

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 963 154**

51 Int. Cl.:

A61B 34/32 (2006.01)

A61B 34/20 (2006.01)

A61B 90/00 (2006.01)

A61B 34/30 (2006.01)

A61B 34/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **25.09.2019 PCT/FR2019/052249**

87 Fecha y número de publicación internacional: **02.04.2020 WO20065209**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.09.2019 E 19795260 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.09.2023 EP 3856063**

54 Título: **Robot médico con medios de posicionamiento automático**

30 Prioridad:

27.09.2018 FR 1858917

01.03.2019 FR 1902154

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
25.03.2024

73 Titular/es:

QUANTUM SURGICAL (100.0%)
1000 rue du Mas de Verchant, ZAC Euréka
34000 Montpellier, FR

72 Inventor/es:

BLONDEL, LUCIEN;
BANEGAS, FRÉDÉRIC;
OLIVE, SÉBASTIEN;
BADANO, FERNAND y
NAHUM, BERTIN

74 Agente/Representante:

DEL VALLE VALIENTE, Sonia

ES 2 963 154 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

Robot médico con medios de posicionamiento automático

5 Campo técnico

La presente invención pertenece al campo de los robots médicos destinados a ayudar a un profesional durante una intervención médica. En particular, la invención se refiere a un robot médico que incluye medios de posicionamiento automático en una sala de operaciones, así como a un procedimiento de posicionamiento automático de un robot médico.

Estado de la técnica

Numerosas intervenciones médicas necesitan posicionar o desplazar de manera muy precisa una herramienta médica con respecto a una anatomía de interés de un paciente.

Por ejemplo, ciertas intervenciones médicas necesitan poner un generador de ultrasonidos focalizados de alta intensidad en contacto con la piel del paciente, o bien dentro del paciente, para destruir un tumor.

Según otro ejemplo, en neurocirugía, ciertas intervenciones médicas necesitan introducir un catéter, una aguja o un electrodo en una zona diana, para diagnosticar o tratar diferentes patologías.

Según aún otro ejemplo, en la cirugía ortopédica, es frecuente para el profesional tener que posicionar una broca de perforación, una fresa u otro instrumento para alterar una superficie ósea, con el fin de reducir fracturas, corregir una deformidad o mitigar una degeneración ósea.

Para algunas intervenciones descritas anteriormente, existen en la actualidad robots médicos que permiten ayudar a un profesional a colocar, mantener o guiar una herramienta médica.

Un robot médico de este tipo ejecuta, generalmente, un plan de intervención que incluye una o varias acciones a realizar en una anatomía de interés de un paciente.

Un plan de intervención de este tipo se determina, generalmente, durante una fase de planificación anterior a la intervención médica, después se transmite al robot médico, que lo memoriza, por ejemplo, en la memoria de una unidad de control integrada en el robot médico y configurada para dirigir al robot médico.

La fase de planificación puede basarse en imágenes médicas tipo escáner, tomografía computarizada, obtención de imágenes por resonancia magnética (IRM), tomografía por emisión de positrones (“positron emission tomography”, o PET, por sus siglas inglés), ecografía, radiografía, etc. El profesional puede, entonces, elegir una posición o una trayectoria de la herramienta médica, con respecto a una anatomía de interés del paciente, según una o varias imágenes médicas.

En ciertos casos, la fase de planificación se basa en una representación 3D (en tres dimensiones) de la anatomía de interés adquirida mediante un sistema de adquisición de imágenes no médicas, o mediante la construcción de un modelo geométrico de la anatomía de interés, a partir de puntos o superficies recogidas en dicha anatomía de interés.

El robot médico debe colocarse en un lugar específico de una sala de operaciones, junto a la mesa sobre la que se coloque al paciente para el que esté prevista la intervención médica, de manera que el robot médico pueda ejecutar una o varias acciones del plan de intervención. El robot médico lleva una herramienta, por ejemplo, una guía para un instrumento médico o un instrumento médico montado en un extremo de un brazo articulado, y conviene que la posición del robot médico sea tal que el brazo articulado pueda posicionar o desplazar la herramienta en todas las posiciones o trayectorias previstas en el plan de intervención. En efecto, si no se diera el caso, el recolocar al paciente o al robot en la sala de operaciones, a pesar de que todo el personal y los equipos están en condiciones estériles, podría resultar particularmente laborioso e implicar una pérdida de tiempo significativa.

El posicionamiento del robot médico es, por tanto, especialmente importante, a fin de que las acciones del plan de intervención puedan ejecutarse de manera precisa.

En la mayoría de los casos, el posicionamiento del robot médico es una operación manual que reposa en la formación y experiencia del operador, lo que puede provocar errores de posicionamiento o posicionamientos no óptimos del robot médico.

En ciertos casos, el robot médico se posiciona de manera automática en una posición óptima para ejecutar el plan de intervención. En la solicitud de patente internacional WO2017/147596, en concreto, el robot médico puede posicionarse en una posición óptima por medio de un sistema de seguimiento externo que incluye detectores ópticos configurados para detectar las posiciones de marcadores dispuestos sobre elementos de la sala de operaciones y

sobre el robot médico. Por tanto, la posición del robot médico puede definirse con respecto a estos marcadores. El sistema de seguimiento se dispone, por ejemplo, en una lámpara quirúrgica, un soporte móvil, las paredes o el techo de la sala de operaciones. La determinación precisa de la posición óptima del robot médico está condicionada, por tanto, por el buen posicionamiento del sistema de seguimiento y de los distintos marcadores. Al un operador instalar el sistema de seguimiento y los distintos marcadores, existen riesgos de errores en la posición óptima del robot médico. Asimismo, el sistema de seguimiento utiliza un mapa de la sala de operaciones para dirigir el robot médico, y conviene asegurarse de que la disposición de la sala de operaciones se ajuste a este mapa, o bien que el mapa se actualice si la disposición de la sala de operaciones cambia. Además, el robot médico puede utilizarse únicamente en una sala de operaciones preparada especialmente y mapeada para que el sistema de seguimiento pueda dirigir el robot médico.

La necesidad de un sistema fiable y fácil de instalar y mantener, por tanto, está siempre presente a la hora de posicionar un robot médico en una posición óptima en una sala de operaciones, de modo que el robot médico pueda ejecutar con precisión diferentes acciones de un plan de intervención en una anatomía de interés de un paciente. Los documentos WO 2017/076886 A1 y US-2016/331474 A1 también constituyen un estado de la técnica pertinente.

Descripción de la invención

La presente invención se define por las reivindicaciones independientes 1 y 11 adjuntas. Se definen unas realizaciones particulares de la invención, mediante las reivindicaciones dependientes adjuntas. La presente invención tiene por objeto remediar todos o parte de los inconvenientes de la técnica anterior, especialmente los que se expusieron anteriormente, proponiendo una solución que permita posicionar un robot médico de manera autónoma en una posición óptima en una sala de operaciones cualquiera para poder ejecutar diferentes acciones de un plan de intervención sobre un paciente colocado sobre una mesa de dicha sala de operaciones. Se entiende por “sala de operaciones cualquiera”, que dicha sala no está preparada específicamente para que el robot médico sea funcional en esta sala, y que el robot médico no posee *a priori* un mapa de la sala, o información relativa a la disposición de la sala antes del comienzo del procedimiento de posicionamiento del robot médico en la sala de operaciones.

Para ello, y según un primer aspecto, la presente invención propone un procedimiento de posicionamiento automático de un robot médico para realizar una intervención médica en un paciente. El robot médico incluye una base móvil motorizada que permite desplazar el robot médico, y una unidad de control que memoriza un plan de intervención que incluye al menos una acción a realizar sobre una anatomía de interés de dicho paciente. El procedimiento de posicionamiento incluye las etapas siguientes, ejecutadas de manera autónoma por el robot médico:

- detección de la posición de la anatomía de interés del paciente con respecto a una posición del robot médico,
- identificación, a partir de la posición de la anatomía de interés del paciente y del plan de intervención, de al menos dos posiciones favorables de la base móvil del robot médico en las que el robot médico pueda realizar dicha al menos una acción del plan de intervención,
- desplazamiento de la base móvil del robot médico a una posición óptima seleccionada entre las posiciones favorables identificadas.

En la presente solicitud, el término “médico”, debe considerarse en el sentido amplio, y puede referirse tanto a un contexto no quirúrgico como a un contexto quirúrgico.

Un robot médico de este tipo puede incluir, por ejemplo, un brazo articulado con varios grados de libertad, en cuyo extremo se pueda montar una herramienta, por ejemplo, una guía para un instrumento médico, o un instrumento médico, tal como un generador de ultrasonidos, una guía para un catéter, una aguja, un electrodo, una sonda, un bisturí, una broca de perforación, etc.

Según otro ejemplo, un robot médico de este tipo puede utilizarse, por ejemplo, para realizar imágenes médicas (escáner, IRM, radiografía mediante rayos X, etc.). En este caso, el robot médico puede incluir, por ejemplo, un aparato médico de obtención de imágenes montado sobre un soporte.

El brazo o el soporte en el que se monta la herramienta (guía para un instrumento médico, instrumento médico o aparato médico de obtención de imágenes) está integrado en la base móvil motorizada del robot médico.

El robot médico se configura para identificar de manera autónoma al menos dos posiciones favorables de la base móvil del robot médico en las que el robot médico podría ejecutar cada acción de un plan de intervención.

Una posición favorable de la base móvil del robot médico se determina en función de la posición de la anatomía de interés del paciente, el plan de intervención y, posiblemente, la posición de una mesa de una sala de operaciones sobre la cual se coloque al paciente.

Las posiciones del robot médico, la mesa, la anatomía de interés del paciente y, posiblemente, otros elementos de la sala de operaciones, se definen en un mismo punto de referencia espacial. Estas posiciones se detectan, por ejemplo,

por el robot médico a través de medios de localización espacial, tales como cámaras, telémetros, sensores inerciales, ópticos u odométricos, etc. Estos medios de localización espacial los lleva el robot médico, es decir, están integrados en la base móvil del robot médico.

5 Conviene observar que en la técnica anterior la posición de la anatomía de interés se conoce a veces *a priori* con respecto a una referencia de la sala de operaciones. Un simple cambio de referencia de esta posición conocida en una referencia del robot médico, no es una “detección” de la posición de interés en el sentido de la invención. En la invención, la posición de la anatomía de interés del paciente no se conoce *a priori*. El robot médico la detecta completamente durante el procedimiento según la invención.

10 Por “anatomía de interés” del paciente, se entiende al menos una parte del cuerpo humano del paciente para la cual se pretenda realizar un tratamiento mediante el plan de intervención.

15 El plan de intervención incluye una o varias acciones a realizar en la anatomía de interés del paciente. Una acción del plan de intervención corresponde, por ejemplo, a poder manipular una herramienta en un volumen predeterminado, a colocar una herramienta de intervención en una posición predeterminada, o bien a desplazar esta herramienta según una trayectoria predeterminada con respecto a la anatomía de interés del paciente. Según otro ejemplo, una acción del plan de intervención puede también consistir en hacer que la herramienta ejecute una operación particular, como, por ejemplo, encender un generador de ultrasonidos o modificar la intensidad de emisión de los ultrasonidos, o bien
20 activar la captura de una imagen médica. Estos ejemplos no son exhaustivos y, evidentemente, son posibles otros tipos de acciones. Una acción del plan de intervención es una acción que el robot médico tendrá que ejecutar durante la intervención, posteriormente al procedimiento de posicionamiento automático del robot médico en una posición óptima. La ejecución de las acciones del plan de intervención no forma parte, por tanto, del procedimiento de posicionamiento automático del robot médico.

25 Se entiende que una etapa del procedimiento de posicionamiento del robot médico se implementa de manera autónoma por el robot médico, cuando se ejecuta por el robot médico, y solo él, sin la ayuda de otro dispositivo u operador humano. En particular, esto significa que la información que provenga de los sensores utilizados para identificar la o las posiciones favorables, se proporciona exclusivamente por los sensores que lleva el robot médico.

30 Con el fin de implementar el procedimiento de posicionamiento, el robot médico no necesita tener un mapa de la sala de operaciones, ni conocer información específica sobre la disposición de la sala de operaciones, antes del comienzo del procedimiento de posicionamiento.

35 El conjunto de estas disposiciones permite posicionar automáticamente, y con precisión, el robot médico con respecto a la anatomía de interés a tratar, de manera que la intervención médica se realice de la manera más óptima posible. De este modo, el procedimiento de posicionamiento automático de un robot médico se facilita y se hace fiable.

40 En particular, el posicionamiento automático se facilita, ya que no hay necesidad de utilizar o de mantener un dispositivo adicional, como, por ejemplo, un sistema de seguimiento que ayude a dirigir y a posicionar el robot.

45 En particular, el posicionamiento automático se hace fiable, ya que el procedimiento de posicionamiento automático del robot médico según la invención, limita los riesgos de errores relacionados, por ejemplo, con la intervención de un operador humano o con la instalación de un dispositivo adicional necesario para manejar el robot médico.

La posición óptima del robot médico se determina por medio de la información que provenga de los sensores integrados en la base móvil del robot médico, y no de sensores externos al robot médico. De este modo, la calibración de los sensores se facilita y se hace fiable.

50 La posición óptima de la base móvil del robot médico es la que permite el tratamiento más adecuado de la anatomía de interés mediante el robot médico. La posición óptima del robot médico no siempre se puede definir de antemano, ya que la posición real del paciente en el momento de la intervención no corresponde necesariamente a una posición prevista o modelizada durante la fase de planificación de la intervención. Por tanto, es ventajoso que el robot pueda posicionarse automáticamente en función de la posición de la anatomía de interés del paciente en el preciso momento de la intervención, es decir, cuando se coloque al paciente en la mesa de operaciones, y se disponga a recibir el
55 tratamiento previsto en el plan de intervención.

60 El procedimiento de posicionamiento automático según la invención es también ventajoso en cuanto a que el robot médico puede intervenir en cualquier sala de operaciones, ya que no se necesita preparar específicamente la sala de operaciones para que el robot médico pueda intervenir. En efecto, el robot médico no tiene que conocer información específica sobre la sala de operaciones, y en particular, no tiene que memorizar un mapa de la sala de operaciones antes del comienzo del procedimiento de posicionamiento.

65 Como no es necesario proporcionar un mapa de la sala de operaciones al robot médico, no se precisa mantener un mapeo de este tipo. De hecho, no es necesario actualizar un mapeo de este tipo si la disposición de la sala de operaciones cambia. De este modo, se reducen las tareas de mantenimiento relativas a las intervenciones médicas

asistidas por un robot médico. Además, esto permite limitar los riesgos de errores relacionados, por ejemplo, cuando inadvertidamente se desplacen algunos elementos de la sala de operaciones que se habrían mapeado (por ejemplo, los marcadores), y cuya posición ya no correspondería exactamente a la posición indicada por el mapa proporcionado al robot médico.

5 Asimismo, con el procedimiento de posicionamiento automático según la invención, un mismo robot médico puede intervenir en cualquier sala de operaciones. Esto limita, entonces, los costes relativos a las intervenciones médicas asistidas por un robot, ya que no hay necesidad de asociar un robot médico a cada sala de operaciones, o bien preparar específicamente una sala de operaciones para que un robot médico sea funcional en la misma.

10 En realizaciones particulares, la invención puede incluir, además, una o varias de las siguientes características, tomadas de manera aislada, o según todas las combinaciones técnicamente posibles.

15 En realizaciones particulares, se coloca al paciente sobre una mesa de una sala de operaciones, y el procedimiento incluye una detección de la posición de la mesa. La identificación de al menos una posición favorable de la base móvil del robot médico se efectúa también a partir de la posición de la mesa.

20 En realizaciones particulares, la detección de la posición de la mesa y la detección de la anatomía de interés del paciente se efectúan a partir de información que provenga de los sensores de localización espacial que lleve el robot médico.

De hecho, una mesa de este tipo es un elemento que puede identificar el robot médico, por ejemplo, utilizando un algoritmo de reconocimiento de formas ejecutado por la unidad de control del robot médico.

25 En realizaciones particulares, el robot está desprovisto inicialmente de un mapa de la sala de operaciones.

En realizaciones particulares, el procedimiento incluye, además, las etapas siguientes, realizadas de manera autónoma por el robot médico:

- 30 - generación de un mapa de la sala de operaciones sobre el que se represente una posición del robot médico, la posición de la mesa, la posición de la anatomía de interés del paciente, y la posición óptima,
- determinación, a partir de dicho mapa, de una trayectoria del robot médico para alcanzar dicha posición óptima.

35 En realizaciones particulares:

- el robot médico incluye un brazo articulado y una herramienta montada en un extremo de dicho brazo, controlándose una o varias articulaciones de dicho brazo mediante la unidad de control del robot médico, para
- 40 posicionar el brazo según una configuración posible,

- una posición favorable consiste en una posición de la base móvil del robot médico en la que exista, para cada acción del plan de intervención, al menos una configuración posible del brazo articulado, que permita realizar dicha
- 45 acción,

- el procedimiento incluye un cálculo, para cada acción del plan de intervención y para cada posición favorable identificada, de un parámetro de accesibilidad en función de una cantidad de configuraciones posibles del brazo articulado para realizar dicha acción cuando la base móvil del robot médico se posicione en dicha posición favorable,

- 50 - la posición óptima se selecciona en función de los parámetros de accesibilidad de las posiciones favorables identificadas.

De este modo, es posible, por ejemplo, seleccionar la posición óptima como aquella en la que el parámetro de accesibilidad para una acción particular del plan de acción sea el mayor.

55 En realizaciones particulares, el parámetro de accesibilidad se calcula, además, en función de los movimientos libres disponibles de las articulaciones del brazo para cada una de dichas configuraciones posibles del brazo. En realizaciones particulares:

- 60 - el procedimiento incluye, además, un cálculo, para cada posición favorable identificada, de un nivel global de accesibilidad del plan de intervención, calculándose dicho nivel global de accesibilidad en función de los parámetros de accesibilidad de cada acción del plan de intervención, cuando la base móvil del robot médico se posicione en dicha posición favorable,

- 65 - la posición óptima se selecciona en función de los niveles globales de accesibilidad calculados para las posiciones favorables identificadas.

Por tanto, es posible definir la posición óptima de la base móvil del robot médico como aquella que presente el nivel global de accesibilidad mayor entre las diferentes posiciones favorables identificadas.

5 El nivel global de accesibilidad para una posición favorable identificada puede definirse, por ejemplo, como la suma de los parámetros de accesibilidad de cada acción del plan de intervención cuando la base móvil del robot médico se posicione en dicha posición favorable. Adicionalmente, el nivel global de accesibilidad puede definirse ponderando los parámetros de accesibilidad en función de la importancia de una acción con respecto a otras acciones del plan de intervención

10 Dichas disposiciones permiten una mayor flexibilidad durante la intervención. En efecto, el profesional podría potencialmente elegir, cuando el robot se posicione en la posición óptima, durante la intervención, entre varias posibles configuraciones para realizar cualquier acción del plan de intervención. La preferencia de una configuración particular frente a otra podrá depender del desarrollo de la intervención.

15 En realizaciones particulares, una acción del plan de intervención consiste en permitir desplazar la herramienta en un volumen predeterminado con respecto a dicha anatomía de interés del paciente.

20 En realizaciones particulares, una acción del plan de intervención consiste en permitir el desplazamiento de la herramienta según una trayectoria predeterminada con respecto a dicha anatomía de interés del paciente.

En realizaciones particulares, una acción del plan de intervención consiste en colocar la herramienta en una posición predeterminada con respecto a dicha anatomía de interés del paciente. Según la invención, se identifican al menos dos posiciones favorables diferentes, y el procedimiento incluye las etapas siguientes:

25 - comprobación de un criterio de estabilidad de la base móvil del robot médico en la posición óptima seleccionada,

30 - si dicha comprobación es positiva, se inmoviliza la base móvil del robot médico en dicha posición óptima,

- si dicha comprobación es negativa, se desplaza la base móvil del robot médico a otra posición seleccionada entre las posiciones favorables.

35 En realizaciones particulares, el robot médico incluye pies retráctiles destinados a bajarse para inmovilizar la base móvil del robot médico, incluyendo cada pie un sensor que permite medir un defecto local en la planitud del suelo respecto a dicho pie, y la comprobación de un criterio de estabilidad incluye, para cada pie, una comparación con un umbral predeterminado de la medición del defecto local en la planitud del suelo para dicho pie. Según la invención, el robot médico incluye pies retráctiles destinados a bajarse para inmovilizar la base móvil del robot médico, incluyendo cada pie un sensor que permite medir un peso soportado por dicho pie, y la comprobación de un criterio de estabilidad incluye, para cada pie, una comparación con un umbral predeterminado de la medición del peso soportado por dicho pie.

45 En realizaciones particulares, la posición óptima se selecciona en función de preferencias de un operador almacenadas en la unidad de control.

50 Unas disposiciones de este tipo permiten adaptar la posición del robot médico a las necesidades específicas de una intervención o a las preferencias de un operador, como, por ejemplo, la posición prevista del paciente sobre la mesa (decúbito ventral, dorsal o lateral), la preferencia de un lado de la mesa para instalar el robot, la preferencia de lateralidad del profesional (dependiendo de si el profesional es diestro o zurdo), etc.

En realizaciones particulares, la posición óptima se selecciona mediante un algoritmo de aprendizaje automático, en función de información extraída de una base de datos de intervenciones médicas ya realizadas.

55 En realizaciones particulares, dicho algoritmo de aprendizaje automático utiliza una red neuronal multicapa.

60 Una posición óptima determinada sobre la base de un plan de intervención construido a partir de modelos teóricos que no tengan en cuenta la realidad de intervenciones ya realizadas, puede ser significativamente diferente de una posición óptima determinada que tenga en cuenta elementos observados en el transcurso de intervenciones pasadas, especialmente si la modelización teórica del plan de intervención es compleja. Por tanto, es ventajoso utilizar algoritmos de aprendizaje automático que tengan en cuenta información relativa a intervenciones ya realizadas.

En realizaciones particulares, el robot médico incluye una interfaz de usuario, la o las posiciones favorables identificadas se proponen a un operador por medio de dicha interfaz de usuario, y dicho operador selecciona la posición óptima.

65

Según un segundo aspecto, la presente invención se refiere a un robot médico que incluye una base móvil motorizada, sensores de localización espacial, y una unidad de control que almacena un plan de intervención que incluye al menos una acción a realizar sobre una anatomía de interés de un paciente. La unidad de control se configura para:

- 5 - detectar, a partir de información que provenga de los sensores de localización espacial, una posición de la anatomía de interés del paciente con respecto al robot médico,
- identificar, a partir de la posición de la anatomía de interés del paciente y del plan de intervención, al menos dos posiciones favorables de la base móvil del robot médico para las que el robot médico pueda realizar dicha al menos una acción del plan de intervención,
- 10 - desplazar la base móvil del robot médico a una posición óptima seleccionada entre las posiciones favorables identificadas.

15 En realizaciones particulares, la invención puede incluir, además, una o varias de las siguientes características, tomadas de manera aislada o según todas las combinaciones técnicamente posibles.

En realizaciones particulares, la unidad de control también se configura para detectar, a partir de información que provenga de los sensores de localización espacial, una posición de una mesa de una sala de operaciones sobre la cual se coloque al paciente, y para identificar la o las posiciones favorables en función de la posición de la mesa.

En realizaciones particulares, la unidad de control también se configura para:

- 25 - generar un mapa de la sala de operaciones sobre el que se representen una posición del robot médico, la posición de la mesa, la posición de la anatomía de interés del paciente, y la posición óptima,
- determinar, a partir de dicho mapa, una trayectoria del robot médico para alcanzar dicha posición óptima.

En realizaciones particulares, el robot médico incluye, además, sensores de ayuda para la detección de la anatomía de interés del paciente, que cooperan con marcadores posicionados sobre dicha anatomía de interés.

Dichos marcadores pueden, por ejemplo, generar señales luminosas o electromagnéticas que permitan a unos sensores específicos calcular una distancia entre el robot médico y la anatomía de interés.

35 En realizaciones particulares, la unidad de control identifica dicha al menos una posición favorable, exclusivamente a partir del plan de intervención y de información que provenga de los sensores que lleva el robot médico.

En realizaciones particulares, el robot médico incluye un brazo articulado y una herramienta montada en un extremo de dicho brazo. La unidad de control del robot médico controla una o varias articulaciones del brazo, para posicionar el brazo en una configuración posible. Por tanto, una posición favorable consiste en una posición de la base móvil del robot médico en la que exista, para cada acción del plan de intervención, al menos una configuración posible del brazo articulado para realizar dicha acción. La unidad de control se configura para:

- 45 - calcular, para cada acción del plan de intervención y para cada posición favorable identificada, un parámetro de accesibilidad en función de una cantidad de configuraciones posibles del brazo articulado, para realizar dicha acción cuando la base móvil del robot médico se posicione en dicha posición favorable,
- seleccionar la posición óptima en función de los parámetros de accesibilidad de las posiciones favorables identificadas.

50 Según la invención, la unidad de control se configura, además, para:

- comprobar un criterio de estabilidad de la base móvil del robot médico en la posición óptima seleccionada,
- 55 - si dicha comprobación es positiva, se activa una inmovilización de la base móvil del robot médico en dicha posición óptima,
- si dicha comprobación es negativa, se desplaza la base móvil del robot médico a otra posición seleccionada entre las posiciones favorables.

60 En realizaciones particulares, el robot médico incluye pies retráctiles destinados a bajarse para inmovilizar la base móvil del robot médico, incluyendo cada pie un sensor que permite medir un defecto local de planitud del suelo respecto a dicho pie, y a comprobar el criterio de estabilidad, la unidad de control compara, para cada pie, con un umbral predeterminado, la medición del defecto local de planitud del suelo para dicho pie.

65

Según la invención, el robot médico incluye pies retráctiles destinados a bajarse para inmovilizar la base móvil del robot médico, incluyendo cada pie un sensor que permite medir un peso soportado por dicho pie, y para comprobar el criterio de estabilidad, la unidad de control compara, para cada pie, con un umbral predeterminado, la medición del peso soportado por dicho pie.

5

Presentación de las figuras

La invención se comprenderá mejor con la lectura de la siguiente descripción, facilitada a modo de ejemplo, en absoluto limitativo, y realizada haciendo referencia a las Figuras 1 a 5, que representan:

10

- la Figura 1: una representación esquemática de un robot médico en una sala de operaciones que incluye una mesa sobre la cual se coloca a un paciente,

15

- la Figura 2: una representación esquemática detallada de un robot médico según la invención,

- la Figura 3: una representación esquemática de un mapa de una sala de operaciones generado por el robot médico, y de una trayectoria que debe tomar para alcanzar una posición óptima para tratar al paciente,

20

- la Figura 4: las principales etapas de una realización particular de un procedimiento de posicionamiento automático de un robot médico según la invención,

- la Figura 5: las principales etapas de una realización particular de una selección de, entre varias posiciones favorables, una posición óptima de un robot médico.

25

En estas figuras, referencias idénticas de una figura a otra designan elementos idénticos o análogos. Por motivos de claridad, los elementos representados no están necesariamente a una misma escala, salvo que se mencione lo contrario.

Descripción detallada de las realizaciones

30

La Figura 1 representa esquemáticamente un robot médico 10 según la invención, en una sala 50 de operaciones. La sala 50 de operaciones incluye, de manera convencional, una mesa 40 sobre la cual se coloca a un paciente 30.

35

El robot médico 10 posee una base móvil 13 motorizada que permite al robot médico 10 desplazarse. En el ejemplo considerado e ilustrado a modo de ejemplo en la Figura 1, la base móvil 13 del robot médico 10 está provista de ruedas 11. Según otros ejemplos de realización, la base móvil 13 del robot médico 10 podría estar provista de otros medios de desplazamiento, como, por ejemplo, orugas. Preferiblemente, la base móvil 13 es omnidireccional, es decir, que permite al robot médico 10 desplazarse por el suelo, en todas las direcciones, mediante movimientos de traslación y/o de rotación.

40

En el ejemplo considerado e ilustrado en la Figura 1, el robot médico 10 incluye un brazo articulado 14 en cuyo extremo se puede montar una herramienta 15. Entonces, un robot médico 10 de este tipo puede utilizarse para ayudar a un profesional a posicionar, a mantener o a guiar la herramienta 15.

45

El brazo articulado 14 incluye, preferiblemente, al menos seis grados de libertad, para poder posicionar y/o desplazar la herramienta 15, en el espacio. Sin embargo, nada impide que el brazo tenga una cantidad diferente de grados de libertad.

50

Por ejemplo, la herramienta 15 puede ser un generador de ultrasonidos focalizados de alta intensidad, que convenga posicionar en contacto con la piel o dentro del paciente 30, para destruir un tumor.

Según otro ejemplo, la herramienta 15 puede ser una guía para implantar un instrumento, tal como un catéter, un electrodo o una aguja, en una zona diana del paciente 30.

55

Para ciertas intervenciones mínimamente invasivas o percutáneas, la herramienta 15 puede ser un instrumento médico, una sonda o un electrodo que convenga introducir de manera muy precisa en un órgano diana, para permitir una biopsia, una resección o una extirpación de parte de la anatomía del paciente 30.

60

Según otro ejemplo más, la herramienta 15 puede ser un aparato de adquisición de imágenes médicas. En realizaciones particulares, dicho aparato puede montarse sobre un soporte unido a la base móvil 13 del robot médico 10, mejor que al final de un brazo articulado 14.

En el resto de la descripción, se considera a modo de ejemplo y de manera no limitativa, la opción de que una herramienta 15 se monte en el extremo de un brazo articulado 14 del robot médico 10.

65

Es importante que el brazo 14 del robot médico 10 pueda, con la máxima precisión posible, posicionar la herramienta 15 en una posición predeterminada o desplazar la herramienta 15 en un espacio predeterminado o según una trayectoria predeterminada. Para ello, conviene identificar una posición óptima de la base móvil 13 del robot médico 10, desde la cual el brazo articulado 14 del robot médico 10 podría realizar los movimientos requeridos durante la intervención.

La base móvil 13 puede integrar ventajosamente un mecanismo de inmovilización del robot médico 10. Entonces, se prevé activar este mecanismo de inmovilización antes de la realización de la intervención médica, una vez que el robot médico 10 se posicione en una posición óptima con respecto a la posición del paciente 30, con el fin de inmovilizar la base móvil 13 del robot médico 10 en dicha posición óptima. Esto permite, en particular, estabilizar el robot médico 10 durante los movimientos del brazo 14 durante la intervención.

La calidad de la estabilización del robot médico 10 es un elemento importante para la precisión y eficacia de las acciones que realiza el robot médico 10 durante una intervención médica. Sin embargo, no se trata de un elemento esencial para el posicionamiento del robot médico 10.

El mecanismo de inmovilización puede ser de varias formas. Por ejemplo, y tal como se representa en la Figura 2, un freno 12 puede asociarse a cada rueda 11 de la base móvil 13. Cada freno 12 puede manejarse, por ejemplo, de manera convencional, por medios neumáticos, hidráulicos o eléctricos.

En realizaciones particulares, se prevén unos estabilizadores que tengan forma de pies retráctiles asociados a cilindros hidráulicos o eléctricos, para bajarlos hasta el contacto con el suelo, para soportar todo o parte del peso del robot médico 10.

El robot médico 10 se configura para identificar de manera autónoma, en función de la posición de una anatomía de interés del paciente 30 y de un plan de intervención, al menos una posición favorable de la base móvil 13 del robot médico 10, en la que el robot médico 10 podría realizar las acciones previstas en la intervención.

Por “anatomía de interés” del paciente, se entiende al menos una parte del cuerpo humano del paciente 30 sobre la que se vaya a realizar la intervención médica.

A continuación, una posición óptima de la base móvil 13 del robot médico 10 para la intervención se selecciona de entre la o las posiciones favorables identificadas. El robot médico 10 se configura para desplazarse de manera autónoma a dicha posición óptima.

Puede ser ventajoso para el robot médico 10 detectar la posición de la mesa 40, e identificar la o las posiciones favorables en función de la posición de la mesa 40. Una mesa de operaciones es, en efecto, un objeto que se puede reconocer mediante un algoritmo de reconocimiento de formas. Además, cuando se coloque al paciente sobre una mesa 40, que es el caso en la mayoría de las veces en que un paciente deba someterse a una intervención médica, la determinación de una posición favorable de la base móvil 13 del robot médico 10 debe tener en cuenta el tamaño de la mesa 40.

Sin embargo, conviene observar que la identificación de la posición de una mesa de operaciones no es indispensable para el posicionamiento del robot médico. En efecto, en ciertos casos, al paciente no necesariamente se le coloca sobre una mesa de operaciones, como, por ejemplo, cuando el robot médico se utiliza para realizar obtenciones de imágenes médicas de un paciente que se mantenga de pie en una sala de operaciones.

En el resto de la descripción, se considera a modo de ejemplo en absoluto limitativo, que el robot médico 10 detecte la posición de la mesa 40, y utilice esta información para identificar una posición favorable de la base móvil 13.

Tal como se ilustra en la Figura 2, el robot médico 10 incluye sensores 17 de localización espacial unidos a la base móvil 13.

Estos sensores 17 de localización espacial pueden ser, por ejemplo, cámaras: cámaras simples, cámaras estereoscópicas, cámaras panorámicas, cámaras montadas sobre un mástil telescópico, cámaras que efectúen rotaciones a 360°, cámaras que funcionen sobre el principio de tiempo de vuelo (“Time of Flight” o ToF, por sus siglas en inglés), cámaras de profundidad, llamadas “RGB-D” (cámaras que proporcionan simultáneamente una imagen de color y un mapa de profundidad, que caracteriza la distancia de los objetos vistos en la imagen), etc. Evidentemente, estas distintas características de cámaras pueden combinarse entre sí cuando esto sea técnicamente posible (por ejemplo, una cámara RGB-D montada sobre un mástil telescópico, y adaptada para efectuar una rotación a 360°).

Estos sensores 17 de localización espacial también pueden ser telémetros para medir la distancia a los distintos elementos del entorno: telémetros de ultrasonidos, telémetros de infrarrojos, telémetros láser, etc.

También puede tratarse de sensores propioceptivos, que permiten medir el desplazamiento de la base móvil 13: sensores odométricos, que miden el desplazamiento de las ruedas con un codificador óptico, sensores ópticos, que miden el movimiento relativo con respecto al suelo, sistemas inerciales con acelerómetros y girómetros, etc.

5 Estos sensores 17 de localización espacial son conocidos por el experto en la técnica. Permiten, por una parte, localizar los objetos en el espacio, por ejemplo, mediante métodos de reconocimiento de formas. Permiten, por otra parte, calcular las distancias que separan distintos objetos. También permiten al robot médico 10 calcular su posición, así como una distancia recorrida cuando el robot médico 10 se desplace.

10 Cuando el robot médico 10 se introduzca en una sala 50 de operaciones, los datos proporcionados por los distintos sensores 17 de localización espacial permiten particularmente detectar la mesa 40 de operaciones y el paciente 30 colocado sobre dicha mesa, y calcular las posiciones de la mesa 40 y de la anatomía de interés del paciente 30 con respecto al robot médico 10. Las posiciones de la mesa 40, del paciente 30 y del robot médico 10, pueden definirse en un mismo punto de referencia espacial, por ejemplo, un punto de referencia en tres dimensiones.

15 En particular, es posible asociar imágenes que provengan de una cámara RGB-D a imágenes médicas, mediante emparejamiento de superficie, con el fin de detectar y localizar con precisión una anatomía de interés del paciente 30. Para poner emparejar las imágenes de la cámara RGB-D a la referencia del robot médico 10, existen al menos dos técnicas conocidas. Una primera técnica consiste, por ejemplo, en asegurarse de que la toma de imagen de la cámara RGB-D sea tal que los elementos geométricos distintivos del brazo 14 del robot médico 10 aparezcan en las imágenes de la cámara RGB-D, con el fin de localizar a la vez el robot médico 10 y la anatomía de interés del paciente 30. Una segunda técnica consiste en calibrar con anterioridad la posición de la cámara RGB-D sobre el robot médico 10.

20 En realizaciones particulares, uno o varios marcadores 19 pueden posicionarse sobre la anatomía de interés del paciente 30. Estos marcadores 19 colaboran con sensores 20 del robot médico 10 con el fin de ayudar a la detección y localización de la posición de la anatomía de interés del paciente 30. Por ejemplo, un marcador 19 lumino-reflectante pasivo, o bien un marcador 19 activo que incluya un diodo electroluminescente, lo puede detectar un sensor 20 específico. Según otro ejemplo, un marcador electromagnético 19 puede emitir una señal de radio que se puede captar por un sensor 20 integrado en el robot médico 10. El tiempo que tarde una señal de radio o una señal luminosa en emitirse por un sensor 20 y reenviarse por un marcador 19, puede permitir, por ejemplo, determinar la distancia entre el marcador 19 y el sensor 20, con el fin de deducir la posición y/o la orientación de la anatomía de interés del paciente 30. El robot médico 10 lleva los sensores 20, es decir, que están unidos a la base móvil 13 del robot médico 10.

25 Los datos proporcionados por los sensores 17 de localización espacial y los sensores 20 de ayuda a la detección de la anatomía de interés del paciente 30, permiten detectar, por tanto, la posición del robot médico 10, la posición de la mesa 40 y la posición de la anatomía de interés del paciente 30 definidas entre sí en un mismo punto de referencia espacial.

30 Estos datos se comunican a una unidad 16 de control del robot médico 10. La unidad 16 de control incluye, por ejemplo, uno o varios procesadores, y una memoria 18 (disco duro magnético, memoria electrónica, disco óptico, etc.), en donde se almacena un producto de programa informático, en forma de un conjunto de instrucciones de código de programa que se han de ejecutar para implementar las diferentes etapas de un procedimiento de posicionamiento automático del robot médico 10 en una sala 50 de operaciones. De manera alternativa o complementaria, el dispositivo de control incluye un o unos circuitos lógicos programables (FPGA, PLD, etc.), y/o un o unos circuitos integrados especializados (ASIC), y/o un conjunto de componentes electrónicos diferenciados, etc., adecuados para implementar la totalidad, o parte, de dichas etapas de dicho procedimiento de posicionamiento.

35 La comunicación de los datos de los sensores 17, 20 del robot médico a la unidad 16 de control puede asegurarse, de manera convencional, mediante buses informáticos que incluyen cables eléctricos, o bien mediante sistemas de comunicación inalámbricos.

40 La unidad 16 de control está configurada, por medio de algoritmos que utilizan los datos de los sensores 17, 20 del robot médico 10, para detectar las posiciones de la mesa 40 y de la anatomía de interés del paciente 30, con respecto a la posición del robot médico 10 y, a continuación, identificar, por medio de estas posiciones, al menos una posición favorable de la base móvil 13 del robot médico 10 para la cual el robot médico 10 sea capaz de desarrollar el plan de intervención.

45 Entonces, una posición óptima de la base móvil 13 del robot médico 10 se selecciona entre el conjunto de las posiciones favorables identificadas.

50 La unidad 16 de control también se configura para manejar la base móvil 13 motorizada del robot médico 10. Entonces, la unidad 16 de control puede desplazar el robot médico 10 hasta la posición óptima seleccionada.

55 Una vez que la base móvil 13 del robot médico 10 alcance dicha posición óptima, la unidad 16 de control puede activar un mecanismo de inmovilización de la base móvil 13, con el fin de asegurar la estabilización del robot médico 10 durante la intervención.

- Según la invención, la unidad 16 de control está configurada, además, para activar la inmovilización de la base móvil 13 del robot médico 10 en la posición óptima seleccionada, únicamente si se cumple un criterio de estabilidad. En caso contrario, la unidad 16 de control está configurada para desplazar la base móvil del robot médico a otra posición seleccionada entre las posiciones favorables. Estas etapas pueden repetirse hasta que se seleccione una posición favorable para la cual se cumpla el criterio de estabilidad. Si entre las posiciones favorables identificadas no existe ninguna posición para la cual el criterio de estabilidad se cumpla, entonces se puede emitir un mensaje de alerta mediante una interfaz 21 de usuario del robot médico 10.
- El robot médico incluye pies retráctiles destinados a bajarse para inmovilizar la base móvil del robot médico. Por ejemplo, cada pie comprende una parte suspendida de la base móvil 13 del robot médico 10, así como una parte de apoyo en relación de deslizamiento con la parte suspendida. La parte de apoyo comprende un soporte del pie, destinado a apoyarse sobre la superficie del suelo cuando el pie esté en una posición de apoyo. Cuando el robot médico 10 no esté inmovilizado, los pies ocupan una posición de retracción, y no están en contacto con la superficie del suelo.
- Según un primer ejemplo, cada pie incluye un sensor que permite medir un defecto local de planitud del suelo con respecto a dicho pie. Con el fin de comprobar el criterio de estabilidad, entonces la unidad 16 de control puede comparar, para cada pie, con un umbral predeterminado, la medición del defecto local de planitud del suelo para dicho pie. Si el defecto local de planitud del suelo para uno de los pies es superior al umbral, entonces no se cumple el criterio de estabilidad. El sensor de medida de un defecto local de planitud del suelo se adapta para determinar si existe un desfase entre la posición del suelo con respecto a cada pie, en relación con una posición teórica del suelo predefinida. Este desfase corresponde a un defecto local de planitud del suelo. El sensor de medida puede ser, por ejemplo, un sensor de ultrasonidos cuyo funcionamiento como tal se conoce por el experto en la técnica. Cada sensor de ultrasonidos puede fijarse al soporte de un pie del robot médico 10, y orientarse para así medir la distancia entre dicho soporte y la superficie del suelo al que se enfrenta. La medición se realiza cuando el pie esté en una posición retraída para la que se conozca la distancia entre el soporte del pie y la superficie del suelo, en un caso teórico de ausencia de defecto local de planitud del suelo.
- Según un segundo ejemplo, en cada pie se utiliza un resorte helicoidal que trabaja en compresión en combinación con el deslizamiento de la parte suspendida con respecto a la parte de apoyo, para que dicho pie solo soporte una parte del peso del robot médico 10 cuando este último se inmoviliza. Gracias a la movilidad de la parte suspendida en relación a la parte de apoyo y al resorte helicoidal, cada pie compensa localmente posibles defectos locales de planitud del suelo, de tipo hendiduras o bultos, de manera que la base móvil 13 del robot médico 10 se soporte de manera sustancialmente horizontal, y que todos los pies se apoyen sobre el suelo a pesar de posibles defectos locales de planitud. Esto permite asegurar la estabilidad del robot médico 10. Dicho de otra manera, para cada pie, la parte de apoyo se deslizará más o menos a lo largo de la parte suspendida, y el resorte helicoidal se comprimirá más o menos, dependiendo de si hay que compensar una hendidura o un bulto. Cada pie incluye un sensor que permite medir un peso soportado por dicho pie. Se trata, por ejemplo, de un sensor de fuerza, que permite medir la compresión del resorte helicoidal. Para comprobar el criterio de estabilidad, entonces la unidad 16 de control puede comparar, para cada pie, con un umbral predeterminado, la medición del peso soportado por dicho pie. Si el peso que soporta uno de los pies es superior a un umbral correspondiente al peso máximo que puede soportar cada pie (o inferior a un umbral correspondiente a un peso mínimo que debe soportar cada pie), entonces no se satisface el criterio de estabilidad. Conviene indicar que la identificación de las posiciones favorables de la base móvil 13 del robot médico 10 se puede realizar después de una o varias etapas de desplazamientos intermedias del robot médico 10. Por ejemplo, el robot médico 10 puede acercarse, en un primer momento, a la mesa 40 para identificar con más precisión la posición de la anatomía de interés del paciente 30, antes de identificar las posiciones favorables de la base móvil 13 para la intervención.
- Las posiciones favorables de la base móvil 13 del robot médico 10 para la intervención, se identifican no solo en función de la posición de la mesa 40 y de la posición de la anatomía de interés del paciente 30, sino también en función de un plan de intervención almacenado en la memoria 18 de la unidad 16 de control.
- El plan de intervención incluye una o varias acciones a realizar en la anatomía de interés del paciente 30. Una acción del plan de intervención corresponde, por ejemplo, a poder manipular una herramienta 15 en un espacio predeterminado, a colocar la herramienta 15 en una posición predeterminada, o bien a desplazar la herramienta 15 según una trayectoria predeterminada con respecto a la anatomía de interés del paciente 30. Según otro ejemplo, una acción del plan de intervención puede también consistir en hacer que se ejecute una operación particular con la herramienta 15, como, por ejemplo, encender un generador de ultrasonidos o modificar la intensidad de emisión de los ultrasonidos, o bien activar la captura de una imagen médica.
- El plan de intervención se crea durante una fase de planificación que precede a la intervención médica. Durante esta fase de planificación, el profesional define las diferentes acciones que deberá realizar el robot médico 10.
- El plan de intervención puede generarse, por ejemplo, con la ayuda de imágenes médicas de tipo escáner de tomografía computarizada (“computerized tomography”, o CT, por sus siglas inglés), IRM, PET, ecografía, rayos X, u

otra. Un operador, generalmente el profesional que efectuará la intervención con la ayuda del robot médico 10, selecciona los parámetros de la herramienta 15 (por ejemplo, una longitud, un diámetro, una forma en 3D, una potencia de energía a suministrarse, una intensidad de corriente, un tiempo de tratamiento, etc.). Pueden planificarse una o varias trayectorias, según el tipo de tratamiento a efectuar para destruir el tumor. La planificación puede ser completamente manual, interactiva, o completamente automática con la ayuda de algoritmos de segmentación y de planificación. Estos algoritmos de ayuda a la decisión pueden basarse, por ejemplo, en sistemas expertos (sistema que puede reproducir los mecanismos cognitivos del profesional, efectuando un razonamiento a partir de hechos y de reglas conocidas) o en mecanismos inteligentes de aprendizaje automático (por ejemplo, con redes neuronales convolucionales).

De manera alternativa, o como complemento, la planificación de la intervención puede realizarse sin imágenes médicas, por medio de una representación en tres dimensiones de la anatomía de interés a tratar. Esta representación en tres dimensiones puede obtenerse mediante un sistema de adquisición de imágenes no médicas, o mediante la recopilación de puntos de referencia o superficies anatómicas, y la interpolación de un modelo estadístico o biomecánico de estos puntos de referencia o superficies. Este tipo de planificación es particularmente eficaz, por ejemplo, en las intervenciones sobre las estructuras óseas como las articulaciones (rodilla, cadera, hombro, etc.).

Las acciones del plan de intervención se codifican, por ejemplo, en forma de instrucciones conocidas por la unidad 16 de control, en un archivo informático. El archivo informático correspondiente al plan de intervención puede generarse, por ejemplo, en un ordenador distinto del robot médico 10. Entonces, el archivo se transmite al robot médico 10 y se almacena en la memoria 18 de la unidad 16 de control. Esta transmisión del archivo informático puede realizarse de diferentes formas, de manera convencional, tal como, por ejemplo, mediante una transmisión de archivo mediante llave USB (acrónimo en inglés de “Universal Serial Bus”) o bien mediante una comunicación inalámbrica.

Las acciones del plan de intervención describen, por ejemplo, las diferentes posiciones o los diferentes movimientos de la herramienta 15, con respecto a la anatomía de interés del paciente 30. La unidad 16 de control conoce, además, el modelo geométrico del brazo articulado 14 y el de la herramienta 15. Por ejemplo, el brazo 14 está equipado con codificadores que permiten conocer la posición angular de cada uno de sus ejes y, mediante cálculo, conoce la posición de la herramienta 15. Entonces, la unidad 16 de control puede determinar una o varias posiciones favorables de la base móvil 13 en las que el robot médico 10 podría realizar los gestos previstos por el plan de intervención.

Una acción del plan de intervención, es una acción que el robot médico tendrá que ejecutar durante la intervención, posteriormente al procedimiento de posicionamiento automático del robot médico. Por tanto, la ejecución de una acción de este tipo no forma parte del procedimiento de posicionamiento automático del robot médico según la invención.

En una realización particular, un algoritmo de identificación de las posiciones favorables consiste, por ejemplo, en discretizar el espacio de las posiciones posibles del robot médico 10 con respecto a la anatomía de interés del paciente 30, y en definir un parámetro de accesibilidad representativo de un número de configuraciones posibles del brazo articulado 14, que permitan realizar una acción del plan de intervención cuando la base móvil 13 del robot médico 10 se posicione en una posición dada. El brazo articulado 14 incluye una o varias articulaciones controladas por una unidad 16 de control. Una configuración posible del brazo articulado consiste en, entonces, un conjunto de valores de parámetros tomados por la o las articulaciones del brazo (por ejemplo, un ángulo de rotación, una distancia de traslación, etc.).

Se entiende por “posición posible”, una posición de la base móvil 13 del robot médico 10 en la que el brazo articulado 14 pueda alcanzar la anatomía de interés del paciente. El conjunto de las posiciones posibles corresponde, de este modo, a un espacio de trabajo en donde la anatomía de interés del paciente esté al alcance del brazo articulado 14.

Para un brazo articulado 14 del robot médico 10 que tenga más grados de libertad de lo necesario, pueden preverse varias configuraciones del brazo 14, para realizar una acción planificada. Por ejemplo, el brazo articulado 14 de un robot médico 10 antropomorfo con seis grados de libertad, puede posicionar, generalmente, una guía de agujas, según una dirección rectilínea que pase por un punto de entrada predeterminado, según varias configuraciones diferentes de sus ejes. Si solo es posible una configuración, el parámetro de accesibilidad será inferior que si son posibles dos configuraciones diferentes.

En el ejemplo considerado, una posición favorable consiste en una posición de la base móvil 13 del robot médico 10 en la que existe, para cada acción del plan de intervención, al menos una configuración posible del brazo articulado 14 que permita realizar dicha acción.

Conviene indicar la diferencia entre “posición posible” y “posición favorable”: si la anatomía de interés es accesible por el brazo articulado 14 en una posición dada de la base móvil 13, esto no significa necesariamente que exista una configuración del brazo articulado 14, cuando la base móvil 13 se posicione en esta posición, para realizar cada acción del plan de intervención.

El parámetro de accesibilidad también puede definirse en función de valores representativos de los movimientos libres disponibles de las articulaciones del brazo 14, para las diferentes configuraciones posibles de dicho brazo 14 que

5 permitan realizar una acción del plan de intervención en una posición favorable dada. El movimiento libre de una articulación está limitado, por ejemplo, por uno o varios topes. Se entiende por “movimiento libre disponible” de una articulación, un parámetro representativo de la amplitud de un movimiento permitido por dicha articulación, como, por ejemplo, un ángulo entre la posición de un segmento de la articulación para una configuración dada, y el tope más cercano.

10 Para cada posición favorable identificada, un nivel global de accesibilidad puede calcularse, entonces, en función de los parámetros de accesibilidad de todas las acciones del plan de intervención. Por ejemplo, un nivel global de accesibilidad para una posición favorable identificada puede corresponder a la suma de los parámetros de accesibilidad de todas las acciones del plan de intervención, cuando la base móvil 13 del robot médico 10 se posicione en dicha posición favorable. Evidentemente, existen otros métodos para calcular un nivel global de accesibilidad. Por ejemplo, se pueden utilizar ponderaciones en función de la importancia de una acción con respecto a otras acciones del plan de intervención.

15 La unidad 16 de control puede configurarse, entonces, para seleccionar una posición óptima entre el conjunto de las posiciones favorables identificadas, en función de los parámetros de accesibilidad o del nivel global de accesibilidad calculados para las diferentes posiciones favorables identificadas. Por ejemplo, la posición óptima puede consistir en la posición favorable para la que el parámetro de accesibilidad de una acción particular del plan de intervención tenga el valor mayor. Según otro ejemplo, la posición óptima puede corresponder a la posición favorable para la que el nivel global de accesibilidad sea el más importante.

20 Dichas disposiciones permiten una mayor flexibilidad durante la intervención. En efecto, el profesional podría potencialmente elegir, cuando el robot se posicione en la posición óptima, durante la intervención, entre varias posibles configuraciones para realizar cualquier acción del plan de intervención. La preferencia de una configuración particular frente a otra podrá depender del desarrollo de la intervención.

25 En realizaciones particulares, la unidad 16 de control implementa algoritmos de cálculo de la posición óptima, teniendo en cuenta información de una base de datos de intervenciones médicas ya realizadas: posición real del robot médico 10 con respecto a la anatomía de interés del paciente 30, parámetros de accesibilidad de las acciones planificadas y realizadas, posiciones y movimientos de la herramienta 15 inaccesibles durante la intervención, etc.

30 Estos algoritmos pueden basarse en métodos de aprendizaje automático conocidos (aprendizaje mediante redes neuronales, aprendizaje automático supervisado, semisupervisado, o no supervisado, etc.). Estos algoritmos son ventajosos, ya que en lugar de proponer posiciones óptimas teóricas, pueden proponer posiciones óptimas teniendo en cuenta la realidad de intervenciones ya realizadas, pudiendo estas últimas posiciones ser significativamente diferentes de las primeras, en función de la complejidad de la modelización teórica del problema de posicionamiento de la base móvil 13 con respecto a la anatomía de interés del paciente 30. La unidad 16 de control puede configurarse para almacenar, durante una intervención médica, información sobre la posición del robot médico 10 con respecto a la anatomía de interés del paciente 30, así como sobre parámetros de accesibilidad, de modo que estos datos se reutilicen posteriormente por algoritmos de inteligencia artificial, para optimizar el posicionamiento del robot médico 10 durante una futura intervención.

35 Unos datos de entrenamiento, que corresponden a la información relativa a las intervenciones ya realizadas, tales como las acciones planificadas que necesitan posiciones de la herramienta 15 con respecto al paciente 30, la posición real de la base móvil 13 del robot médico 10 con respecto al paciente 30 durante la intervención, las posiciones alcanzadas, las posiciones inaccesibles, los movimientos libres disponibles, y otros movimientos, se almacenan, por ejemplo, en la memoria 18 de la unidad 16 de control. Un procesador de la unidad 16 de control puede crear, entonces, un modelo profundo de red neuronal multicapa, a partir de los datos de entrenamiento. Este modelo se almacena en la memoria 18 de la unidad 16 de control. Durante intervenciones nuevas, el modelo de red neuronal entrenado se aplica a las acciones planificadas, y participa en determinar la posición óptima para realizar el plan de intervención.

40 En realizaciones particulares, las preferencias de un profesional se pueden almacenar en la memoria 18 de la unidad 16 de control, y considerarse en el momento de la selección de la posición óptima del robot médico 10. Las preferencias pueden considerar, por ejemplo, la posición prevista del paciente 30 sobre la mesa 40 de la sala 50 de operaciones (decúbito dorsal, ventral, lateral), de la lateralidad (diestro o zurdo) del profesional, de un lado preferido de la mesa 40 para instalar el robot, etc.

45 En realizaciones particulares, el robot médico 10 incluye una interfaz 21 de usuario que permite al robot médico 10 proporcionar una información al profesional, e indicar una instrucción al robot médico 10. Esta interfaz 21 de usuario incluye, por ejemplo, una pantalla, un teclado, un ratón, un botón, un joystick, una pantalla táctil, un sistema de reconocimiento de voz o de gestos, o cualquier otro medio que permita al robot médico 10 proporcionar información al profesional, y recibir por parte del profesional una señal asociada a una instrucción conocida. Por ejemplo, mejor que seleccionar de manera autónoma la posición óptima, el robot médico 10 puede proporcionar en una pantalla el conjunto de las posiciones favorables identificadas, y dejar al profesional la elección de la posición óptima entre el conjunto de estas posiciones favorables. Según otro ejemplo, durante la intervención, si son posibles varias

configuraciones del brazo articulado 14 para realizar una acción del plan de intervención, estas diferentes configuraciones pueden proporcionarse en una pantalla, con el fin de que el profesional elija la configuración preferida.

5 En realizaciones particulares, la interfaz 21 de usuario proporciona una indicación al profesional de que el robot médico 10 alcanzó la posición óptima, y el profesional puede validar esta posición, y activar la inmovilización de la base móvil 13 en dicha posición óptima.

10 En una variante, la unidad 16 de control activa de manera autónoma la inmovilización de la base móvil 13 cuando el robot médico 10 haya alcanzado la posición óptima.

En realizaciones particulares, el robot médico 10 genera un mapa de la sala 50 de operaciones para determinar la posición óptima a alcanzar.

15 La Figura 3 representa esquemáticamente un mapa 70 de la sala 50 de operaciones y una trayectoria 76 del robot médico 10 para alcanzar una posición óptima 73 para tratar al paciente 30.

20 Cabe señalar que la Figura 3 representa esquemáticamente un mapa 70 en dos dimensiones, con una vista desde arriba, pero nada impide que dicho mapa 70 se realice en tres dimensiones. Un mapa en tres dimensiones permite ventajosamente tener en cuenta mejor el tamaño de los diferentes elementos presentes en la sala 40 de operaciones.

25 Durante el procedimiento de posicionamiento automático del robot médico 10, una vez que se coloque al paciente 30 en la sala 50 de operaciones, el mapa 70 se realiza, por ejemplo, mediante la unidad 16 de control del robot médico 10. El mapa 70 se realiza, por ejemplo, con la ayuda de un sensor 17 de localización espacial de tipo cámara RGB-D montada en un mástil telescópico fijado a la base móvil 13, y con la ayuda de un algoritmo de reconocimiento de formas. La unidad 16 de control determina, entonces, en el mapa 70, la posición 71 del robot, la posición 72 de la mesa 40, la posición 75 de la anatomía de interés a tratar, así como las posiciones 74 de eventuales obstáculos que puedan obstaculizar los desplazamientos del robot médico 10.

30 La unidad 16 de control se configura para identificar, en función de la posición 71 del robot médico 10, la posición 72 de la mesa 40, la posición 75 de la anatomía de interés del paciente 30 y el plan de intervención almacenado, al menos una posición favorable en la que el plan de intervención pueda desarrollarse por el robot médico 10. Entonces, se selecciona una posición óptima 73, y se determina una trayectoria 76 por la unidad 16 de control, para que el robot médico 10 pueda alcanzar la posición óptima 73, teniendo en cuenta las posiciones 74 de eventuales obstáculos, para evitarlos.

35 Conviene indicar que se pueden realizar desplazamientos intermedios mediante el robot médico 10, por ejemplo, para acercarse a la mesa 40, antes de determinar con precisión la posición óptima 73.

40 La base móvil 13 puede integrar un parachoques para minimizar los daños en caso de choque. Estos parachoques pueden combinarse con sensores táctiles que permitan detener automáticamente el movimiento de la base móvil 13 en caso de contacto con un obstáculo. De manera alternativa, o como complemento, el desplazamiento del robot médico 10 puede detenerse manualmente, por ejemplo, con un botón de emergencia.

45 La asistencia motorizada de la base móvil 13 y los sensores 17 de localización espacial del robot médico 10, también pueden implementarse en el marco de un procedimiento de transferencia del robot médico 10 desde una zona de almacenamiento del robot médico 10 hasta la sala 50 de operaciones, e inversamente. Un procedimiento de este tipo de transferencia del robot médico 10 se implementa antes y/o después del procedimiento de posicionamiento automático del robot médico.

50 La transferencia del robot médico 10 desde su zona de almacenamiento hasta la sala 50 de operaciones, puede realizarse de manera autónoma por el robot médico 10, o bien con la asistencia de un operador.

55 Cuando el robot médico 10 se encuentra en su zona de almacenamiento, puede acudir a la sala 50 de operaciones siguiendo a un operador situado delante o detrás de la base móvil 13, con la ayuda de los sensores 17 de localización espacial y de medios de conducción puestos en práctica por la unidad 16 de control (módulo de detección de posición relativa del operador, módulo de instrucción de desplazamiento, módulo de guiado, módulo de detección de obstáculos, etc.).

60 La base móvil 13 también puede integrar una o varias cámaras delante y en los lados, con el fin de retransmitir en una pantalla imágenes del entorno alrededor del robot médico 10, que permiten al operador situado detrás de la base móvil 13 ubicarse mejor y facilitar el desplazamiento en un pasillo, el paso de una puerta, o evitar obstáculos.

65 Cuando la base móvil 13 se encuentra en su zona de almacenamiento, puede acudir a una sala 50 de operaciones de manera totalmente autónoma cuando los diferentes elementos del edificio en donde se encuentre hayan sido mapeados con anterioridad. En este caso, durante una etapa anterior, se indica al robot médico 10 la información referente al lugar de la zona de almacenamiento y a la sala 50 de operaciones. Las puertas de acceso a estas

diferentes zonas están provistas, por ejemplo, de sensores o de códigos QR (abreviatura del inglés “Quick Response”) que permiten al robot médico 10 detectar dichas puertas de acceso, y a dichas puertas de acceso autorizar el paso del robot médico 10.

5 Una vez que el robot médico 10 se encuentre en la sala 50 de operaciones, entonces puede posicionarse automáticamente en una posición óptima 73 para la intervención.

La Figura 4 representa esquemáticamente las principales etapas de un procedimiento 100 de posicionamiento automático de un robot médico 10 según la invención, tal como se describe en referencia a las Figuras 1 a 3.

10 El procedimiento 100 de posicionamiento automático se implementa por la unidad 16 de control del robot médico 10.

15 El procedimiento 100 de posicionamiento automático del robot médico 10 comienza cuando entra en la sala 50 de operaciones al comienzo de la intervención médica. Entonces, se coloca al paciente 30 sobre una mesa 40 en la sala 50 de operaciones.

20 El procedimiento 100 incluye una etapa de detección 101 de la posición 75 de la anatomía de interés del paciente 30 con respecto a una posición 71 del robot médico 10. En el ejemplo considerado, la posición 72 de la mesa 40 se detecta también en esta etapa. Esta etapa se realiza de manera autónoma por el robot médico 10.

25 El procedimiento 100 incluye también una etapa de identificación 102, a partir de la posición 75 de la anatomía de interés del paciente 30 y del plan de intervención, de al menos una posición favorable de la base móvil 13 del robot médico 10 en la que el robot médico 10 sea capaz de realizar las acciones del plan de intervención. En el ejemplo considerado, esta etapa de identificación 102 se realiza, además, a partir de la posición 72 de la mesa 40. Esta etapa se realiza de manera autónoma por el robot médico 10.

30 Entonces, se efectúa una selección 103 de una posición óptima 73 entre el conjunto de las posiciones favorables. Como se explicó anteriormente, la selección 103 de la posición óptima 73 puede hacerse en función de los parámetros de accesibilidad o de un nivel global de accesibilidad calculado para cada posición favorable, en función de preferencias almacenadas, y/o con la ayuda de información extraída de una base de datos de intervenciones médicas ya realizadas. Cada selección 103 puede que la realice el profesional a quien se le presentan las diferentes posiciones favorables en una interfaz 21 de usuario.

35 De manera opcional, el procedimiento 100 de posicionamiento puede incluir una generación 104 de un mapa 70 de la sala 50 de operaciones sobre el que se representa una posición 71 del robot médico 10, la posición 72 de la mesa 40, la posición 75 de la anatomía de interés del paciente 30, y la posición óptima 73 a alcanzar, así como una determinación 105, a partir de dicho mapa 70, de una trayectoria 76 del robot médico 10, para alcanzar dicha posición óptima 73.

40 El procedimiento 100 incluye una etapa de desplazamiento 106 del robot médico 10 a la posición óptima 73. Este desplazamiento 106 se realiza de manera autónoma por el robot médico 10.

45 Cabe indicar, que el orden de las etapas citadas anteriormente no necesariamente es fijo. También, una o varias etapas intermedias de desplazamiento del robot médico 10 en dirección a la mesa 40, pueden realizarse antes de que el robot médico 10 sea capaz de detectar la anatomía de interés del paciente 30, e identificar posiciones favorables para realizar la intervención.

50 También es importante indicar que no se necesita proporcionar ningún mapa al robot médico 10. De este modo, el robot médico 10 puede estar desprovisto inicialmente de un mapa de la sala 50 de operaciones al comienzo del procedimiento 100 de posicionamiento automático.

55 El procedimiento de posicionamiento automático del robot médico 10 puede incluir ventajosamente una etapa de inmovilización 107 de la base móvil 13, cuando se haya alcanzado la posición óptima 73. Esta etapa de inmovilización 107 puede realizarse de manera autónoma por el robot médico 10, o bien con la participación de un operador. Por ejemplo, la inmovilización 107 puede activarse mediante una instrucción del profesional, después de la validación de la posición óptima alcanzada sobre la interfaz 21 de usuario.

60 Como se explicó anteriormente, la inmovilización de la base móvil del robot médico en la posición óptima puede activarse únicamente si se cumple un criterio de estabilidad de la base móvil del robot médico. En caso contrario, el procedimiento de posicionamiento automático según la invención puede incluir una etapa suplementaria de desplazamiento de la base móvil del robot médico a otra posición seleccionada entre las posiciones favorables.

65 En el ejemplo considerado, el robot médico 10 incluye un brazo 14 articulado y una herramienta 15 montada en un extremo de dicho brazo 14. El brazo 14 está configurado por la unidad 16 de control del robot médico 10 para realizar una acción del plan de intervención. Tal como se ilustra en la Figura 5, la selección 103 de la posición óptima 73 puede incluir, entonces:

- un cálculo 108, para cada acción del plan de intervención y para cada posición favorable identificada, de un parámetro de accesibilidad, en función de la cantidad de configuraciones posibles del brazo articulado 14 para realizar dicha acción cuando la base móvil 13 del robot médico 10 se posicione en dicha posición favorable,

5 - un cálculo 109, para cada posición favorable identificada, de un nivel global de accesibilidad del plan de intervención, calculándose dicho nivel global de accesibilidad en función de los parámetros de accesibilidad de todas las acciones del plan de intervención, cuando la base móvil 13 del robot médico 10 se posicione en dicha posición favorable.

10 Cabe indicar, que el cálculo 108 del parámetro de accesibilidad puede también hacerse en función de valores representativos de los movimientos libres disponibles de las articulaciones del brazo 14, para las diferentes configuraciones posibles del brazo 14 que permitan realizar una acción del plan de intervención en una posición favorable dada.

15 La descripción anterior ilustra claramente que, mediante sus diferentes características y sus ventajas, la presente invención alcanza los objetivos fijados. En particular, se propone una solución para facilitar y hacer fiable el posicionamiento automático de un robot médico 10 en una sala 50 de operaciones.

20 Las etapas del procedimiento 100 de posicionamiento según la invención se realizan mayoritariamente de manera autónoma por el robot médico 10, lo que elimina los errores de posicionamiento relacionados con la intervención de un operador o de un dispositivo adicional utilizado para dirigir el robot. Además, la ausencia de un dispositivo adicional separado del robot médico 10, limita los esfuerzos de mantenimiento de un sistema de asistencia robotizada en una intervención médica.

25 Además, el robot médico 10 según la invención puede adaptarse a la posición real de la anatomía de interés del paciente 30 en el momento de la intervención, pudiendo esta ser significativamente diferente de una anatomía modelizada durante una fase de planificación.

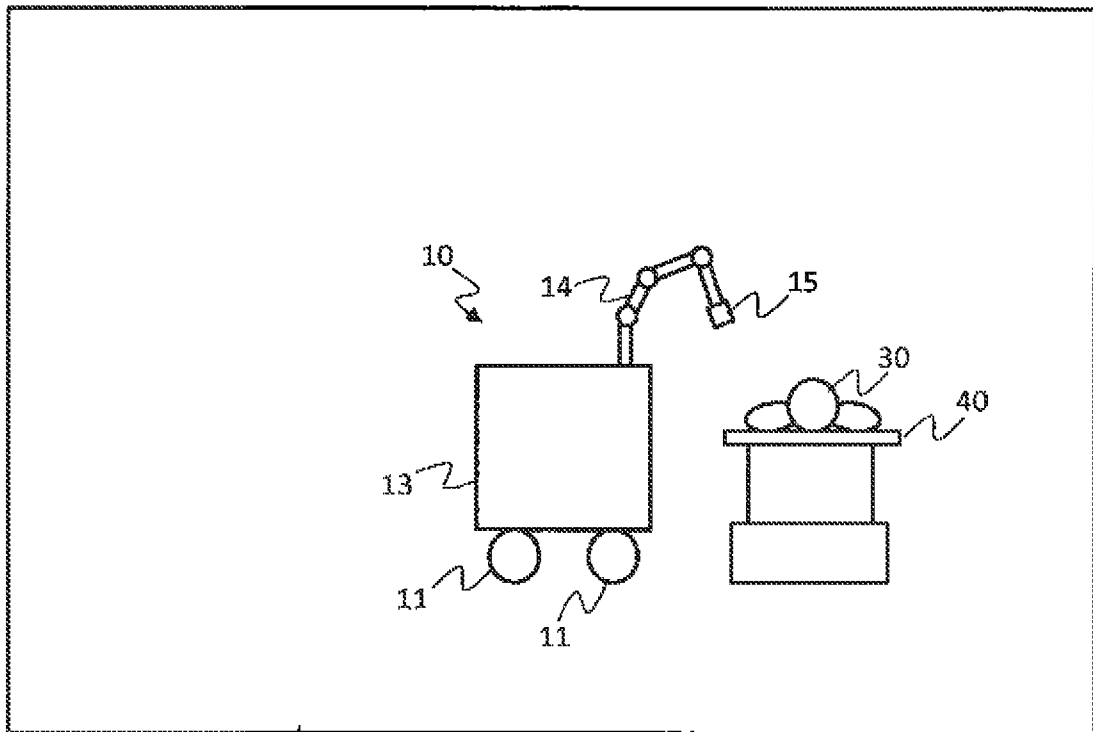
30 Además, el robot médico 10 puede posicionarse automáticamente en cualquier sala 50 de operaciones, incluso si el robot médico 10 no tiene un mapa o información específica respecto a la disposición de la sala 50 antes del comienzo del procedimiento de posicionamiento automático del robot médico 10. Esto limita, entonces, los costes y los esfuerzos de mantenimiento relativos a las intervenciones médicas asistidas por un robot médico.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento (100) de posicionamiento automático de un robot médico para realizar una intervención médica a un paciente (30), incluyendo dicho robot médico (10) una base móvil (13) motorizada que permite desplazar el robot médico (10), y una unidad (16) de control que almacena un plan de intervención que incluye al menos una acción a efectuar sobre una anatomía de interés de dicho paciente (30), incluyendo dicho procedimiento (100) de posicionamiento las etapas siguientes, puestas en práctica de manera autónoma por el robot médico (10):
- detección (101) de la posición de la anatomía de interés del paciente (30), con respecto a una posición del robot médico (10),
 - identificación (102), a partir de la posición de la anatomía de interés del paciente (30) y del plan de intervención, de al menos dos posiciones favorables diferentes de la base móvil (13) del robot médico (10) en las que el robot médico (10) pueda efectuar dicha al menos una acción del plan de intervención,
 - desplazamiento (106) de la base móvil (13) del robot médico (10) a una posición óptima seleccionada entre las posiciones favorables,
 - comprobación de un criterio de estabilidad de la base móvil (13) del robot médico (10) en la posición óptima seleccionada,
 - si dicha comprobación es positiva, se inmoviliza la base móvil (13) del robot médico (10) en dicha posición óptima,
 - si dicha comprobación es negativa, se desplaza la base móvil (13) del robot médico (10) a otra posición seleccionada entre las posiciones favorables,
- caracterizado porque** el robot médico (10) incluye pies retráctiles, destinados a bajarse para inmovilizar la base móvil (13) del robot médico (10), incluyendo cada pie un sensor que permite medir un peso soportado por dicho pie, y la comprobación de un criterio de estabilidad incluye, para cada pie, con un umbral predeterminado, una comparación de la medición del peso soportado por dicho pie.
2. Procedimiento (100) según la reivindicación 1, en donde se coloca al paciente (30) sobre una mesa (40) de una sala (50) de operaciones, el procedimiento (100) incluye una detección de la posición de la mesa (40), la identificación (102) de las posiciones favorables de la base móvil (13) del robot médico (10) se efectúa, además, a partir de la posición de la mesa (40), y la detección de la posición de la mesa (40) y la detección de la anatomía de interés del paciente (30) se efectúan a partir de información proveniente de sensores (17) de localización espacial que lleva el robot médico (10).
3. Procedimiento (100) según la reivindicación 2, en donde el robot está inicialmente desprovisto de un mapa de la sala (50) de operaciones, y el procedimiento (100) incluye, además, las etapas siguientes, puestas en práctica de manera autónoma por el robot médico (10):
- generación (104) de un mapa (70) de la sala (50) de operaciones, sobre el que se representan una posición (71) del robot médico (10), la posición (72) de la mesa (40), la posición (75) de la anatomía de interés del paciente (30), y la posición óptima (73),
 - determinación (105), a partir de dicho mapa (70), de una trayectoria (76) del robot médico (10) para alcanzar dicha posición óptima (73).
4. Procedimiento (100) según una de las reivindicaciones 1 a 3, en donde:
- el robot médico (10) incluye un brazo articulado (14) y una herramienta (15) montada en un extremo de dicho brazo (14), controlándose una o varias articulaciones de dicho brazo (14) mediante la unidad (16) de control del robot médico (10), para posicionar el brazo (14) según una configuración posible,
 - una posición favorable consiste en una posición de la base móvil (13) del robot médico (10) en la que exista, para cada acción del plan de intervención, al menos una configuración posible del brazo articulado (14), que permita efectuar dicha acción,
 - el procedimiento (100) incluye un cálculo (108), para cada acción del plan de intervención y para cada posición favorable identificada, de un parámetro de accesibilidad, en función de una cantidad de configuraciones posibles del brazo articulado (14), para efectuar dicha acción cuando la base móvil (13) del robot médico (10) se posicione en dicha posición favorable,
 - la posición óptima (73) se selecciona en función de los parámetros de accesibilidad de las posiciones favorables identificadas.
5. Procedimiento (100) según la reivindicación 4, en donde dicho parámetro de accesibilidad se calcula, además, en función de movimientos libres disponibles de las articulaciones del brazo (14), para cada una de dichas configuraciones posibles del brazo (14).

6. Procedimiento (100) según una de las reivindicaciones 4 a 5, en donde:
- 5 -el procedimiento (100) incluye, además, un cálculo (109), para cada posición favorable identificada, de un nivel global de accesibilidad del plan de intervención, calculándose dicho nivel global de accesibilidad en función de los parámetros de accesibilidad de cada acción del plan de intervención, cuando la base móvil (13) del robot médico (10) se posicione en dicha posición favorable, -la posición óptima (73) se selecciona en función de los niveles globales de accesibilidad calculados para las posiciones favorables identificadas.
- 10 7. Procedimiento (100) según una de las reivindicaciones 4 a 6, en donde una acción del plan de intervención consiste en permitir el desplazamiento de la herramienta (15) en un volumen predeterminado, con respecto a dicha anatomía de interés del paciente (30), o a permitir el desplazamiento de la herramienta (15) según una trayectoria predeterminada, con respecto a dicha anatomía de interés del paciente (30), o a colocar la herramienta (15) en una posición predeterminada, con respecto a dicha anatomía de interés del paciente (30).
- 15 8. Procedimiento (100) según una de las reivindicaciones 1 a 7, en donde la posición óptima (73) se selecciona en función de preferencias de un operador almacenadas en la unidad (16) de control.
- 20 9. Procedimiento (100) según una de las reivindicaciones 1 a 8, en donde la posición óptima (73) se selecciona por un algoritmo de aprendizaje automático, en función de información extraída de una base de datos de intervenciones médicas ya realizadas.
- 25 10. Producto de programa informático **caracterizado porque** incluye un conjunto de instrucciones de código de programa que, cuando se ejecutan por uno o varios procesadores, configuran el o los procesadores, para implantar un procedimiento (100) de posicionamiento automático de un robot médico según una de las reivindicaciones 1 a 9.
- 30 11. Robot médico (10) que incluye una base móvil (13) motorizada, sensores (17) de localización espacial unidos a la base móvil (13), y una unidad (16) de control que almacena un plan de intervención que incluye al menos una acción que a realizar sobre una anatomía de interés de un paciente (30), configurándose dicha unidad (16) de control para:
- 35 -detectar, a partir de información que provenga de los sensores (17) de localización espacial, una posición de la anatomía de interés del paciente (30) con respecto al robot médico (10),
 -identificar, a partir de la posición de la anatomía de interés del paciente (30) y del plan de intervención, al menos dos posiciones favorables de la base móvil (13) del robot médico (10), en las que el robot médico (10) pueda efectuar dicha al menos una acción del plan de intervención,
 40 -desplazar la base móvil (13) del robot médico (10) a una posición óptima seleccionada entre las posiciones favorables identificadas,
 -comprobar un criterio de estabilidad de la base móvil (13) del robot médico (10) en la posición óptima seleccionada,
 -si dicha comprobación es positiva, activar una inmovilización de la base móvil del robot médico (10) en dicha posición óptima,
 45 -si dicha comprobación es negativa, desplazar la base móvil (13) del robot médico (10) a otra posición seleccionada entre las posiciones favorables,
- 50 **caracterizado porque** el robot médico (10) incluye pies retráctiles destinados a bajarse para inmovilizar la base móvil (13) del robot médico (10), incluyendo cada pie un sensor que permite medir un peso soportado por dicho pie, y para comprobar el criterio de estabilidad, la unidad (16) de control se configura para comparar, para cada pie, con un umbral predeterminado, la medición del peso soportado por dicho pie.
- 55 12. Robot médico (10) según la reivindicación 11, en donde la unidad (16) de control también se configura para detectar, a partir de información que provenga de los sensores (17) de localización espacial, una posición de una mesa (40) de una sala (50) de operaciones sobre la que se coloque al paciente (30), y para identificar dicha al menos una posición favorable en función de la posición de la mesa (40).
- 60 13. Robot médico (10) según la reivindicación 12, en donde la unidad (16) de control también se configura para:
- 60 -generar un mapa (70) de la sala (50) de operaciones, sobre el que se representan una posición (71) del robot médico (10), la posición (72) de la mesa (40), la posición (75) de la anatomía de interés del paciente (30), y la posición óptima (73),
 -determinar, a partir de dicho mapa (70), una trayectoria (76) del robot médico (10) para alcanzar dicha posición óptima (73).
- 65

14. Robot médico (10) según una de las reivindicaciones 11 a 13, en donde el robot médico (10) incluye, además, sensores (20) de ayuda a la detección de la anatomía de interés del paciente (30), que cooperan con los marcadores (19) posicionados sobre dicha anatomía de interés, estando los sensores (20) de ayuda a la detección de la anatomía de interés del paciente (30) unidos a la base móvil (13) del robot médico (10), y en donde la información que provenga de sensores utilizados para identificar la o las posiciones favorables, se proporciona exclusivamente por los sensores que lleva el robot médico.
- 5
15. Robot médico (10) según una de las reivindicaciones 11 a 14, que incluye un brazo articulado (14) y una herramienta (15) montada en un extremo de dicho brazo (14), controlándose una o varias articulaciones de dicho brazo (14) por la unidad de control (16) del robot médico (10), para posicionar el brazo (14) según una configuración posible, una posición favorable que consiste en una posición de la base móvil (13) del robot médico (10) en donde existe, para cada acción del plan de intervención, al menos una configuración posible del brazo articulado (14) que permita efectuar dicha acción, y la unidad (16) de control se configura, además, para:
- 10
- 15
- calcular, para cada acción del plan de intervención y para cada posición favorable identificada, un parámetro de accesibilidad representativo de una cantidad de configuraciones posibles del brazo articulado (14), para efectuar dicha acción cuando la base móvil (13) del robot médico (10) se posicione en dicha posición favorable,
 - seleccionar la posición óptima en función de los parámetros de accesibilidad de las posiciones favorables identificadas.
- 20



50

Figura 1

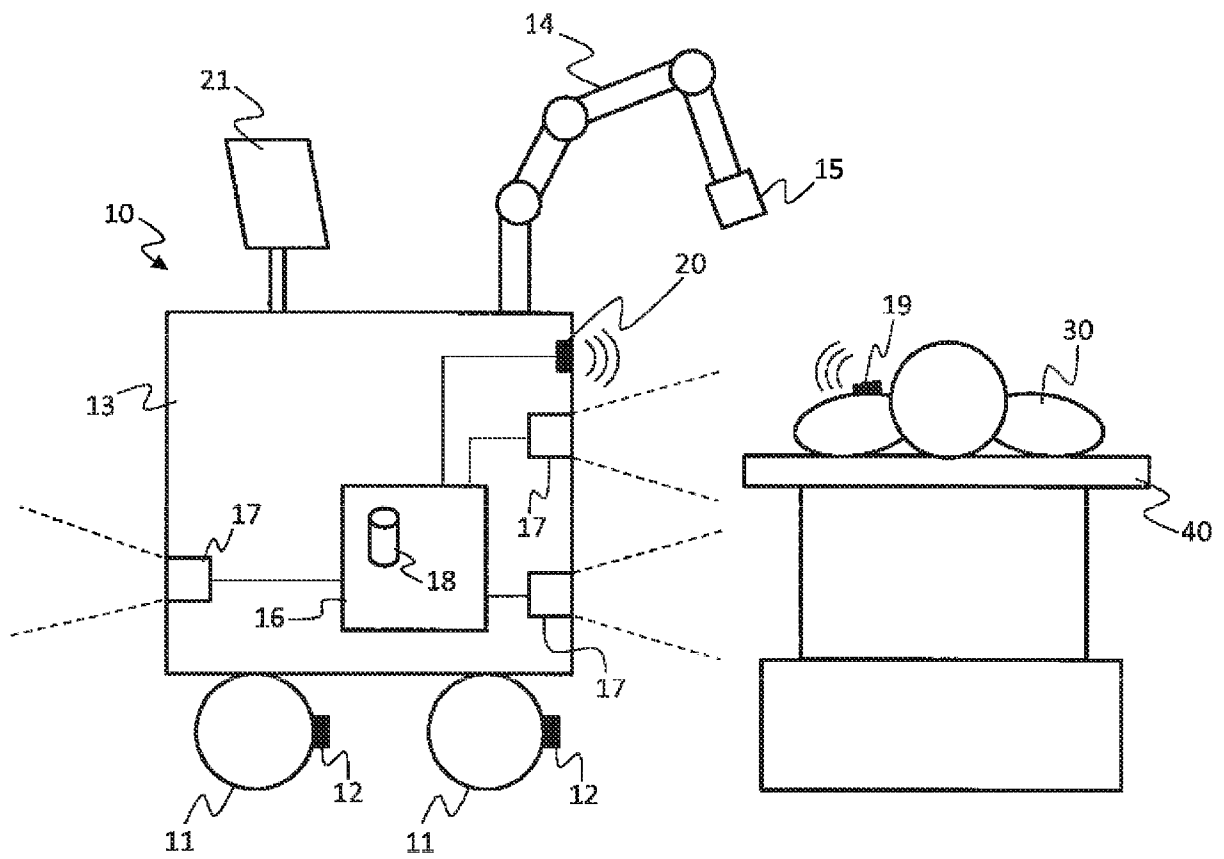


Figura 2

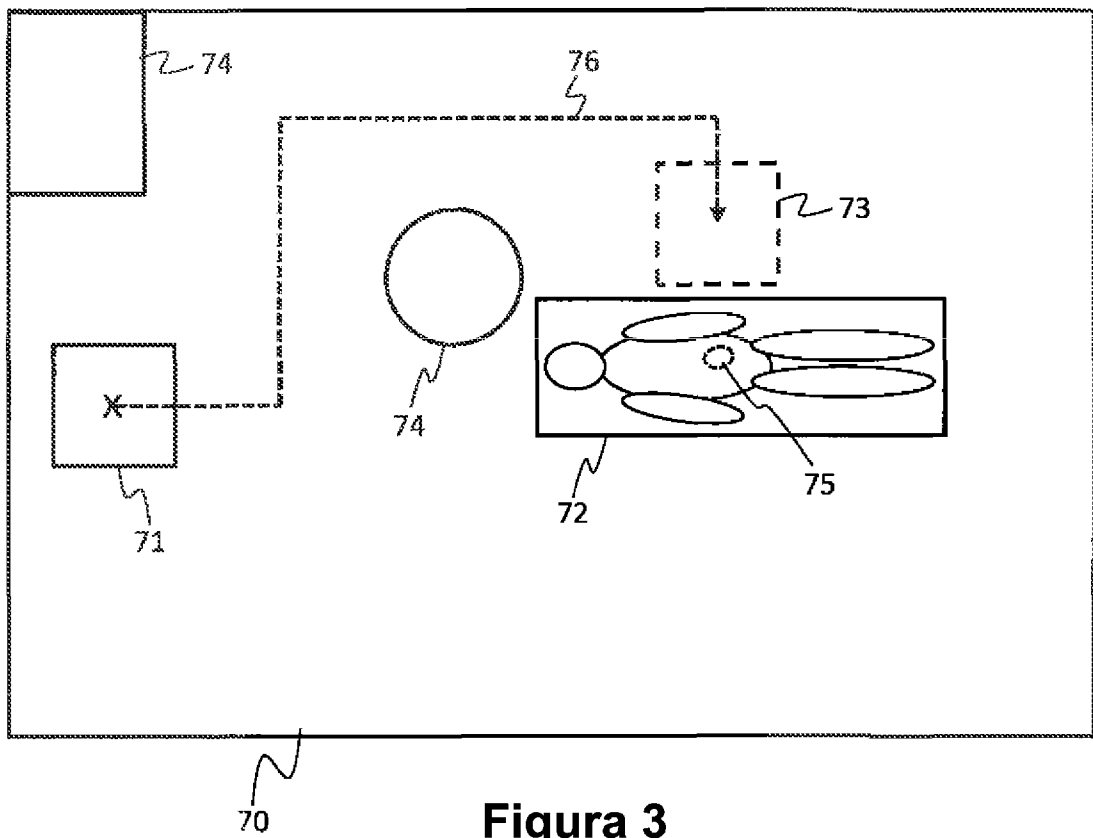


Figura 3

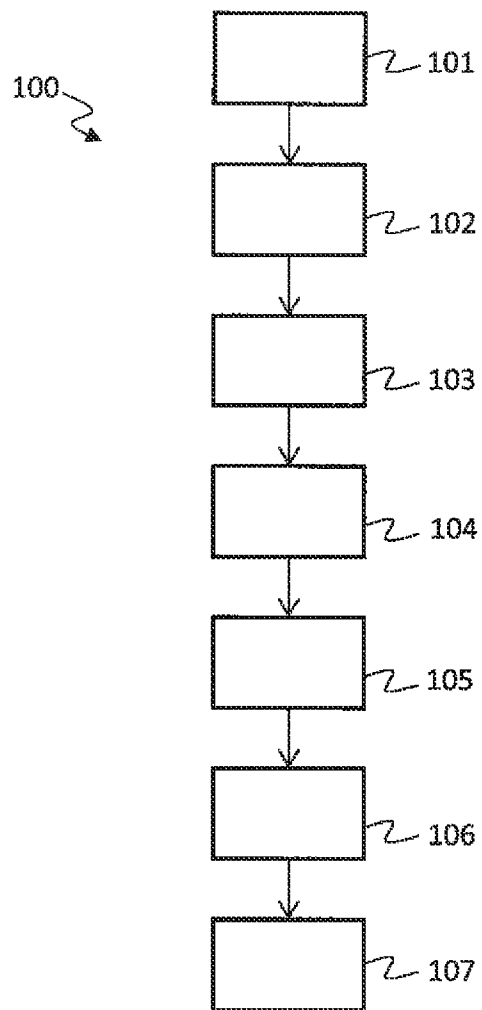


Figura 4

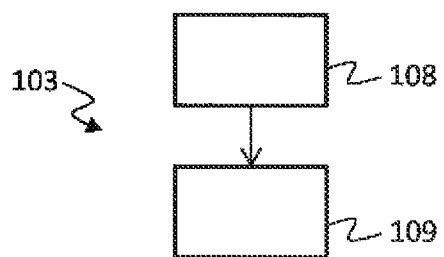


Figura 5