foco. También puede cambiarse la amplitud de elementos de transductor individuales o grupos de elementos de transductor. Como tales, los elementos de transductor individuales o grupos de ellos también pueden desactivarse por completo.

El aparato médico comprende además una memoria para almacenar instrucciones ejecutables por máquina. El aparato médico comprende además un procesador para controlar el aparato médico. La ejecución de las instrucciones hace que el procesador reciba datos de ubicación descriptivos de múltiples puntos de sonicación. Los datos de ubicación son esencialmente datos que describen la ubicación de múltiples puntos de sonicación. Estos son puntos que han de sonicarse moviendo el volumen de sonicación hasta dentro del punto de sonicación. Los datos de ubicación podrían recibirse, por ejemplo de: un plan de tratamiento, un sistema de obtención de imágenes médicas, una entrada manual, y combinaciones de los mismos.

La ejecución de las instrucciones hace además que el procesador determine una trayectoria de sonicación para cada uno de los múltiples puntos de sonicación usando un modelo de elemento de transductor geométrico. La trayectoria de sonicación es una aproximación grosera o aproximación de la trayectoria que tomará el ultrasonido para alcanzar cada uno de los múltiples puntos de sonicación. La trayectoria de sonicación puede crearse con un modelo geométrico sencillo para cada uno de los elementos de transductor o grupos de elementos de transductor o también puede usar un método de trazado de rayos.

La ejecución de las instrucciones hace además que el procesador detecte una región de solapamiento usando la trayectoria de sonicación para cada uno de los múltiples puntos de sonicación. La región de solapamiento indica un solapamiento de la trayectoria de sonicación de dos o más puntos de sonicación en la región de campo cercano. Normalmente, el transductor de ultrasonidos tiene una forma cóncava y los elementos de transductor de ultrasonidos están dirigidos de manera que todos se focalicen aproximadamente en un volumen de sonicación o punto focal particular. La región de campo cercano termina siendo significativamente más grande que el volumen de sonicación. Si los volúmenes de sonicación son adyacentes entre sí o están dentro de una distancia predeterminada particular, las partes de la región de campo cercano pueden solaparse. Tal como se mencionó anteriormente, el desplazamiento de ultrasonidos a través de la región de campo cercano tiene el efecto de calentar regiones de tejido. Si las regiones de campo cercano se solapan en puntos de sonicación que se sonican, entonces es posible que determinadas regiones de campo cercano se calienten más de una vez. Esto puede conducir a calentamiento no deseado de la región de campo cercano, lo que puede ser peligroso para el sujeto.

La ejecución de las instrucciones hace además que el procesador determine comandos de control del transductor usando la región de solapamiento. Los comandos de control del transductor pueden operarse para controlar los múltiples elementos de transductor para reducir la deposición de energía ultrasónica en la región de solapamiento durante la sonicación de los dos o más puntos de sonicación. Simplemente, la amplitud y/o fase de la potencia ultrasónica suministrada a los transductores ultrasónicos se modifica de manera que se reduce la trayectoria que toma el ultrasonido en la región de solapamiento. Esto puede incluir desconectar elementos de transductor individuales o un grupo de elementos de transductor o puede implicar reducir la amplitud durante la sonicación de uno o más de los puntos de sonicación. Hay diferentes modos en que puede optimizarse esto.

La ejecución de las instrucciones hace además que el sistema de ultrasonidos focalizados de alta intensidad sonique secuencialmente los múltiples puntos de sonicación usando los comandos de control del transductor. Los comandos de control del transductor hacen que el sistema de ultrasonidos focalizados de alta intensidad soniquen secuencialmente los múltiples puntos de sonicación. Esta realización puede tener el beneficio de limitar la dosis térmica en el campo cercano. Esto puede tener el beneficio de que el haz de ultrasonidos producido por el transductor de ultrasonidos tiene forma de haz. Esto puede significar que con el fin de sonicar los múltiples puntos de sonicación, hay menos tiempo de espera porque las regiones de solapamiento no se calientan o se calientan menos que si no se pusiera en práctica si la invención.

En otra realización, la ejecución de las instrucciones hace además que el procesador reciba un mapa actual de propiedad térmica descriptivo de una propiedad térmica en la región de campo cercano. El mapa de propiedad térmica podría determinarse o bien usando una técnica de obtención de imágenes médicas tal como obtención de imágenes por resonancia magnética térmica o bien puede crearse mediante un modelo que usa datos de sonicaciones previas para crear el mapa de propiedad térmica. La ejecución de las instrucciones hace además que el procesador calcule un mapa previsto de propiedad térmica de la propiedad térmica usando los comandos de control del transductor y un modelo térmico de transductor. El modelo térmico de transductor puede ser por ejemplo un modelo acústico térmico que se usa para predecir el cambio en la temperatura provocada por la sonicación de los múltiples puntos de sonicación con los comandos de control del transductor.

La ejecución de las instrucciones hace además que el procesador determine comandos de control del transductor

5 corregidos usando el mapa previsto de propiedad térmica. Los comandos de control del transductor corregidos pueden operarse para controlar los múltiples elementos de transductor. Las instrucciones hacen que el procesador use los comandos de control del transductor corregidos para controlar el sistema de ultrasonidos focalizados de alta intensidad durante la sonicación secuencial de los múltiples puntos de sonicación. En esta realización, el mapa actual de propiedad térmica describe una propiedad térmica actual de la región de campo cercano. Esto se usa para determinar mejor el efecto de la sonicación de los múltiples puntos de sonicación. Por ejemplo, si el mapa actual de propiedad térmica es un mapa de temperatura, los comandos de control del transductor corregidos pueden operarse para controlar los múltiples elementos de transductor para limitar la temperatura en la región de campo cercano a un umbral predeterminado. Esto puede impedir el daño al sujeto en la región de campo cercano. Un mapa actual de propiedad térmica y un mapa previsto de propiedad térmica son ambos mapas tridimensionales de una propiedad térmica de un sujeto en la región de campo cercano.

15 También se puede usar una alternativa a un mapa de temperatura, el mapa de propiedad térmica, para minimizar la temperatura sin un umbral para acortar el tiempo de enfriamiento. Además, la dosis térmica calculada a partir de los mapas de temperatura o bien medida o bien predicha con simulaciones, puede usarse como la medida limitante en lugar de la temperatura.

20 En otra realización, la ejecución de las instrucciones hace además que el procesador reciba una dosis térmica previa. La dosis térmica previa es descriptiva de una dosis térmica provocada por una sonicación anterior usando el sistema de ultrasonidos focalizados de alta intensidad. El mapa actual de propiedad térmica y/o el mapa previsto de propiedad térmica se determinan al menos parcialmente usando la dosis térmica previa. Esta realización puede ser beneficiosa porque puede ser útil predecir el efecto futuro de los múltiples puntos de sonicación sobre la necrosis o el daño tisular dentro de la región de campo cercano.

25 Los datos de resonancia magnética (MR) se definen en el presente documento como las mediciones registradas de señales de radiofrecuencia emitidas por espines atómicos por la antena de un aparato de resonancia magnética durante una exploración de obtención de imágenes por resonancia magnética. Una imagen de obtención de imágenes por resonancia magnética (MRI) se define en el presente documento como la visualización bi o tridimensional reconstruida de datos anatómicos contenidos dentro de los datos de obtención de imágenes por resonancia magnética. Esta visualización puede realizarse usando un ordenador.

35 Los datos de termometría por MR se definen en el presente documento como las mediciones registradas de señales de radiofrecuencia emitidas por espines atómicos por la antena de un aparato de resonancia magnética durante una exploración de obtención de imágenes por resonancia magnética que contiene información que puede usarse para la termometría por resonancia magnética. La termometría por resonancia magnética funciona midiendo cambios en parámetros sensibles a la temperatura. Ejemplos de parámetros que pueden medirse durante la termometría por resonancia magnética son: el cambio de frecuencia de resonancia de protones, el coeficiente de difusión, o pueden usarse los cambios en el tiempo de relajación T1 y/o T2 para medir la temperatura usando resonancia magnética. El cambio de la frecuencia de resonancia de protones depende de la temperatura, porque el campo magnético que experimentan los protones individuales, los átomos de hidrógeno, depende de la estructura molecular circundante. Un aumento en la temperatura, disminuye la detección molecular debido a la temperatura que afecta a los enlaces de hidrógeno. Esto conduce a una dependencia de la temperatura de la frecuencia resonante del protón.

45 La densidad de protones depende linealmente de la magnetización de equilibrio. Por tanto, es posible determinar cambios de temperatura usando imágenes ponderadas por densidad de protones.

50 Los tiempos de relajación T1, T2 y T2-asterisco (en ocasiones escrito como T2*) también dependen de la temperatura. Por tanto, puede usarse la reconstrucción de imágenes ponderadas por T1, T2 y T2-asterisco para construir mapas térmicos o de temperatura.

La temperatura también afecta al movimiento browniano de las moléculas en una disolución acuosa. Por tanto, pueden usarse secuencias de pulso que pueden medir coeficientes de difusión tales como un eco de espín de gradiente de difusión pulsado para medir la temperatura.

55 Uno de los métodos más útiles de medición de la temperatura usando resonancia magnética es midiendo el desplazamiento de la frecuencia de resonancia de protones (PRF) de los protones del agua. La frecuencia resonante de los protones depende de la temperatura. A medida que la temperatura cambia en un vóxel, el cambio de frecuencia hará que cambie la fase medida de los protones del agua. Por tanto, puede determinarse el cambio de temperatura entre imágenes de dos fases. Este método de determinación de la temperatura tiene la ventaja de que es relativamente rápido en comparación con los otros métodos. El método de PRF se comenta en mayor detalle que otros métodos en este documento. Sin embargo, los métodos y técnicas comentados en el presente documento también pueden aplicarse a los otros métodos para realización de termometría con obtención de imágenes por resonancia magnética.

65 En otra realización, el aparato médico comprende además un sistema de obtención de imágenes por resonancia magnética para adquirir datos de resonancia magnética térmica. La ejecución de las instrucciones hace además que

el procesador adquiera los datos de resonancia magnética térmica. La ejecución de las instrucciones hace además que el procesador calcule el mapa actual de propiedad térmica usando al menos parcialmente los datos de resonancia magnética térmica. Los datos de resonancia magnética térmica podrían haberse adquirido durante o tras la sonicación anterior.

5 En otra realización, la ejecución de las instrucciones hace además que el procesador calcule el mapa actual de propiedad térmica usando el modelo térmico de transductor y un conjunto de comandos de control del transductor previos. El modelo térmico y la termometría por resonancia magnética podrían usarse en combinación con el modelado en algunas realizaciones.

10 En otra realización, la ejecución de las instrucciones hace además que el procesador reciba repetidamente los datos de ubicación descriptivos de los múltiples puntos de sonicación. La ejecución de las instrucciones hace además que el procesador determine repetidamente la trayectoria de sonicación para cada uno de los múltiples puntos de sonicación usando el modelo de elemento de transductor geométrico. La ejecución de las instrucciones hace además que el procesador detecte repetidamente una región de solapamiento usando la trayectoria de sonicación para cada uno de los múltiples puntos de sonicación. La región de solapamiento indica un solapamiento de la trayectoria de sonicación de dos o más puntos de sonicación en la región de campo cercano. La ejecución de las instrucciones hace además que el procesador determine repetidamente los comandos de control del transductor que pueden operarse para controlar los múltiples elementos de transductor para reducir la deposición de energía ultrasónica en la región de solapamiento durante la sonicación de los dos o más puntos de sonicación. La ejecución de las instrucciones hace además que el procesador controle repetidamente el sistema de ultrasonidos focalizados de alta intensidad para sonicar secuencialmente los múltiples puntos de sonicación usando los comandos de control del transductor. En resumen, en esta realización, las acciones realizadas por el procesador se realizan repetidamente. Esto puede ser beneficioso porque puede haber múltiples grupos de puntos de sonicación que se tratan en el transcurso del uso del aparato médico en un sujeto.

25 En otra realización, la ejecución de las instrucciones hace además que el procesador reciba repetidamente el mapa actual de propiedad térmica. La ejecución de las instrucciones hace además que el procesador calcule repetidamente el mapa previsto de propiedad térmica usando los comandos de control del transductor y el modelo térmico de transductor. La ejecución de las instrucciones hace además que el procesador determine repetidamente los comandos de control del transductor corregidos usando el mapa previsto de propiedad térmica. La ejecución de las instrucciones hace además que el procesador controle repetidamente el sistema de ultrasonidos focalizados de alta intensidad para sonicar secuencialmente los múltiples puntos de sonicación usando los comandos de control del transductor.

35 En otra realización se controlan los múltiples elementos de transductor para reducir la deposición de energía ultrasónica en la región de solapamiento durante la sonicación de los dos o más puntos de sonicación usando uno cualquiera de lo siguiente: desconectar selectivamente una primera parte de los múltiples elementos de transductor, reducir selectivamente la amplitud de energía ultrasónica generada por una segunda parte de los múltiples elementos de transductor, y combinaciones de los mismos. Las partes primera y segunda de los múltiples elementos de transductor pueden ser uno o más elementos de transductor individuales o también pueden ser grupos de elementos de transductor.

40 En otra realización, cada uno de los múltiples elementos de transductor puede controlarse individualmente.

45 En otra realización, las propiedades térmicas son una cualquiera de las siguientes: temperatura, temperatura máxima, dosis térmica, tiempo de enfriamiento, y combinaciones de los mismos.

50 En otro aspecto, la invención proporciona un producto de programa informático que comprende instrucciones ejecutables por máquina para su ejecución por un procesador que controla el aparato médico. El aparato médico comprende un sistema de ultrasonidos focalizados de alta intensidad que comprende un transductor de ultrasonidos con múltiples elementos de transductor para focalizar ultrasonido en un volumen de sonicación. Hay una región de campo cercano entre el transductor ultrasónico y el volumen de sonicación. Los múltiples elementos de transductor pueden controlarse en grupos. La ejecución de las instrucciones hace que el procesador reciba datos de ubicación descriptivos de los múltiples puntos de sonicación. La ejecución de las instrucciones hace además que el procesador determine una trayectoria de sonicación para cada uno de los múltiples puntos de sonicación usando un modelo de elemento de transductor geométrico. La ejecución de las instrucciones hace además que el procesador detecte una región de solapamiento usando la trayectoria de sonicación para cada uno de los múltiples puntos de sonicación. La región de solapamiento indica un solapamiento de la trayectoria de sonicación de dos o más puntos de sonicación en la región de campo cercano.

60 La ejecución de las instrucciones hace además que el procesador determine comandos de control del transductor usando la región de solapamiento. Los comandos de control del transductor pueden operarse para controlar los múltiples elementos de transductor para reducir la deposición de energía ultrasónica en la región de solapamiento durante la sonicación de los dos o más puntos de sonicación. La ejecución de las instrucciones hace además que el procesador controle el sistema de ultrasonidos focalizados de alta intensidad para sonicar secuencialmente los

múltiples puntos de sonicación usando los comandos de control del transductor. La ejecución de las instrucciones hace además que el procesador reciba un mapa actual de propiedad térmica descriptivo de una propiedad térmica en la región de campo cercano.

5 La ejecución de las instrucciones hace además que el procesador calcule un mapa previsto de propiedad térmica de la propiedad térmica usando los comandos de control del transductor y un modelo térmico de transductor. La ejecución de las instrucciones hace además que el procesador determine comandos de control del transductor corregidos usando el mapa previsto de propiedad térmica. Los comandos de control del transductor corregidos pueden operarse para controlar los múltiples elementos de transductor. Las instrucciones hacen que el procesador use los comandos de control del transductor corregidos para controlar el sistema de ultrasonidos focalizados de alta intensidad durante la sonicación secuencial de los múltiples puntos de sonicación.

15 En otra realización, la ejecución de las instrucciones hace además que el procesador reciba una dosis térmica previa. La dosis térmica previa es descriptiva de la dosis térmica provocada por una sonicación anterior usando un sistema de ultrasonidos focalizados de alta intensidad. El mapa actual de propiedad térmica y/o el mapa previsto de propiedad térmica se determinan al menos parcialmente usando la dosis térmica previa.

20 En otra realización, el aparato médico comprende además un sistema de obtención de imágenes por resonancia magnética para adquirir datos de resonancia magnética térmica. La ejecución de las instrucciones hace además que el procesador adquiera los datos de resonancia magnética térmica. La ejecución de las instrucciones hace además que el procesador calcule el mapa actual de propiedad térmica usando al menos parcialmente los datos de resonancia magnética térmica.

25 En otra realización, el aparato médico comprende un sistema de ultrasonidos focalizados de alta intensidad que comprende un transductor de ultrasonidos con múltiples elementos de transductor para focalizar ultrasonido en un volumen de sonicación. Hay una región de campo cercano entre el transductor ultrasónico y el volumen de sonicación. Los múltiples elementos de transductor pueden controlarse en grupos. El aparato comprende un procesador. El procesador comprende la instrucción de recibir datos de ubicación descriptivos de múltiples puntos de sonicación. El procesador comprende además la instrucción de determinar una trayectoria de sonicación para cada uno de los múltiples puntos de sonicación usando un modelo de elemento de transductor geométrico.

35 El procesador comprende además la instrucción de detectar una región de solapamiento usando la trayectoria de sonicación para cada uno de los múltiples puntos de sonicación. La región de solapamiento indica un solapamiento de la trayectoria de sonicación de dos o más puntos de sonicación en la región de campo cercano. El procesador comprende además la instrucción de determinar comandos de control del transductor usando la región de solapamiento. Los comandos de control del transductor pueden operarse para controlar los múltiples elementos de transductor para reducir la deposición de energía ultrasónica en la región de solapamiento durante la sonicación de los dos o más puntos de sonicación. El procesador comprende además la instrucción de controlar el sistema de ultrasonidos focalizados de alta intensidad para sonicar secuencialmente los múltiples puntos de sonicación usando los comandos de control del transductor.

Breve descripción de los dibujos

45 A continuación se describirán realizaciones preferidas de la invención, a modo de ejemplo únicamente, y con referencia a los dibujos, en los que:

la figura 1 muestra un diagrama de flujo que ilustra un ejemplo de un método;

50 la figura 2 muestra un ejemplo de un aparato médico;

la figura 3 muestra dos vistas de un transductor ultrasónico en una primera posición y una segunda posición;

la figura 4 muestra un ejemplo adicional de un aparato médico; y

55 la figura 5 muestra un ejemplo adicional de un aparato médico.

Descripción detallada de las realizaciones

60 Los elementos numerados igual en estas figuras o bien son elementos equivalentes o bien realizan la misma función. Los elementos que se han comentado previamente no se comentarán necesariamente en las figuras posteriores si la función es equivalente.

65 La figura 1 muestra un diagrama de flujo que ilustra un método según un ejemplo. En la etapa 100, se reciben datos de ubicación descriptivos de múltiples puntos de sonicación. A continuación en la etapa 102, se determina una trayectoria de sonicación para cada uno de los múltiples puntos de sonicación usando un modelo de elemento de transductor geométrico. A continuación en la etapa 104, se detecta una región de solapamiento usando la trayectoria

de sonicación para cada uno de los múltiples puntos de sonicación. La región de solapamiento indica un solapamiento de la trayectoria de sonicación de dos o más puntos de sonicación en la región de campo cercano. En algunas realizaciones, puede detectarse más de una región de solapamiento. A continuación en la etapa 106, se determinan o se generan comandos de control del transductor que pueden operarse para controlar los múltiples

5 elementos de transductor para reducir la deposición de energía ultrasónica en la región de solapamiento durante la sonicación de los dos o más puntos de sonicación. Y finalmente en la etapa 108, se controla el sistema de ultrasonidos focalizados de alta intensidad usando los comandos de control del transductor para sonicar secuencialmente los múltiples puntos de sonicación.

10 La figura 2 ilustra un ejemplo de un aparato 200 médico. Se muestra un sujeto 202 reposando sobre un soporte 204 de sujeto. El aparato 200 médico comprende un sistema 206 de ultrasonidos focalizados de alta intensidad. El sistema 206 de ultrasonidos focalizados de alta intensidad comprende una cámara 208 llena de fluido. Dentro de la cámara 208 llena de fluido hay un transductor 210 de ultrasonidos. Aunque no se muestra en esta figura, el transductor 210 de ultrasonidos comprende múltiples elementos de transductor de ultrasonidos que pueden generar

15 cada uno un haz de ultrasonido individual. Esto puede usarse para dirigir la ubicación de un volumen 222 de sonicación de manera electrónica controlando la fase y/o amplitud de la corriente eléctrica alterna suministrada a cada uno de o a grupos de elementos de transductor de ultrasonidos. El punto 222 representa el foco ajustable del aparato 200 médico.

20 El transductor 210 de ultrasonidos está conectado a un mecanismo 212 que permite que el transductor 210 de ultrasonidos se recolocue mecánicamente. El mecanismo 212 está conectado a un accionador 214 mecánico que está adaptado para accionar el mecanismo 212. El accionador 212 mecánico también representa una fuente de alimentación para suministrar alimentación eléctrica al transductor 210 de ultrasonidos. En algunas realizaciones, la fuente de alimentación puede controlar la fase y/o amplitud de la potencia eléctrica a los elementos de transductor

25 de ultrasonidos individuales.

El transductor 210 de ultrasonidos genera ultrasonido que se muestra que sigue la trayectoria 216. El ultrasonido 216 atraviesa la cámara 208 llena de fluido y atraviesa una ventana 218 de ultrasonido. En esta realización, el ultrasonido atraviesa entonces una almohadilla 220 de gel. La almohadilla 220 de gel no está presente necesariamente en todas las realizaciones, pero en esta realización hay un rebaje en el soporte 204 de sujeto para

30 alojar una almohadilla 220 de gel. La almohadilla 220 de gel ayuda a acoplar la potencia ultrasónica entre el transductor 210 y el sujeto 202. Tras pasar a través de la almohadilla 220 de gel, el ultrasonido 216 pasa a través de una región 217 de campo cercano del sujeto 202 y entonces se focaliza a un volumen 222 de sonicación o zona objetivo.

35 El volumen 222 de sonicación puede moverse a través de una combinación de colocar mecánicamente el transductor 210 ultrasónico y dirigir electrónicamente la posición del volumen 222 de sonicación.

Ubicados dentro del sujeto 204, hay cuatro puntos 224, 226, 228, 230 de sonicación que son visibles. El volumen 222 de sonicación puede moverse sobre cada uno de los puntos 224, 226, 228, 230 de sonicación mediante una combinación de dirección electrónica o mecánica del volumen 222 de sonicación. Las líneas 216 indican la trayectoria aproximada del ultrasonido desde el transductor 210 de ultrasonidos hasta el volumen 222 de sonicación. A partir de esta figura es obvio que si el volumen 222 de sonicación se mueve hacia cada uno de los puntos 224,

40 226, 228, 230 de sonicación, las regiones de la región 217 de campo cercano se calentarán más de una vez. El sistema 206 de ultrasonidos focalizados de alta intensidad se muestra conectado a una interfaz 242 de hardware del sistema 240 informático.

El ordenador 240 comprende además un procesador 244, una interfaz 246 de usuario, almacenamiento 248 informático y memoria 250 informática. La interfaz 242 de hardware permite que el procesador 244 envíe y reciba comandos y datos con el fin de controlar el funcionamiento del aparato 200 médico. El procesador 244 está conectado además a la interfaz 246 de usuario, el almacenamiento 248 informático y la memoria 250 informática.

50

Se muestra que el almacenamiento 248 informático contiene datos 252 de ubicación. Los datos 252 de ubicación son descriptivos de la ubicación de los puntos 224, 226, 228, 230 de sonicación. Se muestra además que el almacenamiento 248 informático contiene una trayectoria 254 de sonicación que se ha calculado para cada uno de los puntos 224, 226, 228, 230 de sonicación. El almacenamiento 248 informático se muestra conteniendo además datos 256 de la región de solapamiento. Los datos 256 de la región de solapamiento contienen datos de solapamientos de la trayectoria 254 de sonicación en la región 217 de campo cercano. Se muestra que el almacenamiento 248 informático contiene comandos 258 de control del transductor. Los comandos 258 de control del transductor se han generado para minimizar el calentamiento en la región 217 de campo cercano cuando se

55 60

sonican los puntos 224, 226, 228, 230 de sonicación.

Se muestra además que la memoria 250 informática contiene un módulo 260 de control. El módulo 260 de control contiene código ejecutable por ordenador que permite que el procesador 244 controle el funcionamiento y la función del aparato 200 médico. Se muestra además que la memoria 250 informática contiene un modelo 262 de elemento de transductor geométrico. El modelo 262 de elemento de transductor geométrico puede usar los datos 252 de

65

ubicación para calcular las trayectorias 254 de sonicación. Se muestra además que la memoria 250 informática contiene un módulo de detección de solapamiento. El módulo 264 de detección de solapamiento contiene código ejecutable por ordenador que permite que el procesador 244 use la trayectoria 254 de sonicación para detectar geoméricamente regiones de solapamiento. La identificación de estas regiones de solapamiento es 256. Se muestra además que la memoria 250 informática contiene el módulo 266 de generación de control del transductor. El módulo 266 de generación de control del transductor puede usar los datos 252 de ubicación y los datos 256 de la región de solapamiento para generar los comandos 258 de control del transductor.

El ultrasonido focalizado de alta intensidad (HIFU) es un método para calentar localmente tejido. Aunque el objetivo es calentar solo una región objetivo seleccionada, el tejido circundante a través del cual se desplaza el ultrasonido se calentará inevitablemente en cierta medida. Las sonicaciones sucesivas con trayectorias de haz total o parcialmente solapantes harán que se desarrolle calentamiento acumulativo. Como resultado, son necesarios periodos de enfriamiento entre sonicaciones para evitar el calentamiento excesivo en el tejido fuera de la región objetivo. Los periodos de enfriamiento prolongados pueden obstaculizar significativamente la eficacia del tratamiento.

No es necesario un periodo de enfriamiento entre dos sonicaciones si las trayectorias de haz de las sonicaciones no se solapan. Por tanto, puede optimizarse la eficacia del tratamiento evitando el solapamiento entre trayectorias de haz de diferentes sonicaciones.

Los transductores de ultrasonidos focalizados están normalmente dispuestos en fase, consisten en múltiples elementos de transductor. El haz de ultrasonido puede conformarse desconectando parte de los elementos o ajustando de otro modo la potencia transmitida desde cada elemento. La conformación del haz se usa normalmente para evitar el calentamiento en tejido sensible.

Realizaciones pueden combinar los dos métodos anteriores: se aprovecha la conformación del haz para minimizar el calentamiento acumulativo que resulta del solapamiento de las trayectorias de haz. El calentamiento acumulativo puede disminuirse disminuyendo la potencia en los elementos desde los que se desplaza la potencia transmitida a través de la región de solapamiento. La invención permite periodos de enfriamiento más cortos y por tanto un tratamiento más eficaz.

La mayoría de las veces, el tamaño de una región objetivo es bastante limitado. Por tanto, no puede evitarse completamente el solapamiento del haz controlando simplemente la ubicación de la sonicación. Con la ayuda de la conformación del haz, el efecto del solapamiento puede disminuirse adicionalmente o incluso puede evitarse completamente.

Además, el calentamiento en la trayectoria del haz puede no ser homogéneo. Las propiedades tisulares variables pueden dar como resultado un aumento de la temperatura algo mayor o un enfriamiento más lento en alguna parte de la trayectoria del haz. Como resultado, incluso una sola sonicación puede dar como resultado el daño tisular no deseado, a menos que se cancele antes de lograr el resultado deseado en la región objetivo. Con la conformación del haz, sería posible disminuir el calentamiento en una región específica, lo que permite que la sonicación continúe durante más tiempo. Además, si las sonicaciones sucesivas se realizaran más próximas entre sí, el tiempo de enfriamiento estaría dominado por el tejido que requiere el tiempo de enfriamiento más prolongado. En tal caso, la conformación del haz podría usarse para evitar que el haz se solape específicamente dentro de ese tejido.

Según el primer aspecto, puede usarse conformación de haz para minimizar el calentamiento acumulativo a partir de sonicaciones con trayectorias de haz solapantes. Esto puede lograrse o bien desconectando completamente parte de los elementos de modo que no se solapen en absoluto, o reduciendo la potencia en elementos desde los que la potencia transmitida atraviesa la región de solapamiento de modo que la densidad de energía/calentamiento acumulativo no sea mayor en esta región que en cualquier otra parte de la región del haz.

Según el segundo aspecto, puede usarse conformación de haz para impedir el calentamiento excesivo localmente en regiones que son especialmente propensas al calentamiento. Tales regiones podrían determinarse por ejemplo basándose en datos de temperatura adquiridos o en el conocimiento *a priori*. Los datos de temperatura podrían tenerse en cuenta de manera dinámica, es decir inmediatamente cuando se miden. El enfoque sería entonces aplicable, no sólo para controlar el calentamiento acumulativo resultante de múltiples sonicaciones, sino también para impedir el calentamiento excesivo durante una sola sonicación.

La figura 3 muestra dos vistas 300 y 302 del transductor 210, 210' de ultrasonidos. En la vista 300, se muestra el transductor 210 de ultrasonidos en una primera posición 210 y en una segunda posición 210'. El ultrasonido en las dos posiciones diferentes sigue una trayectoria que se ilustró en la figura 2. Cuando el transductor de ultrasonidos está en la primera posición 210, el ultrasonido sigue el volumen definido por las líneas 216 y hay una región 217 de campo cercano. El ultrasonido está focalizándose en el punto 226 de sonicación. Cuando el transductor de ultrasonidos está en la segunda posición 210', el volumen de ultrasonido se define por las líneas 216' y se focaliza en el punto de sonicación 228. En la segunda posición 210', hay una región 217' de campo cercano. El volumen definido por la línea 304 contiene los puntos 226 y 228 de sonicación. Puede observarse que cuando el transductor

está en las posiciones primera 210 y segunda 210', hay una región 306 de solapamiento de las dos regiones 217 y 217' de campo cercano. Si los puntos 226 y 228 de sonicación se sonicaron secuencialmente, entonces la región 306 de solapamiento se calentará dos veces. Esto puede conducir a daño térmico del tejido en la región 306 de solapamiento. La vista 302 muestra cómo una realización de la invención puede reducir el calentamiento en la región 306 de solapamiento. En esta realización, se reduce la región activa de los transductores 210, 210' de ultrasonidos. Puede observarse que el volumen definido por las líneas 216 no corta el volumen de ultrasonido definido por las líneas 216'. En esta realización, no hay esencialmente solapamiento de ultrasonidos o es mínimo cuando se sonicaron los dos puntos 226 y 228 de sonicación. Esto puede reducir el calentamiento en la región 217, 217' de campo cercano y puede permitir una sonicación más rápida de los puntos 226, 228 de sonicación, porque no es necesario que haya tanto tiempo de espera o puede haber un tiempo reducido entre las dos sonicaciones.

En la figura 3, el haz de ultrasonido se representa con un modelo geométrico sencillo. La desconexión del elemento también podría basarse en un modelo más sofisticado de la distribución de la densidad de energía, tal como simulaciones. Además, pueden tenerse en cuenta las variaciones locales en las propiedades tisulares para una estimación más precisa.

Además de la distribución de la densidad de energía, el método también podría basarse en la distribución de la temperatura simulada o medida o en cualquier combinación de estas. Los datos de temperatura medios pueden tenerse en cuenta de manera dinámica, ya durante una sonicación individual, es decir los elementos pueden desconectarse en la región en la que se mide un gran calentamiento.

En la forma más sencilla, la invención podría usarse para minimizar simplemente el periodo de enfriamiento necesario antes de una sonicación individual, manipulando la forma del haz sólo para esa sonicación basándose en el conocimiento sobre la sonicación anterior. Para una terapia incluso más eficaz, podría tenerse en cuenta todo el plan de tratamiento, incluyendo las siguientes sonicaciones.

La figura 4 muestra un aparato 400 médico según una realización adicional de la invención. El aparato 400 médico mostrado en la figura 4 es similar al aparato 200 médico mostrado en la figura 2. El aparato 400 mostrado en la figura 4 tiene componentes de software adicionales que modifican la funcionalidad del aparato 400 médico. En esta realización, se muestra que el almacenamiento 248 informático contiene un mapa 402 de propiedad térmica. El mapa 402 de propiedad térmica es descriptivo de una propiedad térmica en la región 217 de campo cercano del sujeto 202. Se muestra adicionalmente que el almacenamiento 248 informático contiene una dosis 404 térmica previa que es descriptiva de una dosis térmica previa recibida por el sujeto 202. Se muestra que el almacenamiento 248 informático contiene comandos de control del transductor corregidos. Los comandos de control del transductor corregidos se calcularon usando la dosis térmica previa y/o el mapa previsto de propiedad térmica. No todas las realizaciones tendrán tanto la dosis térmica previa como el mapa 402 de propiedad térmica.

Se muestra que la memoria informática contiene un modelo 408 térmico de transductor que se usa para calcular el mapa 404 previsto de propiedad térmica a partir del mapa 402 de propiedad térmica y/o la dosis 404 térmica previa. Los comandos 406 de control del transductor corregidos se calcularon usando el mapa 404 previsto de propiedad térmica, los datos 252 de ubicación y los datos 256 de la región de solapamiento por el módulo 266 de generación de comandos de control del transductor.

La figura 5 muestra un ejemplo adicional de un aparato 500 médico. El aparato 500 médico es similar al aparato médico 400 mostrado en la figura 4. En esta realización hay un sistema 502 de obtención de imágenes por resonancia magnética para adquirir datos de resonancia magnética térmica. El sistema de obtención de imágenes por resonancia magnética comprende un imán 504. El imán 504 es un imán superconductor de tipo cilíndrico con una perforación 506 a través de su centro. En diversas realizaciones, el accionador 214 mecánico/fuente de alimentación está ubicado fuera o dentro de la perforación 506 del imán 504.

El imán tiene un criostato enfriado por helio líquido con bobinas superconductoras. También es posible usar imanes permanentes o resistivos. También es posible el uso de diferentes tipos de imanes, por ejemplo también es posible usar tanto un imán cilíndrico dividido y un denominado imán abierto. Un imán cilíndrico dividido es similar a un imán cilíndrico convencional, excepto en que el criostato se ha dividido en dos secciones para permitir el acceso al isoplano del imán, pudiendo usarse tales imanes por ejemplo conjuntamente con terapia de haz de partículas cargadas. Un imán abierto tiene dos secciones de imán, una por encima de la otra con un espacio entre medias que es lo suficientemente grande como para recibir un sujeto: la disposición del área de dos secciones es similar a la de una bobina Helmholtz. Los imanes abiertos son populares, porque el sujeto está menos confinado. Dentro del criostato del imán cilíndrico hay un conjunto de bobinas superconductoras. Dentro de la perforación 506 del imán cilíndrico hay una zona 508 de obtención de imágenes donde el campo magnético es lo suficientemente fuerte y uniforme como para realizar obtención de imágenes por resonancia magnética.

Dentro de la perforación 506 del imán también hay un conjunto de bobinas 510 con gradiente de campo magnético que se usan para la adquisición de datos de resonancia magnética para codificar espacialmente espines magnéticos dentro de la zona 508 de obtención de imágenes del imán 504. Las bobinas con gradiente de campo magnético están conectadas a una fuente 512 de alimentación de bobina con gradiente de campo magnético. Se pretende que

5 las bobinas 510 con gradiente de campo magnético sean representativas. Normalmente, las bobinas con gradiente de campo magnético contienen tres conjuntos independientes de bobinas para codificar espacialmente en tres direcciones espaciales ortogonales. Una fuente 512 de alimentación de gradiente de campo magnético suministra corriente a las bobinas 510 con gradiente de campo magnético. La corriente suministrada a las bobinas de campo magnético se controla en función del tiempo y puede ser variable o pulsada.

10 Adyacente a la zona 508 de obtención de imágenes hay una bobina 514 de radiofrecuencia para manipular las orientaciones de espines magnéticos dentro de la zona 508 de obtención de imágenes y para recibir transmisiones de radio de espines también dentro de la zona de obtención de imágenes. La bobina de radiofrecuencia puede contener múltiples elementos de bobina. La bobina de radiofrecuencia también puede denominarse un canal o una antena. La bobina 514 de radiofrecuencia está conectada a un transceptor 516 de radiofrecuencia. La bobina 514 de radiofrecuencia y el transceptor 516 de radiofrecuencia pueden reemplazarse por bobinas de transmisión y recepción independientes y por un transmisor y receptor independientes. Se entiende que la bobina 514 de radiofrecuencia y el transceptor 516 de radiofrecuencia son representativos. Se pretende que la bobina 514 de radiofrecuencia también represente una antena de transmisión dedicada y una antena de recepción dedicada. Asimismo, el transceptor 516 también puede representar un transmisor y receptores independientes.

20 Se muestra que el almacenamiento 248 informático contiene una secuencia 520 de impulsos. Una secuencia de impulsos tal como se usa en el presente documento es una secuencia de comandos ejecutados en diferentes momentos que permiten que un sistema 502 de obtención de imágenes por resonancia magnética adquiera datos 522 de resonancia magnética. Se muestra que el almacenamiento 248 informático contiene datos 522 de resonancia magnética térmica que se han adquirido usando el sistema 502 de obtención de imágenes por resonancia magnética. También se muestra que el almacenamiento 248 informático contiene un mapa 524 de propiedad térmica. El mapa 524 de propiedad térmica se ha reconstruido a partir de los datos 522 de resonancia magnética térmica.

30 Se muestra que la memoria 250 informática contiene un módulo 526 de reconstrucción de imágenes. El módulo 526 de reconstrucción de imágenes contiene código 244 ejecutable por ordenador que permite que el procesador construya el mapa 524 de propiedad térmica a partir de los datos 522 de resonancia magnética térmica. Se muestra que esta realización contiene una dosis 404 térmica previa en el almacenamiento 248 informático. La dosis 404 térmica previa es opcional en esta realización.

35 El sistema 502 de obtención de imágenes por resonancia magnética también puede usarse para guiar el sistema 206 de ultrasonidos focalizados de alta intensidad. Por ejemplo, a través de la obtención de imágenes por resonancia magnética normal, el sistema 502 de obtención de imágenes por resonancia magnética puede usarse para identificar marcas anatómicas dentro del sujeto 202 para identificar la ubicación de los puntos 224, 226, 228 y 230 de sonicación.

40 Aunque la invención se ha ilustrado y descrito en detalle en los dibujos y la descripción anterior, tales ilustración y descripción han de considerarse ilustrativas o a modo de ejemplo y no restrictivas; la invención no se limita a las realizaciones dadas a conocer, sino en cambio al alcance de las reivindicaciones adjuntas.

45 Los expertos en la técnica pueden entender y efectuar otras variaciones de las realizaciones dadas a conocer al poner en práctica la invención reivindicada, a partir de un estudio de los dibujos, la divulgación y las reivindicaciones adjuntas. En las reivindicaciones, la expresión "que comprende" no excluye otros elementos o etapas. Un programa informático puede almacenarse/distribuirse en un medio adecuado, tal como un medio de almacenamiento óptico o un medio de estado sólido suministrados junto con o como parte de otro hardware, pero también puede distribuirse en otras formas, tal como a través de Internet u otros sistemas de telecomunicación por cable o inalámbricos. Ningún signo de referencia en las reivindicaciones debe considerarse limitativo del alcance.

50 **Lista de números de referencia**

- 200 aparato médico
- 55 202 sujeto
- 204 soporte de sujeto
- 206 sistema de ultrasonidos focalizados de alta intensidad
- 60 208 cámara llena de fluido
- 210 transductor de ultrasonidos
- 65 210' transductor ultrasónico en 2ª posición

	212 mecanismo
	214 accionador mecánico/fuente de alimentación
5	216 trayectoria de ultrasonido
	216' trayectoria de ultrasonido en 2ª posición
	217 región de campo cercano
10	217' región de campo cercano en 2ª posición
	218 ventana de ultrasonido
15	220 almohadilla de gel
	222 volumen de sonicación
	224 punto de sonicación
20	226 punto de sonicación
	228 punto de sonicación
25	230 punto de sonicación
	240 sistema informático
	242 interfaz de hardware
30	244 procesador
	246 interfaz de usuario
35	248 almacenamiento informático
	250 memoria informática
	252 datos de ubicación
40	254 trayectoria de sonicación
	256 datos de la región de solapamiento
45	258 comandos de control del transductor
	260 módulo de control
	262 modelo de elemento de transductor geométrico
50	264 módulo de detección de solapamiento
	266 módulo de generación de comandos de control del transductor
55	300 primera vista
	302 segunda vista
	304 volumen objetivo
60	306 región de solapamiento en campo cercano
	400 aparato médico
65	402 mapa de propiedad térmica

	404 dosis térmica previa
	404 mapa previsto de propiedad térmica
5	406 comandos de control del transductor corregidos
	408 modelo térmico de transductor
	500 aparato médico
10	502 sistema de obtención de imágenes por resonancia magnética
	504 imán
15	506 perforación de imán
	508 zona de obtención de imágenes
	510 bobinas con gradiente de campo magnético
20	512 fuente de alimentación de bobinas con gradiente de campo magnético
	514 bobina de radiofrecuencia
25	516 transceptor
	520 secuencia de impulsos
	522 datos de resonancia magnética térmica
30	524 mapa de propiedad térmica
	526 módulo de reconstrucción de imágenes
35	

REIVINDICACIONES

1. Aparato (200, 400, 500) médico que comprende:
 - 5 - un sistema (206) de ultrasonidos focalizados de alta intensidad que comprende un transductor (210, 210') de ultrasonidos con múltiples elementos de transductor para focalizar ultrasonido (216, 216') en un volumen (222) de sonicación, en el que hay una región (217, 217') de campo cercano entre el transductor ultrasónico y el volumen de sonicación, en el que los múltiples elementos de transductor pueden controlarse en grupos, y en el que partes de la región de campo cercano se solapan si dos o más volúmenes de sonicación son adyacentes entre sí y/o están dentro de una distancia predeterminada;
 - 10 - una memoria (250) para almacenar instrucciones (260, 262, 264, 266, 408, 526) ejecutables por máquina;
 - 15 - un procesador (244) para controlar el aparato médico, en el que la ejecución de las instrucciones hace que el procesador:
 - reciba (100) datos (252) de ubicación descriptivos de múltiples (224, 226, 228, 230) puntos de sonicación;
 - 20 - determine (102) una trayectoria (254) de sonicación para cada uno de los múltiples puntos de sonicación usando un modelo (262) de elemento de transductor geométrico;
 - detecte (104) la región (256, 306) de solapamiento usando la trayectoria de sonicación para cada uno de los múltiples puntos de sonicación, en el que la región de solapamiento indica un solapamiento de la trayectoria de sonicación de dos o más puntos de sonicación en la región de campo cercano;
 - 25 - determine (106) comandos (258) de control del transductor usando la región de solapamiento, en el que los comandos de transductor pueden operarse para controlar los múltiples elementos de transductor para reducir la deposición de energía ultrasónica en la región de solapamiento durante la sonicación de los dos o más puntos de sonicación; y
 - 30 - controle (108) el sistema de ultrasonidos focalizados de alta intensidad para sonicar secuencialmente los múltiples puntos de sonicación usando los comandos de control del transductor.
- 35 2. Aparato médico según la reivindicación 1, en el que la ejecución de las instrucciones hace además que el procesador:
 - reciba un mapa (402) actual de propiedad térmica descriptivo de una propiedad térmica en la región de campo cercano,
 - 40 - calcule un mapa (404) previsto de propiedad térmica de la propiedad térmica usando los comandos de control del transductor y un modelo (408) térmico de transductor;
 - 45 - determine comandos (406) de control del transductor corregidos usando el mapa previsto de propiedad térmica, en el que los comandos de control del transductor corregidos pueden operarse para controlar los múltiples elementos de transductor, en el que las instrucciones pueden operarse para hacer que el procesador use los comandos de control del transductor corregidos para controlar el sistema de ultrasonidos focalizados de alta intensidad durante la sonicación secuencial de los múltiples puntos de sonicación.
- 50 3. Aparato médico según la reivindicación 2, en el que la ejecución de las instrucciones hace además que el procesador reciba una dosis (404) térmica previa, en el que la dosis térmica previa es descriptiva de la dosis térmica provocada por una sonicación anterior usando el sistema de ultrasonidos focalizados de alta intensidad, y en el que el mapa actual de propiedad térmica y/o el mapa previsto de propiedad térmica se determinan al menos parcialmente usando la dosis térmica previa.
- 55 4. Aparato médico según la reivindicación 2 ó 3, en el que el aparato médico comprende además un sistema de obtención de imágenes por resonancia magnética para adquirir datos (522) de resonancia magnética térmica, en el que la ejecución de las instrucciones hace además que el procesador:
 - 60 - adquiera los datos de resonancia magnética térmica, y
 - calcule el mapa actual de propiedad térmica usando al menos parcialmente los datos de resonancia magnética térmica.
- 65 5. Aparato médico según la reivindicación 2, 3 ó 4, en el que la ejecución de las instrucciones hace que el procesador calcule el mapa actual de propiedad térmica usando al menos parcialmente el modelo térmico

de transductor y un conjunto de comandos de control del transductor previos.

6. Aparato médico según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la ejecución de las instrucciones hace que el procesador, de manera repetida:

- 5 - reciba los datos de ubicación descriptivos de los múltiples puntos de sonicación;
- determine la trayectoria de sonicación para cada uno de los múltiples puntos de sonicación usando el modelo de elemento de transductor geométrico;
- 10 - detecte una región de solapamiento usando la trayectoria de sonicación para cada uno de los múltiples puntos de sonicación, en el que la región de solapamiento indica un solapamiento de la trayectoria de sonicación de dos o más puntos de sonicación en la región de campo cercano;
- 15 - determine los comandos de control del transductor que pueden operarse para controlar los múltiples elementos de transductor para reducir la deposición de energía ultrasónica en la región de solapamiento durante la sonicación de los dos o más puntos de sonicación para minimizar el calentamiento en la región de campo cercano; y
- 20 - controle el sistema de ultrasonidos focalizados de alta intensidad para sonicar secuencialmente los múltiples puntos de sonicación usando los comandos de control del transductor.

7. Aparato médico según la reivindicación 6, en el que la ejecución de las instrucciones hace además que el procesador, de manera repetida:

- 25 - reciba el mapa actual de propiedad térmica,
- calcule el mapa previsto de propiedad térmica usando los comandos de control del transductor y el modelo térmico de transductor;
- 30 - determine los comandos de control del transductor corregidos usando el mapa previsto de propiedad térmica; y
- 35 - controle el sistema de ultrasonidos focalizados de alta intensidad para sonicar secuencialmente los múltiples puntos de sonicación usando los comandos de control del transductor.

8. Aparato médico según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que se controlan los múltiples elementos de transductor para reducir la deposición de energía ultrasónica en la región de solapamiento durante la sonicación de los dos o más puntos de sonicación usando uno cualquiera de lo siguiente: desconectar selectivamente una primera parte de los múltiples elementos de transductor, reducir selectivamente la amplitud de energía ultrasónica generada por una segunda parte de los múltiples elementos de transductor, y combinaciones de los mismos.

9. Aparato médico según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que cada uno de los múltiples elementos de transductor puede controlarse individualmente

10. Aparato médico según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la propiedad térmica es una cualquiera de las siguientes: temperatura, temperatura máxima, dosis térmica, tiempo de enfriamiento, y combinaciones de los mismos.

11. Producto de programa informático que comprende instrucciones (260, 262, 226, 228, 230) ejecutables por máquina para su ejecución por un procesador que controla un aparato (200, 400, 500) médico, en el que el aparato médico comprende un sistema (206) de ultrasonidos focalizados de alta intensidad que comprende un transductor (210, 210') de ultrasonidos con múltiples elementos de transductor para focalizar ultrasonido (216, 216') en un volumen (222) de sonicación, en el que hay una región (217, 217') de campo cercano entre el transductor ultrasónico y el volumen de sonicación, en el que los múltiples elementos de transductor pueden controlarse en grupos, y en el que partes de la región de campo cercano se solapan si dos o más volúmenes de sonicación son adyacentes entre sí y/o están dentro de una distancia predeterminada, en el que la ejecución de las instrucciones hace que el procesador:

- 60 - reciba (100) datos (252) de ubicación descriptivos de múltiples puntos (224, 226, 228, 230) de sonicación;
- determine (102) una trayectoria (254) de sonicación para cada uno de los múltiples puntos de sonicación usando un modelo (262) de elemento de transductor geométrico;
- 65 - detecte (104) la región (256, 306) de solapamiento usando la trayectoria de sonicación para cada uno de

los múltiples puntos de sonicación, en el que la región de solapamiento indica un solapamiento de la trayectoria de sonicación de dos o más puntos de sonicación en la región de campo cercano;

5 - determine (106) comandos (258) de control del transductor usando la región de solapamiento, en el que los comandos de control del transductor pueden operarse para controlar los múltiples elementos de transductor para reducir la deposición de energía ultrasónica en la región de solapamiento durante la sonicación de los dos o más puntos de sonicación; y

10 - controle (108) el sistema de ultrasonidos focalizados de alta intensidad para sonicar secuencialmente los múltiples puntos de sonicación usando los comandos de control del transductor.

12. Producto de programa informático según la reivindicación 11, en el que la ejecución de las instrucciones hace además que el procesador:

15 - reciba un mapa (402) actual de propiedad térmica descriptivo de una propiedad térmica en la región de campo cercano,

20 - calcule un mapa (404) previsto de propiedad térmica de la propiedad térmica usando los comandos de control del transductor y un modelo (408) térmico de transductor;

25 - determine comandos (406) de control del transductor corregidos usando el mapa previsto de propiedad térmica, en el que los comandos de control del transductor corregidos pueden operarse para controlar los múltiples elementos de transductor, en el que las instrucciones pueden operarse para hacer que el procesador use los comandos de control del transductor corregidos para controlar el sistema de ultrasonidos focalizados de alta intensidad durante la sonicación secuencial de los múltiples puntos de sonicación.

30 13. Producto de programa informático según la reivindicación 12, en el que la ejecución de las instrucciones hace además que el procesador reciba una dosis (404) térmica previa, en el que la dosis térmica previa es descriptiva de la dosis térmica provocada por una sonicación anterior usando el sistema de ultrasonidos focalizados de alta intensidad, y en el que el mapa actual de propiedad térmica y/o el mapa previsto de propiedad térmica se determinan al menos parcialmente usando la dosis térmica previa.

35 14. Producto de programa informático según la reivindicación 12 ó 13, en el que el aparato médico comprende además un sistema de obtención de imágenes por resonancia magnética para adquirir datos (522) de resonancia magnética térmica, en el que la ejecución de las instrucciones hace además que el procesador:

- adquiera los datos de resonancia magnética térmica, y

40 - calcule el mapa actual de propiedad térmica usando al menos parcialmente los datos de resonancia magnética térmica.

FIG. 1

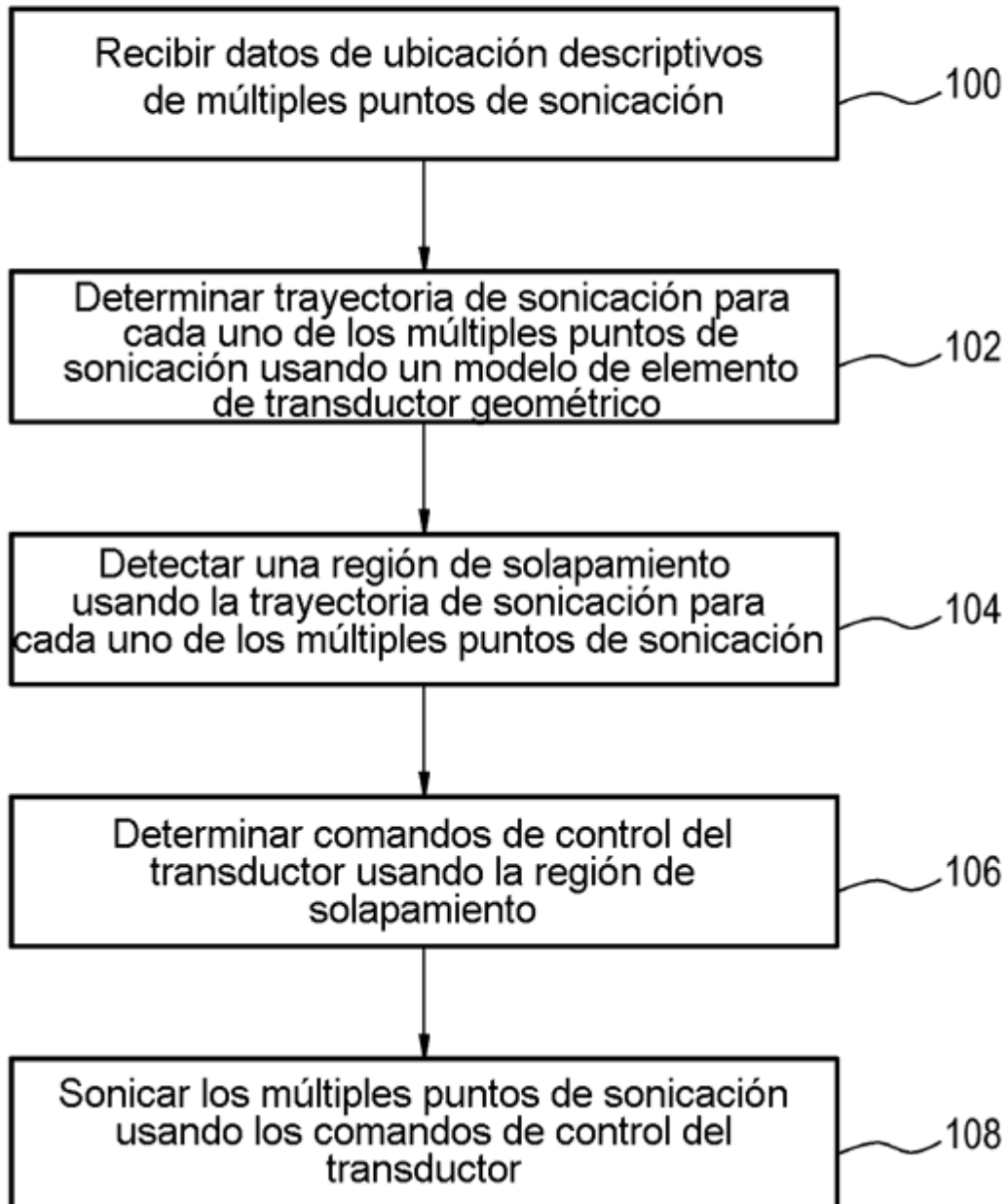


FIG. 2

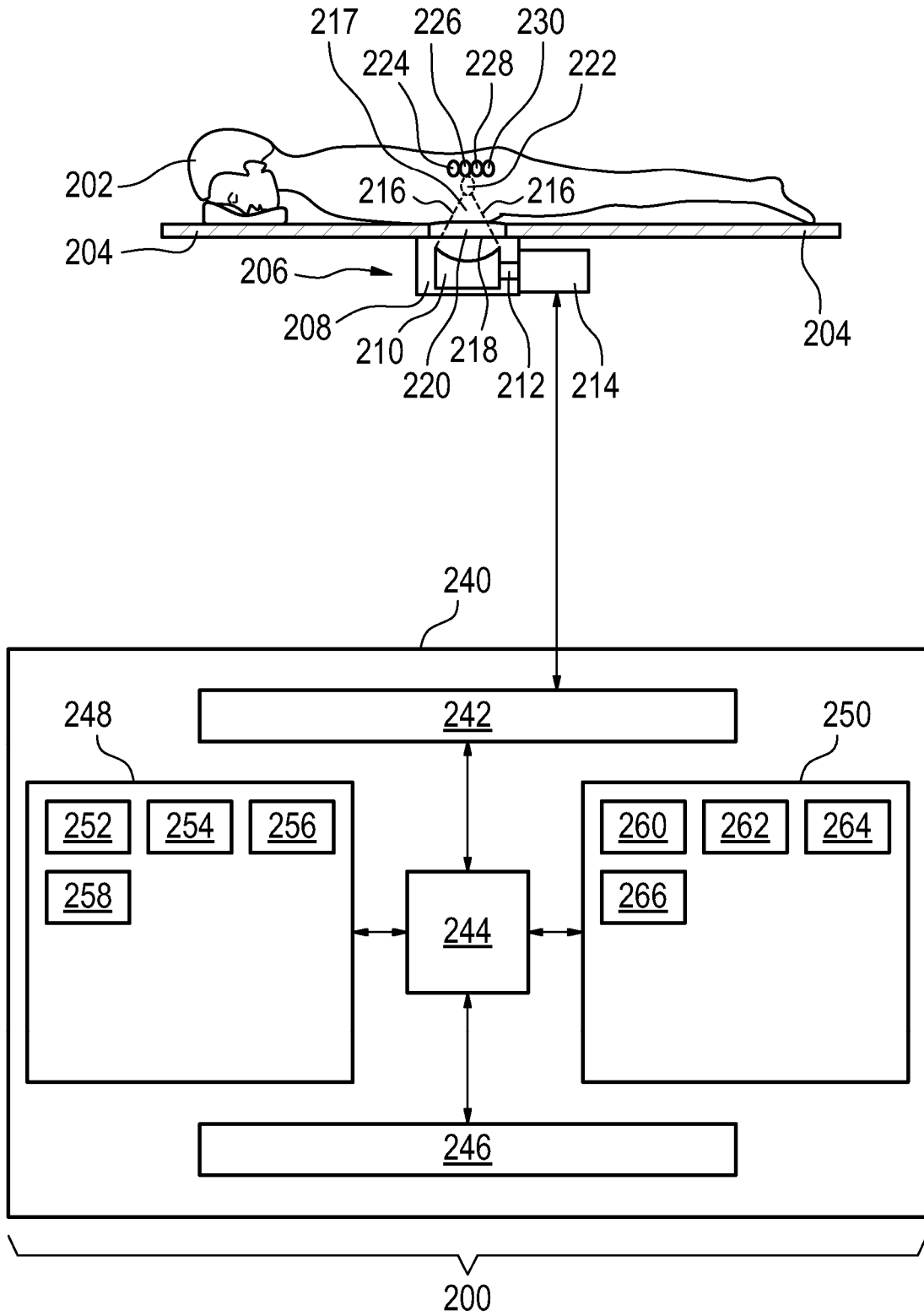


FIG. 3

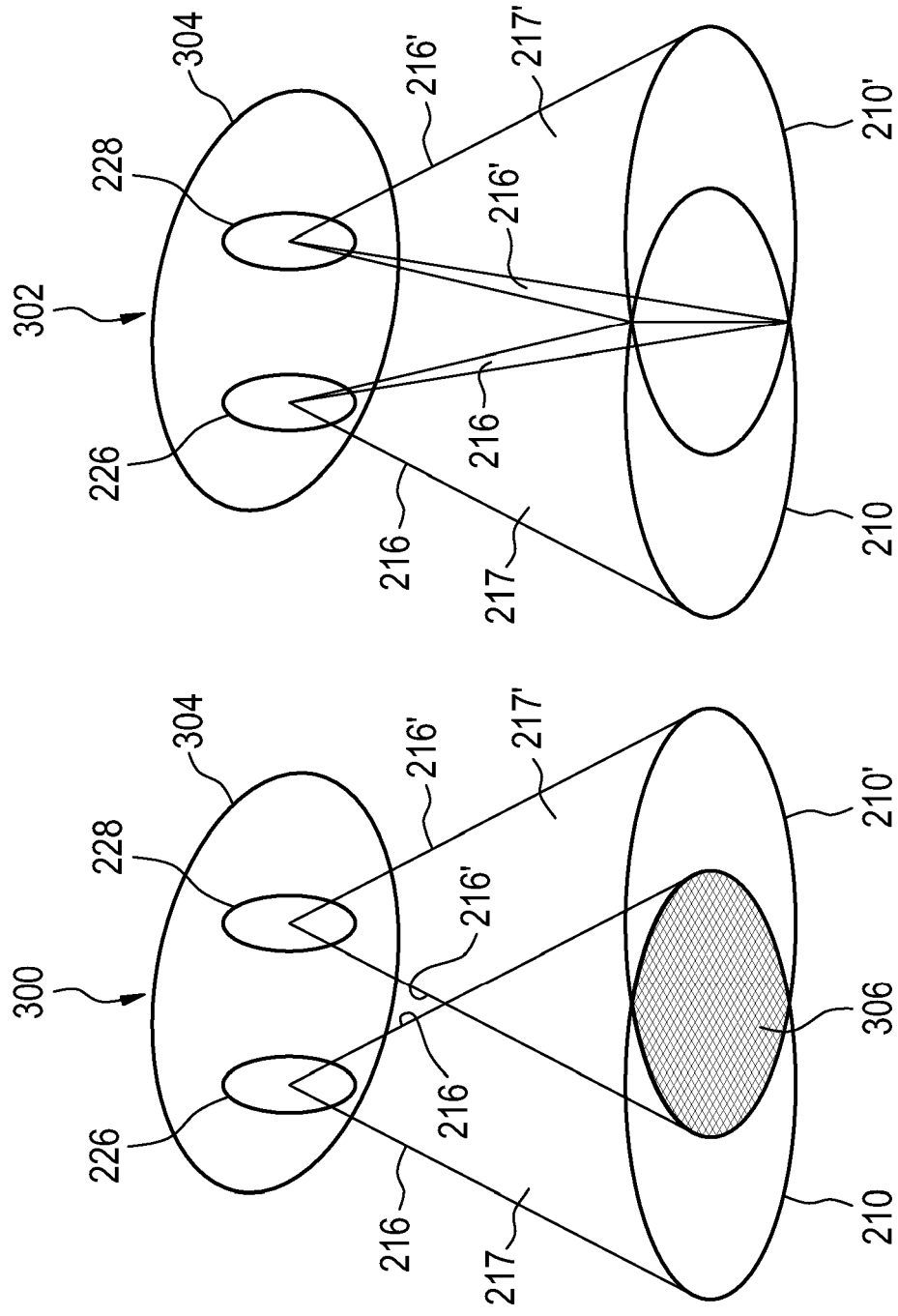


FIG. 4

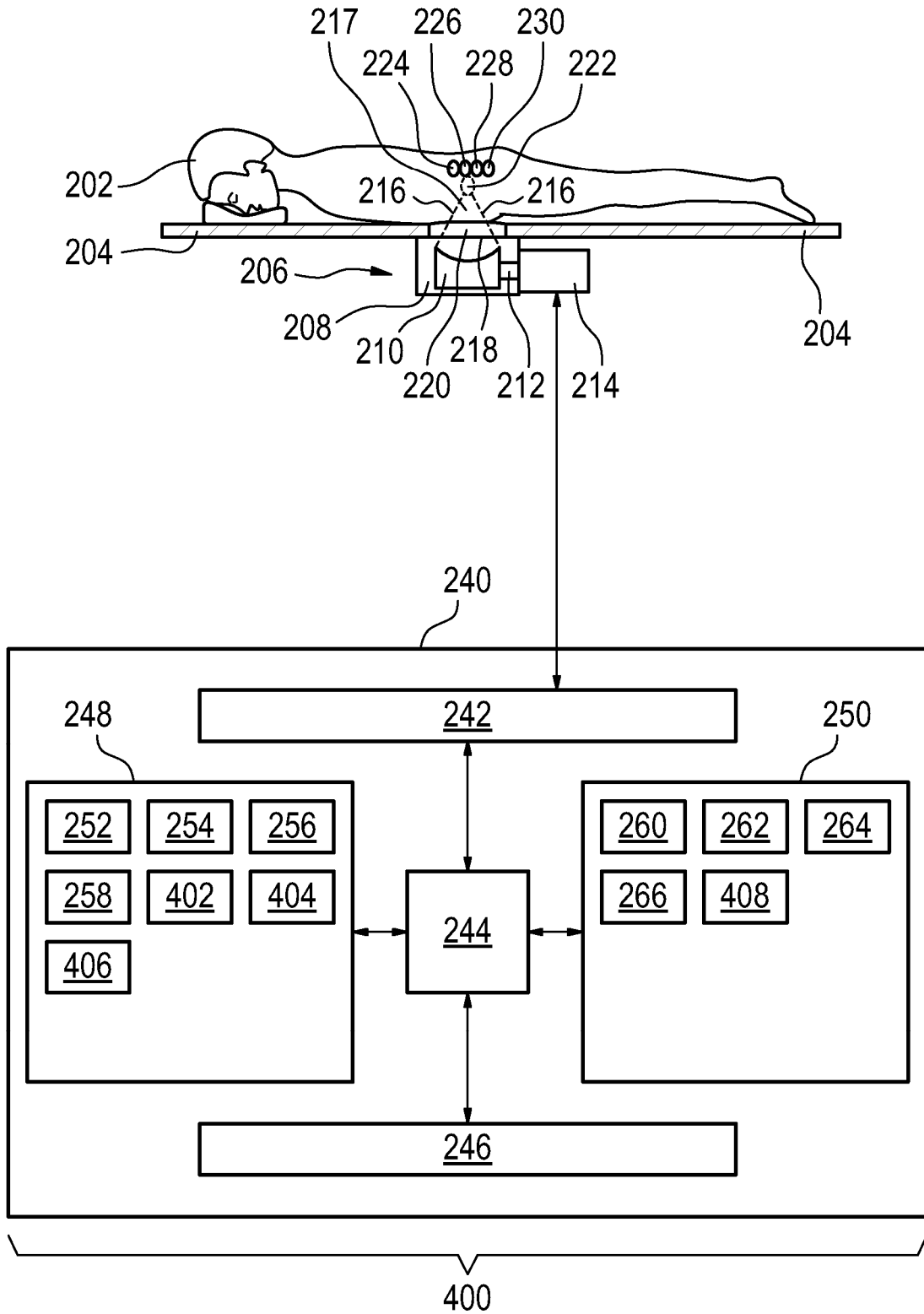


FIG. 5

