(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 654 789**

(51) Int. Cl.:
A61N 7/02 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **21.12.2010 PCT/IB2010/055976**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **07.07.2011 WO11080664**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.12.2010 E 10813124 (4)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.10.2017 EP 2519324**

(54) Título: **Aparato terapéutico**

(30) Prioridad:

28.12.2009 US 290265 P

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
15.02.2018

(73) Titular/es:

Profound Medical Inc (100.0%)
2400 Skymark Avenue, Unit 6
Mississauga ON L4W 5K5, CA

(72) Inventor/es:

VAHALA, ERKKI, TAPANI;
SOKKA, SHUNMUGAVELU;
KOSKELA, ILPO, ASKO, JULIUS y
KÖHLER, MAX, OSKAR

(74) Agente/Representante:

VÁZQUEZ FERNÁNDEZ-VILLA, Concepción

ES 2 654 789 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

Aparato terapéutico

Campo de la invención

Esta invención se refiere a un ultrasonido focalizado de alta intensidad, en particular a un ultrasonido focalizado de alta intensidad guiado mediante formación de imágenes por resonancia magnética.

Antecedentes de la invención

El ultrasonido de un transductor ultrasónico focalizado puede utilizarse para tratar selectivamente regiónes dentro del interior del cuerpo. Las ondas ultrasónicas se transmiten como vibraciones mecánicas de alta energía. Estas vibraciones inducen calentamiento de tejido a medida que se atenúan, y también pueden conducir a cavitación. Tanto el calentamiento de tejido como la cavitación pueden usarse para destruir tejido en entorno clínico. Sin embargo, el calentamiento de tejido con ultrasonido es más fácil de controlar que la cavitación. Los tratamientos ultrasónicos pueden usarse para extirpar tejido y para destruir regiónes de células cancerosas selectivamente. Esta técnica se ha aplicado al tratamiento de fibromas uterinos, y ha reducido la necesidad de procedimientos de histerectomía. El tratamiento de una región con ultrasonido se denomina sonicación.

Para tratar selectivamente el tejido, puede usarse un transductor ultrasónico focalizado para focalizar el ultrasonido en un volumen objetivo particular. El transductor está montado normalmente dentro de un medio, tal como agua desgasificada, que puede transmitir ultrasonido. Los accionadores se usan entonces para ajustar la posición del transductor ultrasónico y ajustar de ese modo la región de tejido que se está tratando. La formación de imágenes médicas puede usarse para guiar tal terapia ultrasónica.

La solicitud de patente estadounidense US 2009/0088623 da a conocer un sistema de terapia guiada por imágenes que comprende un transductor ultrasónico y un dispositivo de formación de imágenes por resonancia magnética. Se da a conocer la adquisición rápida de imágenes por resonancia magnética sensibles a la temperatura del paciente. Sin embargo, no se da a conocer el uso de estas imágenes para modificar el plan de tratamiento durante la sonicación.

El documento WO 02/43804 A1 da a conocer un sistema de tratamiento térmico. El sistema de tratamiento térmico incluye un elemento de aplicación de calor para generar dosis térmicas para extirpar una masa objetivo en un paciente, un controlador para controlar las propiedades de dosis térmicas del elemento de aplicación de calor, un generador de imágenes para proporcionar imágenes preliminares de la masa objetivo e imágenes térmicas durante el tratamiento, y un planificador para construir automáticamente un plan de tratamiento, que comprende una serie de lugares de tratamiento cada uno de ellos representado por un conjunto de propiedades de dosis térmicas. El sistema de tratamiento térmico puede ser un sistema de ultrasonido focalizado y el elemento de aplicación de calor es un transductor que emite un haz de ultrasonido. El generador de imágenes puede ser un dispositivo MRI que puede proporcionar una imagen por resonancia magnética sensible a la temperatura del objetivo.

El documento US 2006/0206105 A1 da a conocer un método y aparato para administrar y controlar terapia térmica a un volumen de tejido enfermo. El documento recomienda usar un aplicador de calentamiento de ultrasonido para generar lesiones térmicas en los tejidos enfermos. Formación de imágenes térmica se usa para monitorizar la temperatura terapéutica o dosis térmica aplicada a una región en un cuerpo u órgano. Como modalidad de formación de imágenes térmica, puede usarse MRI. De ese modo, se proporciona una formación de imágenes térmica cuantitativa a tiempo real que puede usarse para evaluar los resultados de tratamiento.

El documento WO 2007/114917 A2 da a conocer un sistema para el tratamiento guiado de tejido de próstata maligno. Para eliminar el tejido enfermo, pueden usarse dispositivos ablativos que realizan destrucción térmica. El documento recomienda usar MRI para mapear la temperatura de tejido y por tanto monitorizar la destrucción térmica del tejido.

Sumario de la invención

La invención proporciona un aparato terapéutico y un producto de programa de ordenador en las reivindicaciones independientes. Se dan realizaciones en las reivindicaciones dependientes.

Las realizaciones de la invención pueden proporcionar una monitorización y un control mejorados de un sistema de ultrasonido focalizado de alta intensidad realizando termometría por resonancia magnética durante la sonicación. Pueden usarse datos de termometría por resonancia magnética adquiridos durante la sonicación para modificar el plan de tratamiento durante la sonicación.

La invención proporciona un aparato terapéutico que comprende un sistema de ultrasonido focalizado de alta intensidad para sonicar un volumen de sonicación de un sujeto. Los sistemas de ultrasonido focalizado de alta intensidad usan un transductor ultrasónico para focalizar o concentrar energía ultrasónica en un volumen de

sonicación. La energía de ultrasonido puede usarse para calentar el volumen de sonicación o para interrumpir mecánicamente tejido o células o para administrar localmente fármacos a través de compuestos químicos que liberan fármacos dentro del volumen de sonicación. Por ejemplo, el ultrasonido puede usarse para entibiar el tejido o puede usarse para calentar el tejido hasta un punto en el que se induce necrosis. La energía ultrasónica también puede provocar daño mecánico en el tejido o las células dentro del volumen de sonicación. Por ejemplo, a mayores intensidades pueden formarse burbujas y, el daño mecánico debido a la cavitación de estas burbujas puede inducirse en el tejido o las células ubicados dentro del volumen de sonicación.

El aparato terapéutico comprende además un sistema de formación de imágenes por resonancia magnética para adquirir datos de imágenes por resonancia magnética para adquirir datos de termometría por resonancia magnética a partir de los núcleos del sujeto ubicados dentro de un volumen de formación de imágenes. El volumen de formación de imágenes puede considerarse un campo de visión del sistema de formación de imágenes por resonancia magnética. El volumen de formación de imágenes es por tanto un volumen para el que el campo magnético generado por el imán es suficientemente uniforme para adquirir imagen por resonancia magnética o datos de termometría por resonancia magnética. La uniformidad del campo magnético en el volumen de formación de imágenes puede optimizarse mediante bobinas de compensación activas. El volumen de formación de imágenes también puede definirse por una bobina de transceptor de radiofrecuencia que se usa para adquirir los datos de formación de imágenes por resonancia magnética. La bobina de radiofrecuencia también puede implementarse como bobinas de transmisión y recepción independientes.

El volumen de sonicación está dentro del volumen de formación de imágenes. Los sistemas de formación de imágenes por resonancia magnética usan un imán para alinear los espines nucleares de núcleos del sujeto dentro del volumen de formación de imágenes. Gradientes de campo magnético y pulsos de radiofrecuencia pueden usarse para manipular la orientación de los espines de estos núcleos que luego se inducen para emitir señales de radiofrecuencia. Estas señales de radiofrecuencia pueden usarse para extraer información de esas partes del sujeto dentro del volumen de formación de imágenes. Muchas técnicas de formación de imágenes por resonancia magnética usan transformación de Fourier. Por esta razón, se entiende también que los núcleos fuera del volumen de formación de imágenes tienen impacto en cualquier imagen o dato por resonancia magnética. Es decir, los núcleos fuera del volumen de formación de imágenes pueden tener impacto en o pueden contribuir a imágenes o datos adquiridos por el sistema de formación de imágenes por resonancia magnética.

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

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

El aparato terapéutico comprende además un controlador para controlar el aparato terapéutico. El controlador está adaptado para recibir un plan de tratamiento que especifica un volumen objetivo dentro del volumen de formación de imágenes. En algunas realizaciones, el plan de tratamiento puede especificar también volúmenes en los que la deposición de energía se va a limitar. Por ejemplo, en algunas realizaciones el plan de tratamiento puede especificar volúmenes que contienen estructuras anatómicas importantes que pueden dañarse mediante sonicación. El plan de tratamiento comprende instrucciones para controlar el funcionamiento del sistema de ultrasonido focalizado de alta intensidad. El sistema de ultrasonido focalizado de alta intensidad puede tener un aparato mecánico para mover su transductor. El plan de tratamiento puede comprender instrucciones para controlar el sistema mecánico para mover el transductor del sistema de ultrasonido focalizado de alta intensidad. El transductor del sistema de ultrasonido focalizado de alta intensidad puede comprender además una colección de transductores de ultrasonido individuales. Cada uno de estos transductores puede estar conectado a fuentes de energía individuales que pueden usarse para controlar la amplitud y la fase de estos transductores de ultrasonido individuales. Cambiar la fase y la amplitud de la energía aplicada a estos transductores puede permitir focalizar y dirigir el haz de ultrasonido también a diferentes regiones dentro del sujeto. El controlador está adaptado para adquirir repetidamente datos de termometría por resonancia magnética usando el sistema de formación de imágenes por resonancia magnética durante la ejecución del plan de tratamiento. Es decir, durante la ejecución del plan de tratamiento se adquieren repetidamente datos de

termometría por resonancia magnética.

Adquirir repetidamente datos de termometría por resonancia magnética permite al controlador determinar la temperatura hasta la que se aumenta el volumen de sonicación y el tejido circundante durante la ejecución del plan de tratamiento. El controlador está adaptado para modificar el plan de tratamiento durante la ejecución del plan de tratamiento usando los datos de termometría por resonancia magnética. El controlador puede medir la temperatura dentro del volumen de sonicación y también la del tejido circundante. Esta información puede usarse para modificar el plan de tratamiento “sobre la marcha”. Esto resulta ventajoso porque permite un aparato terapéutico que puede ajustar y optimizar el plan de tratamiento basándose en el conocimiento de temperaturas actual dentro del volumen de formación de imágenes y en particular dentro del volumen de sonicación.

En otra realización, la modificación del plan de tratamiento se produce durante la sonicación del volumen objetivo. Es decir, la modificación del plan de tratamiento se produce mientras se aplica energía de ultrasonido al transductor del sistema de ultrasonido focalizado de alta intensidad. Esta realización resulta ventajosa porque permite que el plan de tratamiento se ajuste basándose en la temperatura actual del volumen objetivo y el volumen de sonicación. Esto puede conducir a tratamientos mejores y más eficientes que si el plan de tratamiento se ajustase después de que terminase una sonicación.

En otra realización, el sistema de formación de imágenes por resonancia magnética está adaptado para adquirir datos de imágenes por resonancia magnética.

En otra realización, el sistema de ultrasonido focalizado de alta intensidad comprende un transductor de ultrasonido focalizado de alta intensidad para sonicar el volumen de sonicación.

En otra realización, el sistema de formación de imágenes por resonancia magnética comprende un imán adaptado para generar un campo magnético para orientar los espines magnéticos de núcleos de un sujeto ubicados dentro del volumen de formación de imágenes. El sistema de formación de imágenes por resonancia magnética comprende además una bobina de radiofrecuencia. El sistema de formación de imágenes por resonancia magnética comprende además un transceptor de radiofrecuencia y un sistema de radiofrecuencia adaptado para adquirir datos por resonancia magnética usando la bobina de radiofrecuencia. El sistema de formación de imágenes por resonancia magnética comprende además una bobina de gradiente de campo magnético adaptada para la codificación espacial de los espines magnéticos de núcleos dentro del volumen de formación de imágenes. El sistema de formación de imágenes por resonancia magnética comprende además un suministro de potencia de bobina de gradiente de campo magnético adaptado para suministrar corriente a la bobina de gradiente de campo magnético. El controlador es un dispositivo informático que comprende un procesador. El aparato terapéutico comprende además un medio de almacenamiento legible por ordenador que contiene instrucciones para la ejecución por el procesador.

Un dispositivo informático tal como se usa en el presente documento se refiere a cualquier dispositivo que comprende un procesador. Un procesador es un componente electrónico que puede ejecutar un programa o una instrucción ejecutable por máquina. Las referencias al dispositivo informático que comprenden “un procesador” deben interpretarse como que contienen posiblemente más de un procesador. El término dispositivo informático también debe interpretarse como que se refiere posiblemente a una colección o red de dispositivos informáticos conteniendo cada uno un procesador. Muchos programas realizan sus instrucciones por procesadores múltiples que pueden estar dentro del mismo dispositivo informático o que pueden estar incluso distribuidos a través de múltiples dispositivos informáticos.

Un medio de almacenamiento legible por ordenador tal como se usa en el presente documento es cualquier medio de almacenamiento que puede almacenar instrucciones que son ejecutables por un procesador de un dispositivo informático. En algunas realizaciones, un medio de almacenamiento legible por ordenador también puede almacenar datos a los que puede accederse el procesador del dispositivo informático. Un ejemplo de un medio de almacenamiento legible por ordenador incluye, pero no está limitado a: un disco flexible, una unidad de disco duro magnética, una unidad de disco duro de estado sólido, memoria rápida, una memoria USB, memoria de acceso aleatorio (RAM), memoria de sólo lectura (ROM), un disco óptico, un disco magnetoóptico y el archivo de registro del procesador. Ejemplos de discos ópticos incluyen discos compactos (CD) y discos versátiles digitales (DVD), por ejemplo, discos CD-ROM, CD-RW, CD-R, DVD-ROM, DVD-RW o DVD-R. El término medio de almacenamiento legible por ordenador se refiere también a varios tipos de medios de grabación a los que se puede acceder el dispositivo de ordenador por medio de un enlace de comunicación o red. Por ejemplo, se puede recuperar los datos a través de un módem, de internet, o de una red de área local.

La ejecución de las instrucciones provoca que el procesador realice un método para sonicar un volumen objetivo. El método comprende la etapa de recibir un plan de tratamiento que especifica un volumen objetivo dentro del volumen de formación de imágenes. El método comprende además la etapa de adquirir datos de imágenes por resonancia magnética usando el aparato de tratamiento. Los datos de imágenes por resonancia magnética son datos que se usan para construir una imagen que detalla información anatómica sobre la región del sujeto ubicada dentro del volumen de formación de imágenes. Muchos sistemas de formación de imágenes por resonancia magnética adquirirán los datos de formación de imágenes por resonancia magnética que determinan la densidad de átomos de hidrógeno dentro del volumen de formación de imágenes. En la técnica, los átomos de hidrógeno también se

denominan protones porque un átomo de hidrógeno sólo tiene un único protón. El método comprende además la etapa de registrar los datos de imágenes por resonancia magnética en el plan de tratamiento.

El plan de tratamiento puede comprender imágenes médicas del sujeto, puede comprender imágenes de atlas anatómico y/o puede contener información sobre la ubicación de puntos de referencia anatómicos con respecto a su ubicación en la imagen que puede construirse a partir de los datos de formación de imágenes por resonancia magnética. El registro de los datos de imágenes por resonancia magnética puede comprender construir una o más imágenes o modelos tridimensionales del volumen de formación de imágenes en los datos de formación de imágenes por resonancia magnética. Una vez que esto se ha completado, estas imágenes o modelos pueden usarse para determinar la ubicación de puntos de referencia anatómicos. Esto puede hacerse usando algoritmos específicos o analizando las imágenes o modelos o también puede hacerse ajustando modelos bidimensionales o tridimensionales a las imágenes o modelos. Por ejemplo, pueden identificarse puntos de referencia anatómicos usando algoritmos de detección de bordes, tales como un algoritmo Sobel y usando estos bordes identificados para identificar el punto de referencia anatómico. Alternativamente, también se pueden usar modelos deformables restringidos de forma para identificar puntos de referencia anatómicos.

Registrar los datos de formación de imágenes por resonancia magnética en el plan de tratamiento crea un enlace entre la anatomía tal como se identifica en el plan de tratamiento y la anatomía del sujeto según está situado el sujeto en ese momento con respecto al sistema de formación de imágenes por resonancia magnética y al sistema de ultrasonido focalizado de alta intensidad. Este registro permite la modificación del plan de tratamiento para tener en cuenta la posición del sujeto en ese momento.

El método comprende además la etapa de modificar el plan de tratamiento usando el registro de los datos de formación de imágenes por resonancia magnética en el plan de tratamiento. El método comprende además la etapa de controlar el sistema de ultrasonido focalizado de alta intensidad ejecutando el plan de tratamiento. En esta etapa, el sistema de ultrasonido focalizado de alta intensidad se usa para sonicar uno o más volúmenes de sonicación del sujeto. El volumen de sonicación se mueve activamente dentro del sujeto para sonicar o calentar el volumen objetivo según el plan de tratamiento. El método comprende además la etapa de adquirir repetidamente datos de termometría por resonancia magnética durante la ejecución del plan de tratamiento. Adquirir los datos de termometría por resonancia magnética repetidamente permite la determinación de la temperatura dentro del volumen de formación de imágenes en función del tiempo. El método comprende además la etapa de modificar el plan de tratamiento usando los datos de termometría por resonancia magnética adquiridos repetidamente. La etapa de modificar el plan de tratamiento usando los datos de termometría por resonancia magnética adquiridos repetidamente puede incluir usar los datos de termometría por resonancia magnética para calcular el mapa de temperatura y después usar el mapa de temperatura para modificar el plan de tratamiento. Esta realización es ventajosa porque se recibe un plan de tratamiento para el sujeto y después se usa el sistema de formación de imágenes por resonancia magnética para ajustar el plan para que se adapte a la anatomía y la posición del paciente en ese momento. Esta realización también es ventajosa porque los datos de termometría por resonancia magnética pueden usarse para modificar o sintonizar el plan de tratamiento. El método comprende además actualizar repetidamente los datos de formación de imágenes por resonancia magnética durante la ejecución del plan de tratamiento. Actualizar repetidamente los datos de formación de imágenes por resonancia magnética puede tener varias interpretaciones diferentes. Por ejemplo, esto puede incluir adquirir nuevos datos de formación de imágenes por resonancia magnética y sustituirlos. En este caso, los datos de formación de imágenes por resonancia magnética podrían registrarse de nuevo en el plan de tratamiento existente y usarse para modificarlo. Actualizar los datos de formación de imágenes por resonancia magnética puede incluir también realizar una medición de una región más pequeña, tal como una exploración por navegador. En una exploración por navegador, la monitorización de una región pequeña del sujeto puede usarse para determinar la ubicación de la anatomía debido a algún movimiento periódico, por ejemplo, un navegador puede usarse para monitorizar la posición del diafragma de un sujeto. En este caso, la fase de la respiración puede estar correlacionada con el plan de tratamiento y ajustada en función al mismo. También pueden hacerse mediciones por navegador similares para el corazón. El método comprende además modificar el plan de tratamiento usando los datos de formación de imágenes por resonancia magnética actualizados repetidamente. Esta realización es ventajosa porque el plan de tratamiento se actualiza en función del movimiento del sujeto. La etapa de modificar el plan de tratamiento usando los datos de imágenes por resonancia magnética comprende modelar la transmisión de ultrasonido desde el transductor de ultrasonido focalizado de alta intensidad hasta el volumen objetivo usando los datos de formación de imágenes por resonancia magnética actualizados repetidamente. En esta realización, los datos de formación de imágenes por resonancia magnética se usan para modelar la transmisión de ultrasonido desde el transductor de ultrasonido focalizado de alta intensidad hasta el volumen objetivo. Al mismo tiempo que se produce este modelado, se realiza una medición de la temperatura de la totalidad o parte del volumen de formación de imágenes usando el sistema de formación de imágenes por resonancia magnética. La combinación de modelado y medición de la temperatura real permite una precisa determinación de la sonicación del volumen de sonicación. Esto conduce a una sonicación más precisa del volumen objetivo y a un mayor grado de control de temperatura no sólo del volumen objetivo, sino que del tejido que circunda el volumen objetivo. Esto reduce el riesgo de lesión en el sujeto durante la ejecución del plan de tratamiento.

En otra realización, el medio de almacenamiento legible por ordenador comprende además instrucciones para implementar un módulo de simulación estocástica para modelar la transmisión de ultrasonido desde el transductor

de ultrasonido focalizado de alta intensidad hasta el volumen objetivo usando los datos de formación de imágenes por resonancia magnética actualizados repetidamente. El módulo de simulación estocástica comprende instrucciones para usar una simulación estocástica para modelar la transmisión de ultrasonido desde el transductor de ultrasonido focalizado de alta intensidad hasta un volumen objetivo calculando predicciones aproximadas que mejoran con un tiempo de simulación en aumento. Esta realización es ventajosa porque puede realizarse una simulación de la precisión deseada usando tiempo de simulación. Por ejemplo, puede realizarse una simulación corta que produce estimaciones aproximadas de cambios en el plan de tratamiento y su impacto en el sujeto.

En otra realización, el medio de almacenamiento legible por ordenador comprende además instrucciones para implementar un módulo de simulación de aproximación rápida para modelar la transmisión de ultrasonido desde el transductor de ultrasonido focalizado de alta intensidad hasta el volumen objetivo usando los datos de formación de imágenes por resonancia magnética actualizados repetidamente. El módulo de simulación de aproximación rápida comprende instrucciones para modelar la transmisión de ultrasonido desde el transductor de ultrasonido focalizado de alta intensidad hasta el volumen objetivo aproximando la trayectoria acústica como una pila de interfaces planas.

En otra realización, el medio de almacenamiento legible por ordenador comprende además instrucciones para implementar un módulo de estimación de campo acústico para modelar la transmisión de ultrasonido desde el transductor de ultrasonido focalizado de alta intensidad hasta el volumen objetivo usando los datos de formación de imágenes por resonancia magnética actualizados repetidamente. El módulo de estimación de campo acústico comprende instrucciones para estimar el campo acústico para un subconjunto de elementos de transductor de un transductor de ultrasonido focalizado de alta intensidad.

En otra realización, el método comprende además la etapa de crear el plan de tratamiento usando datos de imágenes médicas. Los datos de imágenes médicas se definen en el presente documento como datos bidimensionales o tridimensionales que se han adquirido usando un escaner de formación de imágenes médico. Un escaner de formación de imágenes médico se define en el presente documento como aparato adaptado para adquirir información sobre la estructura física de un paciente y construir conjuntos de datos bidimensionales o tridimensionales de imágenes médicas. Pueden usarse datos de imágenes médicas para construir visualizaciones que son útiles para el diagnóstico por un médico. A modo de ejemplo, pueden adquirirse datos de imágenes médicas mediante un sistema de tomografía de emisión de positrones, un sistema de tomografía computarizada de rayos X, un sistema de formación de imágenes por resonancia magnética, y un sistema de formación de imágenes por ultrasonido. Esta realización es ventajosa porque los datos de imágenes médicas son descriptivos de la anatomía del sujeto y esto puede usarse para crear un plan de tratamiento detallado.

En otra realización, la etapa de crear el plan de tratamiento comprende recibir datos de planificación a partir de una interfaz de usuario. Por ejemplo, los datos de imágenes médicas pueden presentarse visualmente en una pantalla. Por ejemplo, la pantalla puede ser una interfaz de usuario gráfica en un monitor de ordenador. Un operario, médico u otro profesional sanitario puede usar la interfaz de usuario para diseñar el plan de tratamiento.

En otro aspecto, la invención proporciona un producto de programa de ordenador que contiene instrucciones ejecutables por máquina para su ejecución por un controlador de un aparato terapéutico. El aparato terapéutico comprende un sistema de ultrasonido focalizado de alta intensidad para sonicar un volumen de sonicación de un sujeto. El aparato terapéutico comprende además un sistema de formación de imágenes por resonancia magnética para adquirir los datos de formación de imágenes por resonancia magnética y para adquirir datos de termometría por resonancia magnética a partir de núcleos del sujeto ubicados dentro del volumen de formación de imágenes. El volumen de sonicación está dentro del volumen de formación de imágenes.

El controlador está adaptado para controlar el aparato terapéutico. El controlador está adaptado para recibir un plan de tratamiento que especifica un volumen objetivo dentro del volumen de formación de imágenes. El plan de tratamiento comprende instrucciones para controlar el funcionamiento del sistema de ultrasonido focalizado de alta intensidad. Las instrucciones ejecutables por máquina comprenden instrucciones para sonicar el volumen objetivo con el sistema de ultrasonido focalizado de alta intensidad ejecutando el plan de tratamiento. Las instrucciones ejecutables por máquina comprenden además instrucciones para adquirir datos de termometría por resonancia magnética usando el sistema de formación de imágenes por resonancia magnética durante la ejecución del plan de tratamiento. Las instrucciones ejecutables por máquina comprenden además instrucciones para modificar el plan de tratamiento durante la ejecución del plan de tratamiento usando los datos de termometría por resonancia magnética.

En otro aspecto, la invención también proporciona un medio de almacenamiento legible por ordenador tal como se describió anteriormente en una realización de la invención. Se entiende que una referencia a un medio de almacenamiento legible por ordenador es igualmente aplicable a múltiples medios de almacenamiento legibles por ordenador. El código para un programa puede distribuirse entre varios medios de almacenamiento legibles por ordenador distintos.

Breve descripción de los dibujos

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

la figura 1 muestra una realización de un método según la divulgación;

la figura 2 muestra una realización adicional de un método según la divulgación; y

la figura 3 muestra un diagrama funcional que ilustra un aparato terapéutico según una realización de la invención.

Descripción detallada de las realizaciones

Los elementos con numeración similar 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 figuras posteriores si la función es equivalente.

La figura 1 muestra una realización de un método. En la etapa 100, se sonica un volumen objetivo ejecutando un plan de tratamiento. En la etapa 102, se adquieren datos de termometría por resonancia magnética. Finalmente, en la etapa 104, se modifica el plan de tratamiento usando los datos de termometría por resonancia magnética.

La figura 2 muestra una realización adicional de un método. En la etapa 200, se recibe un plan de tratamiento. En la etapa 202, se adquieren datos de imágenes por resonancia magnética. En la etapa 204, se registran los datos de formación de imágenes por resonancia magnética en el plan de tratamiento. El registro es una correlación entre la anatomía tal como se mide por los datos de formación de imágenes por resonancia magnética que se correlaciona con la anatomía registrada en el plan de tratamiento. En la etapa 206, se modifica el plan de tratamiento usando el registro de los datos de imágenes por resonancia magnética en el plan de tratamiento. El plan de tratamiento se actualiza para la anatomía actual del sujeto. El sujeto puede estar en una posición diferente y los órganos internos también pueden estar ubicados en una posición diferente que cuando se realizó el plan de tratamiento. En la etapa 208, se ejecuta el plan de tratamiento. En la etapa 210, se adquieren datos de termometría por resonancia magnética durante la ejecución del plan de tratamiento. En la etapa 212, se modifica el plan de tratamiento usando los datos de termometría por resonancia magnética.

La figura 3 muestra un diagrama funcional que ilustra una realización de un aparato terapéutico según la invención. Se muestra que el aparato terapéutico comprende un sistema 300 de formación de imágenes por resonancia magnética, un sistema 302 de ultrasonido focalizado de alta intensidad y un dispositivo 304 informático. El sistema 300 de formación de imágenes por resonancia magnética comprende un imán 306. El sistema 300 de formación de imágenes por resonancia magnética comprende además una bobina 308 de gradiente de campo magnético. La bobina 308 de gradiente de campo magnético se usa para la codificación espacial del espín de núcleos ubicados dentro del volumen 316 de formación de imágenes. La bobina 308 de gradiente de campo magnético está conectada a un suministro 310 de potencia de bobina de gradiente de campo magnético. El suministro 310 de potencia de bobina de gradiente de campo magnético suministra corriente eléctrica para alimentar la bobina 308 de gradiente de campo magnético. Cuando se conduce corriente a través de la bobina 308 de gradiente de campo magnético, las bobinas pueden usarse para generar gradientes de campo magnético dentro del volumen 316 de formación de imágenes. La bobina de gradiente de campo magnético puede comprender más de una bobina de gradiente de campo magnético. Por ejemplo, es habitual tener tres conjuntos diferentes de bobinas de gradiente de campo magnético para realizar la codificación espacial.

Dentro del hueco del imán 306 también hay una bobina de transceptor de radiofrecuencia. La bobina 312 de transceptor de radiofrecuencia está conectada a un transceptor 314 de radiofrecuencia. El transceptor 314 de radiofrecuencia se usa para proporcionar potencia eléctrica de radiofrecuencia para accionar la bobina 312 de transceptor de radiofrecuencia y también para recibir emisiones de radiofrecuencia de los espines de núcleos dentro de un volumen 316 de formación de imágenes. La bobina 312 de transceptor de radiofrecuencia puede usarse para manipular la orientación de espines de núcleos dentro del volumen 316 de formación de imágenes. En otras realizaciones, la bobina 312 de transceptor pueden ser bobinas de transmisión y recepción independientes. De manera similar, el transceptor 314 puede ser un transmisor independiente y un receptor independiente en otras realizaciones.

Un soporte 318 de sujeto se ubica dentro del hueco del imán. Se muestra un sujeto 320 por encima del soporte 318 de sujeto. Dentro del sujeto 320 hay un volumen 322 objetivo. Se muestra un volumen 324 de sonicación dentro del volumen 322 objetivo. El volumen de sonicación es una región en la que se ha focalizado energía ultrasónica de un transductor 326 ultrasónico.

El sistema de ultrasonido focalizado de alta intensidad comprende un transductor 326 ultrasónico. El transductor 326 ultrasónico está ubicado dentro de una cámara 328 llena de fluido. El fluido dentro de la cámara 328 llena de fluido es un fluido que está adaptado para transmitir energía ultrasónica. Por ejemplo el fluido puede ser agua desgasificada. No se muestra en este diagrama un suministro de potencia para alimentar el transductor ultrasónico y también un sistema mecánico para mover mecánicamente la posición del transductor 326 ultrasónico. Las líneas marcadas como 330 muestran la trayectoria del ultrasonido 330 desde el transductor 326 ultrasónico hasta el volumen 324 de sonicación.

En esta figura puede observarse que el ultrasonido pasa primero a través de la cámara 328 llena de fluido y después

a través de una ventana 332 ultrasónica que sella la cámara 328 llena de fluido. La ventana 332 ultrasónica es normalmente un material de tipo película delgada que está adaptado para transmitir ultrasonido. Normalmente se usa mylar como ventana ultrasónica. En esta realización, hay un orificio dentro del soporte 318 de sujeto que está rellenado por una almohadilla 334 de gel. Una almohadilla de gel es una almohadilla que está adaptada para transmitir energía ultrasónica. La almohadilla 334 de gel se usa para formar una trayectoria de conducción ultrasónica entre la ventana 332 ultrasónica y el sujeto 320. En otras realizaciones, pueden usarse otros medios de conducción ultrasónica, tal como un gel ultrasónico o agua, para ayudar a formar una superficie de contacto entre el sujeto 320 y la ventana 332 ultrasónica.

El dispositivo 304 informático está adaptado para controlar el aparato terapéutico. El dispositivo 304 informático tiene una interfaz 336 de hardware que está conectada al suministro 310 de potencia de gradiente de campo magnético, el transceptor 314 de radiofrecuencia y el sistema 302 de ultrasonido focalizado de alta intensidad. La interfaz 336 de hardware puede ser una única interfaz de hardware o puede ser una colección de interfaces de hardware que están adaptadas para comunicar con cada uno de estos componentes. La interfaz 336 de hardware está conectada a un microprocesador 338. El microprocesador 338 es un procesador adaptado para ejecutar instrucciones ejecutables por máquina. El microprocesador también está conectado a un almacenamiento 340 de ordenador.

Tal como se mencionó antes, el almacenamiento de ordenador es un tipo de medio de almacenamiento legible por ordenador. Las instrucciones pueden cargarse desde el almacenamiento de ordenador y realizarse por el microprocesador 338. Ejemplos de almacenamiento de ordenador son una unidad de disco duro, una memoria USB, un disco flexible y una unidad de disco duro de estado sólido. El microprocesador 338 también está conectado a una memoria 342 de ordenador. La memoria 342 de ordenador es una memoria accesible al microprocesador 338. La memoria 342 de ordenador también es una realización de un medio de almacenamiento legible por ordenador. La memoria de ordenador puede ser, pero no está limitada a: memoria RAM, una memoria caché, y un archivo de registro. El microprocesador 338 también está conectado a una interfaz 344 de usuario. La interfaz de usuario puede adaptarse para representar visualmente información a un operario o usuario. La interfaz de usuario también puede adaptarse para recibir instrucciones o secuencias de control de un operario.

Un plan de tratamiento se ubica dentro del almacenamiento 340 de ordenador. También se ubican datos 348 de imágenes por resonancia magnética almacenados dentro del almacenamiento 340 de ordenador. También se ubican datos de termometría por resonancia magnética dentro del almacenamiento 340 de ordenador. Se ubica dentro de la memoria 342 de ordenador un módulo 352 de control de sistema de formación de imágenes por resonancia magnética que contiene instrucciones para controlar el funcionamiento del sistema de formación de imágenes por resonancia magnética. También se ubica dentro de la memoria 342 de ordenador un módulo 354 de reconstrucción de datos por resonancia magnética que puede contener instrucciones para reconstruir los datos de formación de imágenes por resonancia magnética para dar imágenes por resonancia magnéticas y/o reconstruir los datos de termometría por resonancia magnética para dar mapas por resonancia magnética.

Las imágenes por resonancia magnéticas son imágenes que pueden representarse visualmente y transmitir información anatómica. Los mapas de termometría por resonancia magnética son mapas que muestran la variación espacial de temperatura tal como se mide por el sistema de formación de imágenes por resonancia magnética. Un mapa de termometría por resonancia magnética puede superponerse sobre una imagen por resonancia magnética u otra información anatómica que va a usarse como referencia para indicar qué región anatómica tiene qué temperatura.

La memoria 342 de ordenador comprende además un módulo 358 de modelado por ultrasonidos. El módulo 358 de modelado por ultrasonidos comprende instrucciones para modelar la transmisión de energía de ultrasonido desde el transductor 326 ultrasónico hasta el volumen 324 de sonicación. El módulo 358 de modelado por ultrasonidos puede ser, pero no está limitado a, un módulo de simulación estocástica, un módulo de simulación de aproximación rápida, o un módulo de estimación de campo acústico.

El módulo de simulación estocástica puede implementarse como una simulación estocástica que se usa para formar rápidamente una estimación que mejora gradualmente del campo acústico. El enfoque se usa habitualmente en simulaciones de sistema de lentes ópticas. Rayos acústicos discretos se emiten aleatoriamente desde los elementos de transductor, y se usan las técnicas de trazado de rayo para modelar su propagación hacia el volumen de interés. La estimación obtenida es aproximada al principio, y mejora con el tiempo cuando se simulan más rayos.

El módulo de simulación de aproximación rápida puede implementarse usando un algoritmo para aproximar la trayectoria acústica. En este algoritmo, la trayectoria acústica se aproxima como que consiste en una pila de materiales homogéneos restringida entre interfaces planas. Tales geometrías especiales son habituales en el campo de la óptica de difracción, y se han desarrollado algoritmos computacionalmente superiores que utilizan la transformación rápida de Fourier. Se logra la velocidad de simulación máxima si se usa el mismo modelo de geometría para todos los elementos de transductor. Para una precisión mejorada, los elementos de transductor pueden dividirse en grupos de elementos, teniendo cada uno su propia aproximación de la geometría.

El módulo de estimación de campo acústico puede implementarse usando un algoritmo que estima el campo acústico. En este algoritmo, el campo acústico se estima primero a partir de un subconjunto pequeño de los

elementos de transductor, y se incluyen gradualmente más elementos para mejorar la estimación. Los elementos se eligen distribuidas de manera bastante uniforme sobre la superficie de transductor, de manera que la distribución de intensidad intermedia es representativa de la distribución final para todos los elementos de transductor. La simulación puede interrumpirse una vez que la precisión deseada se obtiene. La resonancia de fase de los elementos simulados puede estimarse usando este enfoque, y por tanto también la calidad de focalización.

La memoria 342 de ordenador comprende además un módulo 360 de modificación de plan de tratamiento. El módulo de modificación de plan de tratamiento comprende instrucciones ejecutables por máquina para realizar la modificación del plan de tratamiento usando los datos de termometría por resonancia magnética y/o los datos de imágenes por resonancia magnética.

Aunque la invención se ha ilustrado y descrito en detalle en los dibujos y descripción anterior, tales ilustración y descripción deben considerarse ilustrativas o a modo de ejemplo y no restrictivas; la invención no se limita a las realizaciones dadas a conocer.

Otras variaciones a las realizaciones dadas a conocer pueden entenderse y efectuarse por los expertos en la técnica durante la práctica de la invención reivindicada, a partir de un estudio de los dibujos, la divulgación y las reivindicaciones adjuntas. En las reivindicaciones, la palabra “que comprende” no excluye otros elementos o etapas, y el artículo indefinido “un” o “una” no excluye una pluralidad. Un único procesador u otra unidad puede cumplir las funciones de diversos elementos mencionados en las reivindicaciones. El simple hecho de que determinadas medidas se mencionan en reivindicaciones dependientes mutuamente diferentes no indica que una combinación de estas medidas no pueda usarse de manera ventajosa. Un programa de ordenador puede almacenarse y/o distribuirse en un medio adecuado, tal como un medio de almacenamiento óptico o un medio de estado sólido suministrado junto con o como parte de otro hardware, pero también puede distribuirse de otras formas, tales como a través de Internet u otros sistemas de telecomunicaciones inalámbricos o por cable. Cualquier signo de referencia en las reivindicaciones no debe entenderse como que limite el alcance.

Lista de números de referencia

300 sistema de formación de imágenes por resonancia magnética

302 sistema de ultrasonido focalizado de alta intensidad

304 dispositivo informático

306 imán

308 bobina de gradiente de campo magnético

310 suministro de potencia de bobina de gradiente de campo magnético

312 bobina de transceptor de radiofrecuencia

314 transceptor de radiofrecuencia

316 volumen de formación de imágenes

318 soporte de sujeto

320 sujeto

322 volumen objetivo

324 volumen de sonicación

326 transductor ultrasónico

328 cámara llena de fluido

330 trayectoria de ultrasonido

332 ventana ultrasónica

334 almohadilla de gel

336 interfaz de hardware

338 microprocesador

340 almacenamiento de ordenador

342 memoria de ordenador

344 interfaz de usuario

346 plan de tratamiento

348 datos de imágenes por resonancia magnética

350 datos de termometría por resonancia magnética

352 módulo de control de sistema de formación de imágenes por resonancia magnética

354 módulo de reconstrucción de datos por resonancia magnética

356 modulo de control de sistema de ultrasonido focalizado de alta intensidad

358 módulo de modelado por ultrasonidos

360 módulo de modificación de plan de tratamiento

REIVINDICACIONES

1. Aparato terapéutico que comprende:

- un sistema (302) de ultrasonido focalizado de alta intensidad adaptado para sonicar un volumen (324) de sonicación de un sujeto (320);

- un sistema (300) de formación de imágenes por resonancia magnética adaptado para adquirir datos (350) de termometría por resonancia magnética a partir de núcleos del sujeto ubicados dentro de un volumen (316) de formación de imágenes, en el que el volumen de sonicación está dentro del volumen de formación de imágenes; y

- un controlador (304) adaptado para controlar el aparato terapéutico, en el que el controlador está adaptado para recibir un plan (346) de tratamiento que especifica un volumen (322) objetivo dentro del volumen de formación de imágenes, en el que el plan de tratamiento comprende instrucciones para controlar el funcionamiento del sistema de ultrasonido focalizado de alta intensidad, en el que el controlador está adaptado para sonicar (100) el volumen objetivo usando el sistema de ultrasonido focalizado de alta intensidad ejecutando el plan de tratamiento, en el que el controlador está adaptado para adquirir (102) repetidamente datos de termometría por resonancia magnética usando el sistema de formación de imágenes por resonancia magnética durante la ejecución del plan de tratamiento, y en el que el controlador está adaptado para modificar (104) el plan de tratamiento durante la ejecución del plan de tratamiento usando los datos de termometría por resonancia magnética;

en el que el controlador es un dispositivo (304) de computación que comprende un procesador (338); en el que el aparato terapéutico comprende además un medio (342) de almacenamiento legible por ordenador que contiene instrucciones para la ejecución por el procesador, en el que la ejecución de las instrucciones provoca que el procesador controle el aparato terapéutico para realizar un método para sonicar un volumen (322) objetivo; en el que el método comprende las etapas de:

- recibir (200) el plan de tratamiento que especifica el volumen objetivo dentro del volumen de formación de imágenes;

- adquirir (202) datos (348) de imágenes por resonancia magnética usando el sistema de formación de imágenes por resonancia magnética;

- registrar (204) los datos de imágenes por resonancia magnética en el plan de tratamiento;

- modificar (206) el plan de tratamiento usando el registro de los datos de imágenes por resonancia magnética en el plan de tratamiento;

- controlar (208) el sistema de ultrasonido focalizado de alta intensidad ejecutando el plan de tratamiento;

- adquirir (210) datos de termometría por resonancia magnética repetidamente durante la ejecución del plan de tratamiento; y

- modificar (212) el plan de tratamiento usando los datos de termometría por resonancia magnética adquiridos repetidamente;

en el que el método comprende además actualizar repetidamente los datos de formación de imágenes por resonancia magnética durante la ejecución del plan de tratamiento, en el que el método comprende además modificar el plan de tratamiento usando los datos de formación de imágenes por resonancia magnética actualizados repetidamente; y caracterizado porque la etapa de modificar el plan de tratamiento usando los datos de imágenes por resonancia magnética actualizados repetidamente comprende modelar la transmisión de ultrasonido desde un transductor (326) de ultrasonido focalizado de alta intensidad del sistema de ultrasonido focalizado de alta intensidad hasta el volumen objetivo usando los datos de formación de imágenes por resonancia magnética actualizados repetidamente.

2. Aparato terapéutico según la reivindicación 1, en el que la modificación del plan de tratamiento se produce durante la sonicación del volumen objetivo.

3. Aparato terapéutico según la reivindicación 1, en el que el medio de almacenamiento legible por ordenador comprende además instrucciones para implementar un módulo de simulación estocástica para modelar la transmisión de ultrasonido desde el transductor de ultrasonido focalizado de alta intensidad hasta el volumen objetivo usando los datos de formación de imágenes por resonancia magnética actualizados repetidamente; y en el que el módulo de simulación estocástica comprende instrucciones para usar una simulación estocástica para modelar la transmisión de ultrasonido desde el transductor de ultrasonido focalizado de alta intensidad hasta el volumen objetivo calculando predicciones aproximadas que mejoran

con un tiempo de simulación en aumento.

4. Aparato terapéutico según la reivindicación 1, en el que el medio de almacenamiento legible por ordenador comprende además instrucciones para implementar un módulo de simulación de aproximación rápida para modelar la transmisión de ultrasonido desde el transductor de ultrasonido focalizado de alta intensidad hasta el volumen objetivo usando los datos de formación de imágenes por resonancia magnética actualizados repetidamente; y en el que el módulo de simulación de aproximación rápida comprende instrucciones para modelar la transmisión de ultrasonido desde el transductor de ultrasonido focalizado de alta intensidad hasta el volumen objetivo aproximando la trayectoria acústica como una pila de interfaces planas.

5. Aparato terapéutico según la reivindicación 1, en el que el medio de almacenamiento legible por ordenador comprende además instrucciones para implementar un módulo de estimación de campo acústico para modelar la transmisión de ultrasonido desde el transductor de ultrasonido focalizado de alta intensidad hasta el volumen objetivo usando los datos de formación de imágenes por resonancia magnética actualizados repetidamente; en el que el módulo de estimación de campo acústico comprende instrucciones para estimar el campo acústico para un subconjunto de elementos de transductor de un transductor de ultrasonido focalizado de alta intensidad.

6. Aparato terapéutico según una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 5, en el que el método comprende además la etapa de crear el plan de tratamiento usando datos de imágenes médicas.

7. Aparato terapéutico según la reivindicación 6, en el que la etapa de crear el plan de tratamiento comprende recibir datos de planificación a partir de una interfaz (344) de usuario.

8. Producto de programa de ordenador que contiene instrucciones ejecutables por máquina para ejecución por un procesador de un controlador (304) de un aparato terapéutico, en el que el aparato terapéutico comprende un sistema (302) de ultrasonido focalizado de alta intensidad adaptado para sonicar un volumen (324) de sonicación de un sujeto (320); en el que el aparato terapéutico comprende además un sistema (300) de formación de imágenes por resonancia magnética adaptado para adquirir datos de termometría por resonancia magnética a partir de núcleos del sujeto ubicados dentro de un volumen de formación de imágenes; en el que el volumen de sonicación está dentro del volumen de formación de imágenes; en el que el controlador está adaptado para controlar el aparato terapéutico; en el que el controlador está adaptado para recibir un plan (346) de tratamiento que especifica un volumen objetivo dentro del volumen de formación de imágenes; en el que el plan de tratamiento comprende instrucciones para controlar el funcionamiento del sistema de ultrasonido focalizado de alta intensidad; en el que las instrucciones ejecutables por máquina comprenden instrucciones para:

- sonicar (100) el volumen objetivo con el sistema de ultrasonido focalizado de alta intensidad ejecutando el plan de tratamiento;

- adquirir (102) datos de termometría por resonancia magnética usando el sistema de formación de imágenes por resonancia magnética durante la ejecución del plan de tratamiento;

- modificar (104) el plan de tratamiento durante la ejecución del plan de tratamiento usando los datos de termometría por resonancia magnética;

- actualizar repetidamente los datos de formación de imágenes por resonancia magnética durante la ejecución del plan de tratamiento,

- modificar el plan de tratamiento usando los datos de formación de imágenes por resonancia magnética actualizados repetidamente; y caracterizado porque las instrucciones para modificar el plan de tratamiento usando los datos de imágenes por resonancia magnética actualizados repetidamente comprenden modelar la transmisión de ultrasonido desde un transductor (326) de ultrasonido focalizado de alta intensidad del sistema de ultrasonido focalizado de alta intensidad hasta el volumen objetivo usando los datos de formación de imágenes por resonancia magnética actualizados repetidamente.

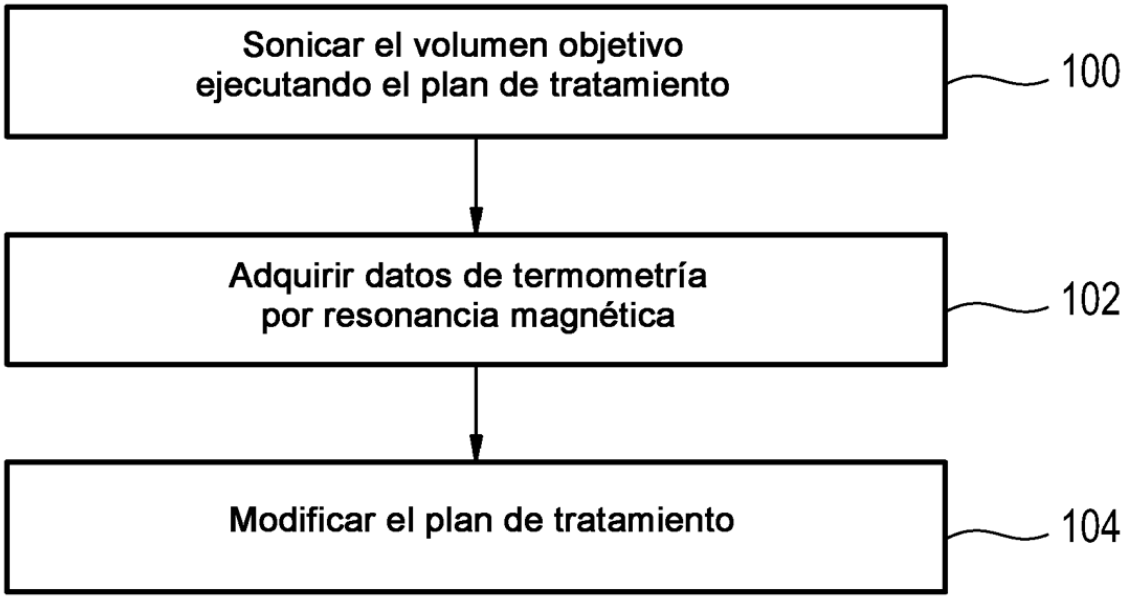
Sonicar el volumen objetivo
ejecutando el plan de tratamiento
100
Adquirir datos de termometría
por resonancia magnética
102
Modificar el plan de tratamiento
104

FIG. 1

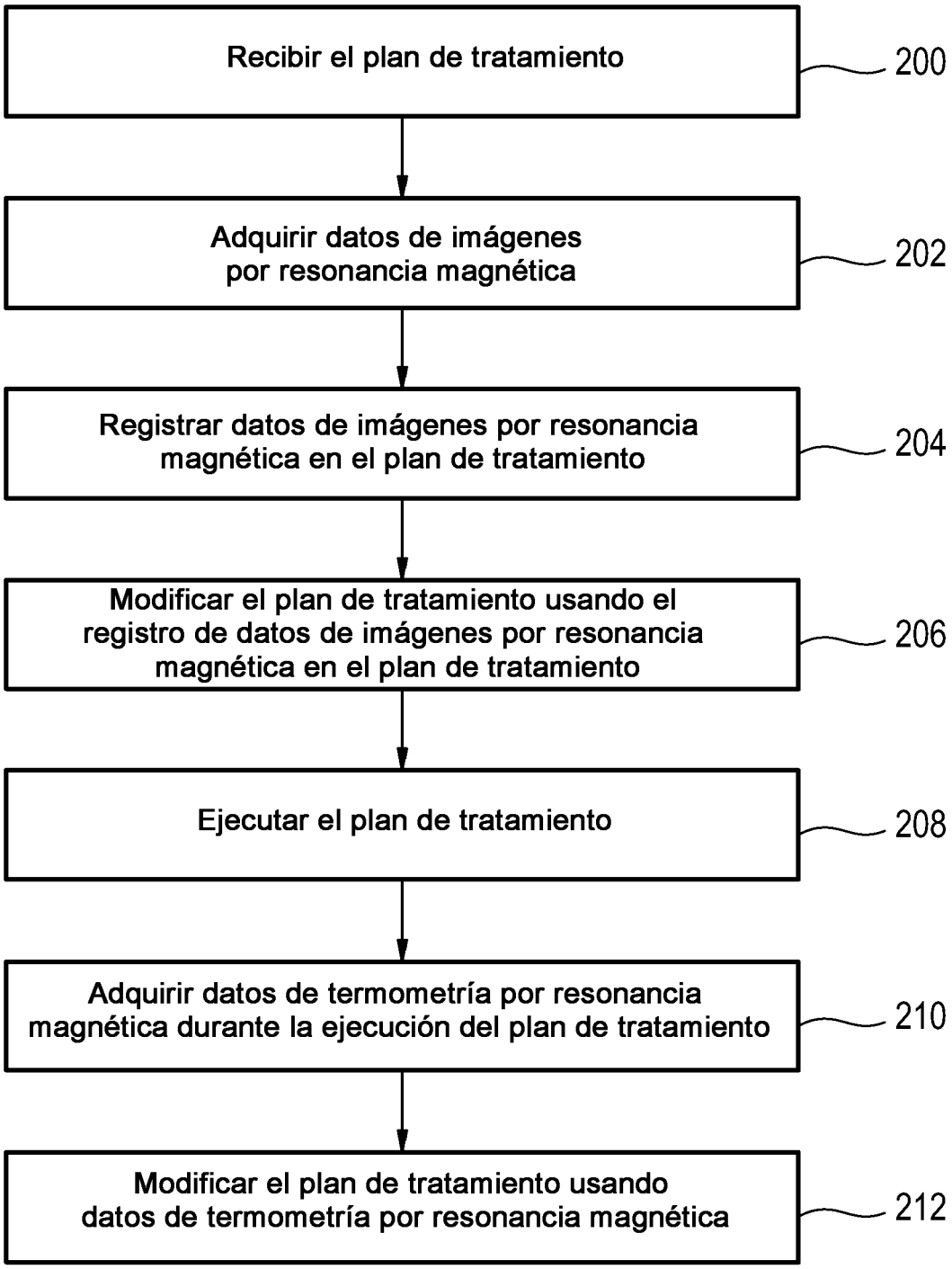
Recibir el plan de tratamiento
200
Adquirir datos de imágenes por resonancia magnética
202
Registrar datos de imágenes por resonancia magnética en el plan de tratamiento
204
Modificar el plan de tratamiento usando el registro de datos de imágenes por resonancia magnética en el plan de tratamiento
206
Ejecutar el plan de tratamiento
208
Adquirir datos de termometría por resonancia magnética durante la ejecución del plan de tratamiento
210
Modificar el plan de tratamiento usando datos de termometría por resonancia magnética
212

FIG. 2

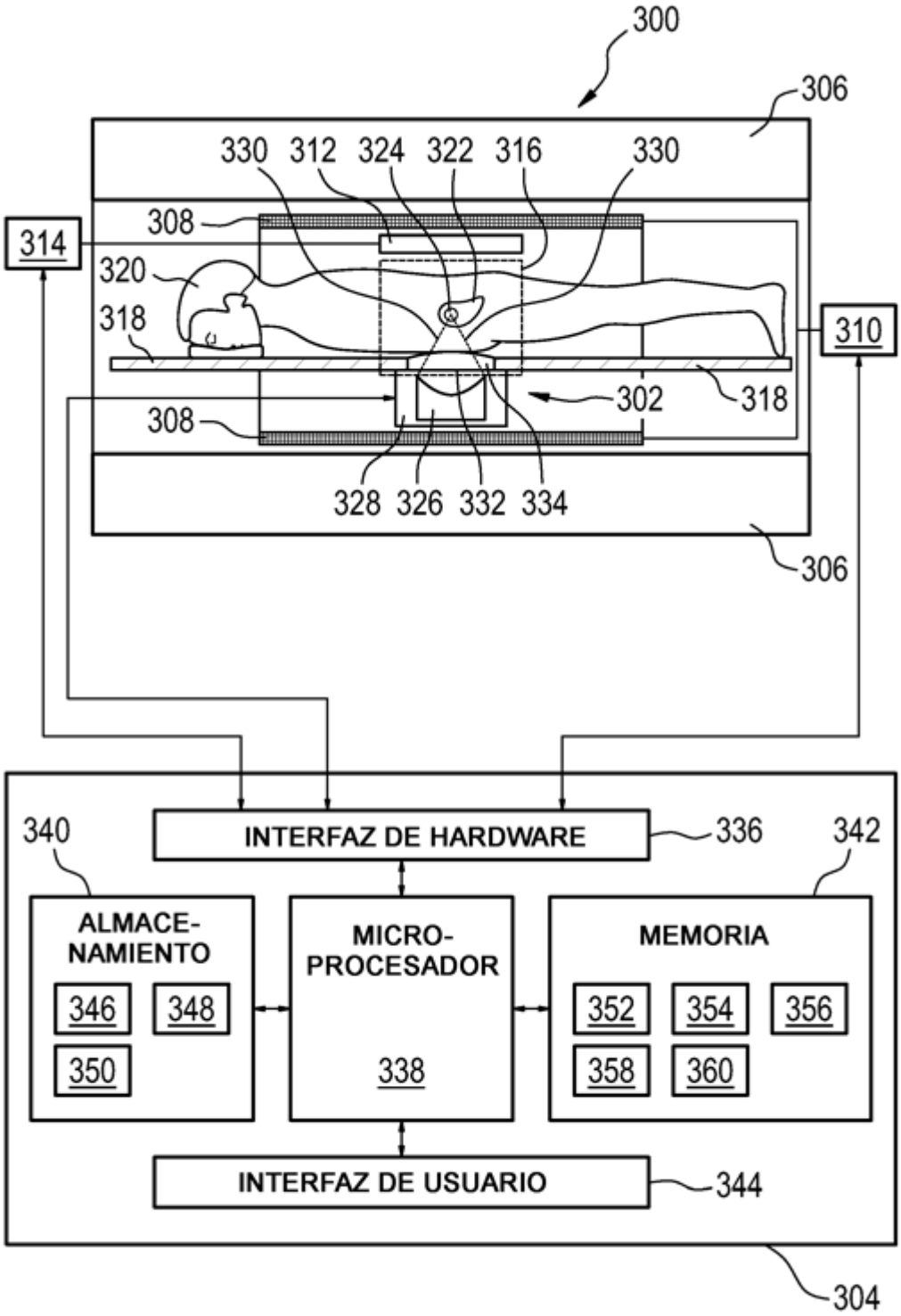
300
306
330
312
324
322
316
330
308
314
320
318
310
302
318
308
328
326
332
334
306
340
INTERFAZ DE HARDWARE
336
342
ALMACE-
NAMIENTO
346
348
350
MICRO-
PROCESADOR
338
MEMORIA
352
354
356
358
360
INTERFAZ DE USUARIO
344
304

FIG. 3