

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 014 842**

51 Int. Cl.:

A61B 34/20 (2006.01)

A61B 90/00 (2006.01)

A61B 34/30 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **17.11.2020** **PCT/FR2020/052100**

87 Fecha y número de publicación internacional: **27.05.2021** **WO21099729**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.11.2020** **E 20823906 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.01.2025** **EP 4061271**

54 Título: **Método de navegación para posicionar un robot médico**

30 Prioridad:

19.11.2019 FR 1912907

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

25.04.2025

73 Titular/es:

QUANTUM SURGICAL (100.00%)
1000 rue du Mas de Verchant, ZAC Euréka
34000 Montpellier, FR

72 Inventor/es:

NAHUM, BERTIN;
BADANO, FERNAND y
BLONDEL, LUCIEN

74 Agente/Representante:

DEL VALLE VALIENTE, Sonia

ES 3 014 842 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

Método de navegación para posicionar un robot médico

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere al campo de las intervenciones médicas miniinvasivas y no invasivas asistidas por un robot médico. La invención se refiere concretamente a un sistema de navegación óptica que permite determinar la posición de una anatomía de interés de un paciente con el fin de posicionar de manera óptima un instrumento médico fijado en un extremo de un brazo articulado del robot médico. En particular, la invención permite determinar la posición de la anatomía de interés aunque un obstáculo impida obtener una línea de visión directa entre un marcador óptico situado a nivel de la anatomía de interés y un sensor óptico del sistema de navegación. La invención también se refiere a un procedimiento para determinar la posición de una anatomía de interés de un paciente.

15 Estado de la técnica

Numerosas intervenciones médicas, tales como las intervenciones médicas miniinvasivas o no invasivas, necesitan posicionar o desplazar de manera muy precisa un instrumento médico (por ejemplo, una aguja, un catéter, un electrodo, un generador de ultrasonidos, una broca de perforación, etc.) con respecto a una anatomía de interés de un paciente (por ejemplo un hígado, un pulmón, un riñón, una vértebra, etc.). El médico que realiza este tipo de intervención médica puede verse asistido por un robot médico. En este caso, el robot médico posiciona, mantiene y/o guía un instrumento médico con respecto a una anatomía de interés de un paciente gracias a un sistema de navegación. El instrumento médico está fijado, por ejemplo, en un extremo de un brazo articulado del robot médico. El sistema de navegación permite determinar la posición del instrumento médico y la posición de la anatomía de interés. La información sobre las posiciones respectivas del instrumento médico y de la anatomía de interés uno con respecto a la otra permiten entonces al robot médico configurar su brazo articulado de tal manera que el instrumento médico se posiciona de manera óptima con respecto a la anatomía de interés.

Existen diferentes sistemas de navegación. Los sistemas de navegación electromagnética presentan el inconveniente de ser sensibles a las interferencias y a las distorsiones del campo electromagnético en presencia de materiales metálicos (tales como los motores de un robot médico). Los sistemas de navegación óptica presentan por su parte el inconveniente de no funcionar cuando la línea de visión ("line of sight" en la bibliografía anglosajona) entre un marcador posicionado a nivel de la anatomía de interés y un sensor óptico del sistema de navegación se corta por un obstáculo (es el caso, por ejemplo, cuando el médico se interpone entre dicho marcador y dicho sensor óptico).

Generalmente no es suficiente con determinar la posición de la anatomía de interés en un instante favorable en donde está disponible una línea de visión directa ya que la anatomía de interés del paciente puede estar en movimiento, por ejemplo a causa de los movimientos de respiración del paciente o del desplazamiento de la anatomía debido al médico. Por tanto, conviene poder realizar un seguimiento de la posición de la anatomía de interés a lo largo del tiempo con la ayuda del sistema de navegación, y esto incluso durante periodos en donde la línea de visión entre un marcador posicionado a nivel de la anatomía de interés y un sensor óptico del sistema de navegación se corta por un obstáculo.

Varias soluciones de la técnica anterior consisten en optimizar el posicionamiento de los marcadores y de los sensores ópticos usados con el fin de reducir el riesgo de que la línea de visión se corte por un obstáculo. Estas soluciones son generalmente complejas y no permiten garantizar siempre el funcionamiento del sistema de navegación óptica cuando la línea de visión se corta por un obstáculo.

La solicitud de patente EP 3501443 A1 describe concretamente un sistema que comprende un componente rotatorio integrado en una lámpara escálitica para desplazar una cámara hacia una posición apropiada para apuntar a una anatomía de interés de un paciente cuando un obstáculo impide obtener una línea de visión directa.

Algunas soluciones de la técnica anterior buscan combinar un sistema de navegación óptica con otro sistema de navegación complementario (por ejemplo, un sistema de navegación electromagnética) que permita garantizar el funcionamiento del sistema de navegación cuando la línea de visión se corta por un obstáculo. No obstante, estas soluciones dan lugar a sistemas complejos, caros, y cuya precisión puede verse afectada por la presencia de objetos metálicos.

Exposición de la invención

La presente invención tiene como objetivo remediar la totalidad, o parte, de los inconvenientes de la técnica anterior, concretamente, los expuestos anteriormente.

Para ello, y según un primer aspecto, la presente invención propone un sistema de navegación óptica para determinar la posición de una anatomía de interés de un paciente. El sistema comprende concretamente una referencia de paciente destinada a posicionarse sobre el paciente a nivel de la anatomía de interés, un dispositivo de localización y una unidad de control. El dispositivo de localización comprende al menos dos sensores ópticos. La referencia de paciente comprende al menos tres marcadores ópticos. Las posiciones respectivas de los

marcadores ópticos de la referencia de paciente unos con respecto a otros se conocen en principio por la unidad de control. El sistema de navegación óptica comprende además un dispositivo reflectante cuya posición en un sistema de referencia del dispositivo de localización puede determinarse por la unidad de control. Cuando está disponible una línea de visión directa entre la referencia de paciente y cada sensor óptico, los sensores ópticos están configurados para medir, para cada marcador óptico de la referencia de paciente, una magnitud representativa de la posición de dicho marcador óptico en el sistema de referencia del dispositivo de localización a partir de una radiación óptica procedente de dicho marcador óptico y que presenta, para cada sensor óptico, un trayecto directo entre dicho marcador óptico y dicho sensor óptico. Cuando una línea de visión directa entre la referencia de paciente y un sensor óptico se corta por un obstáculo, los sensores ópticos están configurados para medir, para cada marcador óptico de la referencia de paciente, una magnitud representativa de la posición de dicho marcador óptico en el sistema de referencia del dispositivo de localización a partir de una radiación óptica procedente de dicho marcador óptico y que presenta un trayecto reflejado por el dispositivo reflectante hacia cada sensor óptico. La unidad de control está configurada para determinar, a partir de las mediciones realizadas por los sensores ópticos, la posición de la referencia de paciente en el sistema de referencia del dispositivo de localización, y para deducir a partir de la misma la posición de la anatomía de interés en dicho sistema de referencia.

En la presente solicitud, por “radiación óptica” se entiende una radiación electromagnética comprendida en un intervalo de longitud de onda que va de 100 nm (cien nanómetros) a 1 mm (un milímetro). Por tanto, la radiación infrarroja, la radiación de la luz visible y la radiación ultravioleta son radiaciones ópticas. Algunas veces se emplea el término “rayo óptico” para definir un trayecto particular que toma una radiación óptica.

En la presente solicitud, el término “posición” representa la posición y la orientación en las tres dimensiones de un sistema de referencia espacial (esto corresponde al término “pose” en la bibliografía anglosajona).

Mediante la expresión “la posición del dispositivo reflectante puede determinarse por la unidad de control”, se entiende que la posición del dispositivo reflectante se conoce en principio por la unidad de control (por ejemplo, la posición del dispositivo reflectante está guardada en una memoria de la unidad de control), o que puede determinarse por la unidad de control (por ejemplo, con la ayuda de marcadores ópticos dispuestos en el dispositivo reflectante).

Con tales disposiciones, el sistema de navegación óptica según la invención puede determinar la posición de la anatomía de interés del paciente aunque la línea de visión se corta por un obstáculo (por ejemplo, por un médico que deberá realizar una intervención médica en la anatomía de interés, o por el robot médico que ayuda a dicho médico).

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, el dispositivo reflectante comprende al menos tres marcadores ópticos. Las posiciones respectivas de los marcadores ópticos del dispositivo reflectante unos con respecto a otros se conocen en principio por la unidad de control.

En realizaciones particulares, durante un periodo en donde está disponible una línea de visión directa entre la referencia de paciente y cada sensor óptico, la unidad de control está configurada para estimar un movimiento seguido por la referencia de paciente en el sistema de referencia del dispositivo de localización durante un ciclo de respiración del paciente. A continuación, en un instante en donde ya no está disponible una línea de visión directa entre la referencia de paciente y un sensor óptico, la unidad de control está configurada para determinar la posición de la referencia de paciente en función, por un lado, de las mediciones realizadas por los sensores ópticos a partir de las radiaciones ópticas procedentes de los marcadores ópticos de la referencia de paciente y reflejadas por el dispositivo reflectante, y en función, por otro lado, del movimiento estimado de la referencia de paciente.

En realizaciones particulares, la referencia de paciente comprende además al menos tres marcadores radiopacos. Las posiciones respectivas de los marcadores radiopacos unos con respecto a otros se conocen en principio por la unidad de control.

En realizaciones particulares, la posición de la anatomía de interés en el sistema de referencia del dispositivo de localización se determina en función de la posición de la referencia de paciente en dicho sistema de referencia y en función de una imagen médica de la anatomía de interés del paciente en la que son visibles los marcadores radiopacos de la referencia de paciente.

En realizaciones particulares, la posición de la anatomía de interés en el sistema de referencia del dispositivo de localización se determina además en función de un modelo biomecánico de la anatomía de interés.

En realizaciones particulares, el sistema de navegación óptica comprende tres dispositivos reflectantes ortogonales dos a dos.

En realizaciones particulares, el sistema de navegación óptica comprende además una referencia de robot destinada a posicionarse a nivel de un extremo distal de un brazo articulado de un robot médico. La referencia de robot comprende

al menos tres marcadores ópticos. Las posiciones respectivas de los marcadores ópticos unos con respecto a otros se conocen en principio por la unidad de control. Cuando está disponible una línea de visión directa entre la referencia de robot y cada sensor óptico, los sensores ópticos del dispositivo de localización están configurados para medir, para cada marcador óptico de la referencia de robot, una magnitud representativa de la posición de dicho marcador óptico en el sistema de referencia del dispositivo de localización a partir de una radiación óptica procedente de dicho marcador óptico y que presenta, para cada sensor óptico, un trayecto directo entre dicho marcador óptico y dicho sensor óptico. Cuando una línea de visión directa entre la referencia de robot y un sensor óptico se corta por un obstáculo, los sensores ópticos están configurados para medir, para cada marcador óptico de la referencia de robot, una magnitud representativa de la posición de dicho marcador óptico en el sistema de referencia del dispositivo de localización a partir de una radiación óptica procedente de dicho marcador óptico y que presenta un trayecto reflejado por el dispositivo reflectante hacia cada sensor óptico. La unidad de control está configurada para determinar la posición de la referencia de robot en el sistema de referencia del dispositivo de localización a partir de las mediciones así realizadas por los sensores ópticos.

En realizaciones particulares, el sistema de navegación óptica comprende además un robot médico que comprende un brazo articulado. La referencia de robot está posicionada en un extremo distal del brazo articulado. El robot médico comprende además codificadores de articulación del brazo articulado que permiten determinar en cualquier instante la posición de la referencia de robot en un sistema de referencia del robot médico. El robot médico está configurado para transmitir a la unidad de control la posición de la referencia de robot en el sistema de referencia del robot. La unidad de control está configurada para deducir la posición de un instrumento médico fijado en el extremo distal del brazo articulado del robot médico con respecto a la anatomía de interés del paciente.

En realizaciones particulares, los marcadores ópticos de la referencia de paciente y/o de la referencia de robot son marcadores activos y la radiación óptica procedente de un marcador óptico es una radiación infrarroja generada por dicho marcador óptico.

En realizaciones particulares, los marcadores ópticos de la referencia de paciente y/o de la referencia de robot son marcadores pasivos y la radiación óptica procedente de un marcador óptico es una radiación infrarroja generada por el dispositivo de localización y reflejada por dicho marcador óptico.

Según un segundo aspecto, la presente invención se refiere a un procedimiento para determinar la posición de una anatomía de interés de un paciente durante una intervención quirúrgica. El procedimiento se pone en práctica mediante un sistema de navegación óptica que comprende una referencia de paciente destinada a posicionarse sobre el paciente a nivel de la anatomía de interés así como un dispositivo de localización. Las posiciones respectivas de los marcadores ópticos unos con respecto a otros se conocen en principio. El dispositivo de localización comprende al menos dos sensores ópticos. La referencia de paciente comprende al menos tres marcadores ópticos. El sistema de navegación óptica comprende además un dispositivo reflectante cuya posición en un sistema de referencia del dispositivo de localización se conoce. El procedimiento comprende las siguientes etapas:

- cuando está disponible una línea de visión directa entre la referencia de paciente y cada sensor óptico, una medición, para cada marcador óptico de la referencia de paciente, de una magnitud representativa de la posición de dicho marcador óptico en el sistema de referencia del dispositivo de localización a partir de una radiación óptica procedente de dicho marcador óptico y que presenta, para cada sensor óptico, un trayecto directo entre dicho marcador óptico y dicho sensor óptico,

- cuando una línea de visión directa entre la referencia de paciente y un sensor óptico se corta por un obstáculo, una medición, para cada marcador óptico de la referencia de paciente, de una magnitud representativa de la posición de dicho marcador óptico en el sistema de referencia del dispositivo de localización a partir de una radiación óptica procedente de dicho marcador óptico y que presenta un trayecto reflejado por el dispositivo reflectante hacia cada sensor óptico

- una determinación, a partir de las mediciones así realizadas por los sensores ópticos, de la posición de la referencia de paciente en el sistema de referencia del dispositivo de localización,

- una determinación, en dicho sistema de referencia del dispositivo de localización, de la posición de la anatomía de interés a partir de la posición de la referencia de paciente.

Conviene observar que la posición de la anatomía de interés del paciente y el posicionamiento del instrumento médico fijado en un extremo de un brazo articulado del robot médico tienen lugar previamente a la realización del movimiento médico por parte del médico. Por tanto, el procedimiento según la invención para determinar la posición de una anatomía de interés de un paciente no comprende ninguna etapa de tratamiento terapéutico o quirúrgico.

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, el procedimiento comprende además las siguientes etapas:

– durante un periodo en donde está disponible una línea de visión directa entre la referencia de paciente y cada sensor óptico, una estimación de un movimiento seguido por la referencia de paciente en el sistema de referencia del dispositivo de localización durante un ciclo de respiración del paciente,

– en un instante en donde ya no está disponible una línea de visión directa entre la referencia de paciente y un sensor óptico, una determinación de la posición de la referencia de paciente en función, por un lado, de las mediciones realizadas por los sensores ópticos a partir de las radiaciones ópticas procedentes de los marcadores ópticos de la referencia de paciente y reflejadas por el dispositivo reflectante, y en función, por otro lado, del movimiento estimado de la referencia de paciente.

En realizaciones particulares, la determinación de la posición de la anatomía de interés en el sistema de referencia del dispositivo de localización se realiza además a partir de una imagen médica de la anatomía de interés del paciente en la que son visibles marcadores radiopacos de la referencia de paciente.

En realizaciones particulares, la determinación de la posición de la anatomía de interés en el sistema de referencia del dispositivo de localización se realiza además a partir de un modelo biomecánico de la anatomía de interés.

En realizaciones particulares, el sistema de navegación óptica comprende además una referencia de robot destinada a posicionarse a nivel de un extremo distal de un brazo articulado de un robot médico. La referencia de robot comprende al menos tres marcadores ópticos, conociéndose en principio las posiciones respectivas de los marcadores ópticos unos con respecto a otros. El procedimiento comprende además las siguientes etapas:

– cuando está disponible una línea de visión directa entre la referencia de robot y cada sensor óptico, una medición, para cada marcador óptico de la referencia de robot, de una magnitud representativa de la posición de dicho marcador óptico en el sistema de referencia del dispositivo de localización a partir de una radiación óptica procedente de dicho marcador óptico y que presenta, para cada sensor óptico, un trayecto directo entre dicho marcador óptico y dicho sensor óptico,

– cuando una línea de visión directa entre la referencia de robot y un sensor óptico se corta por un obstáculo, una medición, para cada marcador óptico de la referencia de robot, de una magnitud representativa de la posición de dicho marcador óptico en el sistema de referencia del dispositivo de localización a partir de una radiación óptica procedente de dicho marcador óptico y que presenta un trayecto reflejado por el dispositivo reflectante hacia cada sensor óptico

– una determinación de la posición de la referencia de robot en el sistema de referencia del dispositivo de localización a partir de las mediciones así realizadas por los sensores ópticos.

En realizaciones particulares, el sistema de navegación óptica comprende además un robot médico. El robot médico comprende un brazo articulado en un extremo distal del cual está posicionada la referencia de robot. El robot médico también comprende codificadores de articulación del brazo articulado que permiten determinar en cualquier instante la posición de la referencia de robot en un sistema de referencia del robot médico. El procedimiento comprende entonces una etapa de determinación de la posición de un instrumento médico fijado en el extremo distal del brazo articulado del robot médico con respecto a la anatomía de interés del paciente.

Presentación de las figuras

La invención se comprenderá mejor tras la lectura de la siguiente descripción, facilitada a modo de ejemplo, en absoluto limitativo, y realizada haciendo referencia a las figuras 1 a 10, que representan:

la figura 1, una representación esquemática de un sistema de navegación óptica según la invención cuando está disponible una línea de visión directa,

la figura 2, una representación esquemática de un sistema de navegación óptica según la invención cuando la línea de visión se corta por un obstáculo,

la figura 3, una representación esquemática de una referencia de paciente que comprende tres marcadores ópticos y tres marcadores radiopacos,

la figura 4, una representación esquemática de una referencia de robot que comprende tres marcadores ópticos,

la figura 5, una representación esquemática de un dispositivo reflectante que comprende cuatro marcadores ópticos,

la figura 6, una representación esquemática de la determinación de la posición de un marcador óptico de la referencia de paciente, cuando la línea de visión se corta por un obstáculo, en función de las mediciones realizadas por los sensores ópticos sobre rayos ópticos reflejados por el dispositivo reflectante,

la figura 7, una representación esquemática de las principales etapas de un procedimiento para determinar la posición de una anatomía de interés de un paciente,

la figura 8, una representación esquemática de un movimiento estimado de la referencia de paciente a lo largo de un ciclo de respiración del paciente,

la figura 9a, una representación esquemática de la determinación de la posición de un marcador óptico de la referencia de paciente, cuando la línea de visión se corta por un obstáculo, en función de las mediciones realizadas por los sensores ópticos y en función del movimiento estimado de la referencia de paciente,

la figura 9b, una vista en sección de la figura 9a,

la figura 10, una representación esquemática de las principales etapas de una realización particular de un procedimiento para determinar la posición de una anatomía de interés de un paciente.

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 un modo de realización de la invención

La figura 1 representa esquemáticamente un ejemplo del sistema de navegación óptica 100 según la invención.

En el ejemplo considerado e ilustrado en la figura 1, el sistema de navegación óptica 100 comprende los siguientes elementos principales: un dispositivo de localización 40, una unidad de control 43, una referencia de paciente 21 destinada a posicionarse a nivel de una anatomía de interés de un paciente 20 y un dispositivo reflectante 30. En el ejemplo ilustrado en la figura 1, el paciente 20 está tumbado sobre una mesa 50 en una sala de operaciones.

El sistema de navegación óptica 100 tiene por objetivo determinar la posición de la referencia de paciente 21 para deducir a partir de la misma la posición de la anatomía de interés en un sistema de referencia del dispositivo de localización 40. Con este objetivo, la unidad de control 43 está configurada para poner en práctica la totalidad o parte de las etapas de un procedimiento que permite determinar la posición de la referencia de paciente en el sistema de referencia del dispositivo de localización 40. La unidad de control 43 comprende, por ejemplo, uno o varios procesadores y una memoria (disco duro magnético, memoria electrónica, disco óptico, etc.) en donde está memorizado un producto de programa informático, en forma de un conjunto de instrucciones de código de programa que deben ejecutarse para poner en práctica las diferentes etapas de un procedimiento de este tipo. De manera alternativa o complementaria, la unidad de control 43 comprende uno o varios circuitos lógicos programables (FPGA, PLD, etc.), y/o uno o varios circuitos integrados especializados (ASIC), y/o un conjunto de componentes electrónicos diferenciados, etc., adaptados para poner en práctica la totalidad o parte de las etapas del procedimiento.

Tal como se ilustra en la figura 1, el sistema de navegación óptica 100 también puede comprender una referencia de robot 11 destinada a posicionarse a nivel de un extremo distal de un brazo articulado 13 de un robot médico 10, por ejemplo sobre un soporte de instrumento 14 fijado en dicho extremo. La unidad de control 43 puede estar configurada entonces para determinar también la posición de la referencia de robot en el sistema de referencia del dispositivo de localización 40. Si la posición de un instrumento médico fijado a nivel del soporte de instrumento 14 con respecto a la posición de la referencia de robot 11 se conoce por la unidad de control 43, entonces la unidad de control 43 puede determinar la posición del instrumento médico en el sistema de referencia del dispositivo de localización 40. Las posiciones respectivas del instrumento médico y de la anatomía de interés uno con respecto a la otra pueden entonces permitir al robot médico 10 configurar su brazo articulado de tal manera que el instrumento médico se posiciona de manera óptima con respecto a la anatomía de interés.

La unidad de control 43 puede estar integrada en el dispositivo de localización 40, tal como es el caso en el ejemplo ilustrado en la figura 1. La unidad de control 43 también puede ser una entidad distinta del dispositivo de localización 40 o incluso estar integrada en el robot médico 10. Si la unidad de control 43 no está integrada en el robot médico 10, la unidad de control 43 puede estar configurada para transmitir al robot médico 10 información relativa a la posición de la anatomía de interés y/o a la posición del instrumento médico, de tal manera que el robot médico 10 puede configurar su brazo articulado 13 de tal manera que el instrumento médico se posiciona de manera óptima con respecto a la anatomía de interés. Esta transmisión de información puede realizarse, por ejemplo, mediante medios de comunicación inalámbrica. Si la unidad de control 43 no está integrada en el dispositivo de localización 40, la unidad de control 43 está configurada para recibir a partir del dispositivo de localización 40 información relativa a la posición de la referencia de paciente 21 y/o de la referencia de robot 11. La transmisión de información entre el dispositivo de localización 40 y la unidad de control 43 puede realizarse, por ejemplo, mediante medios de comunicación inalámbrica.

La figura 3 representa esquemáticamente la referencia de paciente 21. La referencia de paciente 21 comprende al menos tres marcadores ópticos 26, de tal manera que la posición de la referencia de paciente 21 puede determinarse en las tres dimensiones espaciales del sistema de referencia del dispositivo de localización 40. Las posiciones respectivas de los marcadores ópticos 26 de la referencia de paciente 21 unos con respecto a otros se conocen en principio por la unidad de control 43. Ventajosamente, la forma geométrica de cada marcador óptico 26 también puede conocerse en principio

por la unidad de control 43. En el ejemplo ilustrado en la figura 3, la referencia de paciente 21 comprende tres marcadores ópticos 26 de forma esférica. La forma esférica permite optimizar la reflexión de la radiación óptica.

Los marcadores ópticos 26 pueden ser pasivos o activos. Los marcadores ópticos pasivos reflejan una radiación óptica emitida por otro elemento, tal como, por ejemplo, el dispositivo de localización 40. Los marcadores ópticos pasivos pueden corresponder, por ejemplo, a esferas reflectantes detectables por una cámara estereoscópica infrarroja (es decir, que se usa, por ejemplo, en los sistemas de navegación Polaris® fabricados por la sociedad Northern Digital Inc.), o a motivos negros y blancos visibles por una cámara estereoscópica (es decir, que se usa, por ejemplo, en el sistema de navegación MicronTracker® de la sociedad ClaroNav). Los marcadores ópticos activos emiten por sí mismos una radiación óptica, por ejemplo una radiación infrarroja, detectable por el dispositivo de localización 40.

La figura 4 representa esquemáticamente la referencia de robot 11. La referencia de robot 11 comprende al menos tres marcadores ópticos 16, de tal manera que la posición de la referencia de robot 11 puede determinarse en las tres dimensiones espaciales del sistema de referencia del dispositivo de localización 40. Las posiciones respectivas de los marcadores ópticos 16 de la referencia de robot 11 unos con respecto a otros se conocen en principio por la unidad de control 43. Ventajosamente, la forma geométrica de cada marcador óptico 16 también puede conocerse en principio por la unidad de control 43. En el ejemplo ilustrado en la figura 4, la referencia de robot 11 comprende tres marcadores ópticos 16 de forma esférica. Lo que se ha mencionado anteriormente para el tipo activo o pasivo de los marcadores ópticos 26 de la referencia de paciente 21 también es cierto para los marcadores ópticos 16 de la referencia de robot 11.

Las posiciones respectivas de los marcadores ópticos 16 de la referencia de robot 11 unos con respecto a otros difieren de las posiciones respectivas de los marcadores ópticos 26 de la referencia de paciente 21 unos con respecto a otros. Tales disposiciones permiten al dispositivo de localización 40 realizar una distinción entre la referencia de paciente 21 y la referencia de robot 11.

Tal como se ilustra en la figura 1, el dispositivo de localización 40 comprende al menos dos sensores ópticos 41 correspondientes, por ejemplo, a dos sensores de una cámara estereoscópica que funciona en el intervalo de las radiaciones infrarrojas o en el intervalo de la luz visible. A continuación en la descripción, se considera, a modo de ejemplo en absoluto limitativo, que los sensores ópticos 41 del dispositivo de localización 40 y los diferentes marcadores ópticos 16, 21 del sistema de navegación óptica 100 están diseñados para funcionar con una radiación óptica de tipo infrarrojo, es decir una radiación electromagnética cuya longitud de onda varía entre 780 nm y 1 mm. No obstante, conviene observar que el sistema de navegación óptica 100 según la invención también podrá estar diseñado para funcionar en el intervalo de la luz visible (radiación electromagnética cuya longitud de onda varía entre 380 nm y 780 nm) o en el intervalo del ultravioleta (radiación electromagnética cuya longitud de onda varía entre 10 nm y 380 nm).

De manera convencional, y tal como se ilustra en la figura 1, cuando está disponible una línea de visión directa entre la referencia de paciente 21 y los sensores ópticos 41 del dispositivo de localización 40 (es decir, cuando no hay ningún obstáculo entre la referencia de paciente 21 y los sensores ópticos 41 del dispositivo de localización 40, o, dicho de otro modo, cuando la radiación infrarroja puede seguir un trayecto directo 22 en línea recta entre cada marcador óptico 26 de la referencia de paciente 21 y cada sensor óptico 41 del dispositivo de localización 40), la posición de cada marcador óptico 26 puede determinarse en función del tiempo de trayecto de un rayo infrarrojo correspondiente a dicho trayecto directo 22 entre dicho marcador óptico 26 y un sensor óptico 41 (conociéndose la velocidad de la radiación infrarroja dado que es igual a la velocidad de la luz), y/o en función de un ángulo de llegada de dicho rayo infrarrojo a nivel de dicho sensor óptico 41.

Por ejemplo, cuando los marcadores ópticos 26 usados en el sistema de navegación óptica 100 son marcadores pasivos, los sensores ópticos 41 pueden estar configurados para emitir una radiación infrarroja. Esta radiación infrarroja se refleja entonces por los diferentes marcadores ópticos 26 hacia los sensores ópticos 41. Los sensores ópticos 41 están configurados para recibir esta radiación infrarroja reflejada. La distancia entre un marcador óptico 26 y un sensor óptico 41 es entonces igual a la mitad del tiempo que tarda un rayo infrarrojo para realizar el trayecto de ida y vuelta entre dicho sensor óptico 41 y dicho marcador óptico 26 multiplicado por la velocidad de la luz. Conociendo la distancia entre cada marcador óptico 26 y cada sensor óptico 41, y conociendo en principio la disposición de los marcadores ópticos 26 unos con respecto a otros sobre la referencia de paciente 21, es posible determinar la posición de la referencia de paciente 21 en el sistema de referencia del dispositivo de localización 40.

Según otro ejemplo, cuando los marcadores ópticos 26 usados en el sistema de navegación óptica 100 son marcadores activos, cada sensor óptico 41 está configurado para determinar un ángulo de llegada a nivel de dicho sensor óptico 41 de la radiación infrarroja que se genera directamente por un marcador óptico 26. Conociendo para cada marcador óptico 26 el ángulo de llegada a nivel de cada sensor óptico 41, y conociendo en principio la disposición de los marcadores ópticos 26 unos con respecto a otros sobre la referencia de paciente 21, es posible determinar la posición de la referencia de paciente 21 en el sistema de referencia del dispositivo de localización 40.

De manera similar, el dispositivo de localización 40 puede determinar la posición de la referencia de robot 11 en el sistema de referencia del dispositivo de localización 40 cuando está disponible una línea de visión directa entre la referencia de robot 11 y los sensores ópticos 41 del dispositivo de localización 40.

Conviene poder determinar la posición de la anatomía de interés del paciente a partir de la posición de la referencia de paciente 21. Con este objetivo, y tal como se ilustra en la figura 3, la referencia de paciente 21 puede comprender marcadores radiopacos 27. Las posiciones respectivas de los marcadores radiopacos 27 unos con respecto a otros se conocen en principio por la unidad de control 43. Ventajosamente, la forma geométrica de los marcadores radiopacos 27 también puede conocerse en principio por la unidad de control 43. Preferiblemente, la referencia de paciente 21 comprende al menos tres marcadores radiopacos 27. La posición de la anatomía de interés en el sistema de referencia del dispositivo de localización 40 puede determinarse entonces en función de la posición de la referencia de paciente 21 en dicho sistema de referencia y en función de una imagen médica de la anatomía de interés del paciente en la que son visibles los marcadores radiopacos 27 de la referencia de paciente 21. En efecto, la imagen médica da información sobre la posición de la anatomía de interés con respecto a la posición de la referencia de paciente 21. Conociendo la posición de la referencia de paciente 21 en el sistema de referencia del dispositivo de localización 40, puede deducirse entonces la posición de la anatomía de interés en este sistema de referencia.

Los marcadores radiopacos 27 pueden ser, por ejemplo, esferas de cerámica o esferas metálicas visibles en una imagen médica (por ejemplo tomografía por ordenador, angiografía tridimensional en rotación, obtención de imágenes por resonancia magnética, ecografía, etc.). Se adquiere una imagen médica del paciente 20 con la referencia de paciente 21. Esta imagen médica puede reajustarse con otra imagen del mismo paciente adquirida previamente y que contiene datos de planificación de la intervención o usarse directamente para planificar la intervención. La intervención planificada puede ser una ablación (por ejemplo, por radiofrecuencia, microondas, electroporación, láser, crioterapia, ultrasonidos) de un tumor en una anatomía de interés (por ejemplo, el hígado, el pulmón o el riñón). La intervención planificada también puede ser la inserción de un instrumento médico en el cerebro, en la columna vertebral (por ejemplo, para una vertebroplastia y una cementoplastia) o incluso en otra estructura ósea (por ejemplo, la rodilla). La planificación comprende la determinación de la trayectoria que debe seguir un instrumento médico (por ejemplo, una aguja) entre un punto de entrada a nivel de la piel del paciente y un punto objetivo (en el tumor) en la anatomía de interés. Una vez determinada la posición de la anatomía de interés del paciente en el sistema de referencia del dispositivo de localización, es posible deducir, a partir de estos datos de planificación, la posición que debe adoptar el instrumento médico en este sistema de referencia.

Tal como se ilustra en la figura 2, se plantea un problema para la determinación de la posición de la referencia de paciente 21 cuando un obstáculo 60 corta la línea de visión entre la referencia de paciente 21 y los sensores 41 del dispositivo de localización 40 (y aunque no se ilustra en la figura 2, se plantea un problema similar para la determinación de la posición de la referencia de robot 11 cuando un obstáculo corta la línea de visión entre la referencia de robot 11 y los sensores 41 del dispositivo de localización 40).

Para aliviar este problema, la presente invención propone usar un dispositivo reflectante 30 cuya posición en el sistema de referencia del dispositivo de localización 40 se conoce por la unidad de control 43.

Por ejemplo, en principio se conoce la posición del dispositivo reflectante 30 y se memoriza en la memoria de la unidad de control 43. En una variante, y tal como se ilustra en la figura 5, el dispositivo reflectante 30 comprende al menos tres marcadores ópticos 36. Las posiciones respectivas de los marcadores ópticos 36 unos con respecto a otros se conocen en principio por la unidad de control 43. Ventajosamente, la forma geométrica de cada marcador óptico 36 también puede conocerse en principio por la unidad de control 43. Entonces puede determinarse la posición del dispositivo reflectante 30 por la unidad de control 43 con la ayuda de los sensores ópticos 41 del dispositivo de localización 40. Tal como se ilustra en las figuras 1 y 2, el dispositivo reflectante 30 está, por ejemplo, fijado en la mesa 50 de intervención, y la posición del dispositivo reflectante 30 no se modifica durante el periodo de tiempo en donde debe determinarse la anatomía de interés del paciente.

El dispositivo reflectante 30 corresponde, por ejemplo, a una placa de vidrio sobre la cual se adhiere una lámina delgada de metal (por ejemplo, de aluminio o de plata), a su vez recubierta por una capa de cobre o de plomo. Alternativamente, la placa de vidrio puede estar recubierta por una lámina delgada de oro. El dispositivo reflectante 30 puede ser un espejo plano o un espejo cóncavo que permite concentrar los rayos infrarrojos. En el ejemplo considerado, el dispositivo reflectante 30 es un espejo plano de forma rectangular. Tal como se ilustra en la figura 5, un marcador óptico 36 puede estar posicionado a nivel de cada esquina del rectángulo formado por el dispositivo reflectante 30.

Tal como se ilustra en la figura 2 y en la figura 6, cuando una línea de visión directa entre la referencia de paciente 21 y un sensor óptico 41 se corta por un obstáculo 60, los sensores ópticos 41 están configurados para medir, para cada marcador óptico 26 de la referencia de paciente 21, una magnitud representativa de la posición de dicho marcador óptico 26 en el sistema de referencia del dispositivo de localización 40 a partir de un rayo infrarrojo procedente de dicho marcador óptico 26 que sigue un trayecto reflejado 23 por el dispositivo reflectante 30 hacia cada sensor óptico 41 (y no a partir de un rayo infrarrojo correspondiente a un trayecto directo 22 entre dicho marcador óptico 26 y dicho sensor óptico 41). Por “una magnitud representativa de la posición del marcador” se entiende, por ejemplo, un tiempo de trayecto del rayo infrarrojo entre el sensor óptico y el marcador óptico, o un ángulo de llegada del rayo infrarrojo a nivel del sensor óptico 41.

Por ejemplo, y tal como se ilustra en la figura 6, si se conoce, para cada sensor óptico 41, el ángulo de llegada de un rayo infrarrojo 23 reflejado por el dispositivo reflectante 30 y procedente de un marcador óptico 26 de la referencia de paciente 21, y si se conoce la posición del dispositivo reflectante 30, entonces es posible determinar la posición de dicho marcador

- óptico 26. Conviene observar que el rayo infrarrojo 23 se refleja en el dispositivo reflectante 30 a nivel de un punto de reflexión 28 formando un ángulo de reflexión θ con respecto a una recta δ perpendicular al dispositivo reflectante 30 que pasa por el punto de reflexión 28. Este ángulo de reflexión θ es idéntico para el rayo incidente y para el rayo reflejado. En la figura 6, el ángulo de llegada del rayo infrarrojo 23 a nivel del sensor óptico 41 en un plano que contiene el rayo infrarrojo 23 y la recta δ corresponde al ángulo Φ . Si se conocen el ángulo de llegada Φ a nivel del sensor óptico 41 y la posición del dispositivo reflectante 30, es posible determinar el valor del ángulo de reflexión θ . De este modo puede determinarse un ángulo de reflexión para el rayo infrarrojo asociado respectivamente a cada uno de los dos sensores ópticos 41. La posición del marcador óptico 26 corresponde a la intersección de los dos rayos infrarrojos.
- Conviene observar que la posición del marcador óptico 26 también podrá determinarse a partir de un sensor óptico 41 en función, por un lado, del ángulo de llegada del rayo infrarrojo 23 y en función, por otro lado, del tiempo de trayecto del rayo infrarrojo 23 entre el marcador óptico 26 y el sensor óptico 41 (con la hipótesis de que puede determinarse este tiempo de trayecto).
- La figura 7 representa esquemáticamente las principales etapas de un procedimiento puesto en práctica por la unidad de control 43 para determinar la posición de la anatomía de interés del paciente.
- El procedimiento 200 comprende una primera etapa en la que se detecta si un obstáculo corta una línea de visión directa entre la referencia de paciente 21 y los sensores ópticos 41 del dispositivo de localización 40.
- Si está disponible una línea de visión directa (no hay ningún obstáculo), el procedimiento 200 comprende una etapa 201 en la que se realizan mediciones por los sensores ópticos 41 a partir de rayos infrarrojos según trayectos directos 22 entre los marcadores ópticos 26 de la referencia de paciente 21 y los sensores ópticos 41.
- Si se corta la línea de visión (presencia de un obstáculo), entonces el procedimiento 200 comprende una etapa 202 en la que se realizan mediciones por los sensores ópticos 41 a partir de rayos infrarrojos 23 según trayectos indirectos que comprenden una reflexión sobre el dispositivo reflectante 30, entre los marcadores ópticos 26 de la referencia de paciente 21 y los sensores ópticos 41.
- En la etapa 203, se determina la posición de la referencia de paciente 21 a partir de las posiciones de los marcadores ópticos 26 determinadas a partir de las mediciones realizadas por los sensores ópticos 41.
- En la etapa 204, se determina la posición de la anatomía de interés 204 a partir de la posición de la referencia de paciente 21.
- Los sensores ópticos 41 están configurados, por ejemplo, para trabajar por defecto con rayos infrarrojos 23 procedentes directamente de un espacio de trabajo en el que se supone que se encuentran la referencia de paciente 21 y/o la referencia de robot 11. Si no se detectan tales rayos infrarrojos, entonces la unidad de control 43 configura los sensores ópticos 41 para que trabajen a partir de rayos infrarrojos 23 reflejados por el dispositivo reflectante 30.
- Por tanto, es posible determinar la posición de la anatomía de interés del paciente en cualquier momento, aunque no esté disponible una línea de visión directa.
- Lo que acaba de explicarse anteriormente para la determinación de la posición de la referencia de paciente 21 también se aplica a la determinación de la referencia de robot 11 cuando un obstáculo corta la línea de visión entre la referencia de robot 11 y los sensores 41 del dispositivo de localización 40.
- En realizaciones particulares, el robot médico 10 comprende además codificadores de articulación a nivel de su brazo articulado 13 que permiten determinar en cualquier instante la posición de la referencia de robot 11 en un sistema de referencia del robot médico 10. El robot médico 10 está configurado para transmitir a la unidad de control 43 la posición de la referencia de robot 11 en el sistema de referencia del robot médico 10. La unidad de control 43 está configurada para deducir la posición de un instrumento médico fijado en el extremo distal del brazo articulado 13 del robot médico 10 con respecto a la anatomía de interés del paciente 20.
- Con este objetivo, puede concebirse, por ejemplo, durante una etapa previa de colocación, que el brazo articulado 13 del robot médico 10 realice un movimiento predefinido para hacer que la referencia de robot 11 adopte diferentes posiciones de calibración distribuidas en el espacio de trabajo común del robot médico 10 y del sistema de navegación óptica 100. Para cada posición de calibración adoptada por la referencia de robot 11, la unidad de control 43 recibe la información de posición, por un lado, por los codificadores de articulación y, por otro lado, por los marcadores ópticos 16 de la referencia de robot 11. El sistema de referencia del robot médico 10 y el sistema de referencia del dispositivo de localización 40 pueden reajustarse (ponerse en correspondencia) mediante emparejamiento de las diferentes posiciones de calibración y cálculo de reajuste rígido por punto.
- Cuando el paciente respira, la anatomía de interés del paciente (y más particularmente una zona objetivo en el interior de la anatomía de interés) sigue los movimientos de la respiración. Conviene poder realizar un seguimiento de la posición de la anatomía de interés a lo largo del tiempo con la ayuda del sistema de navegación óptica 100,

y esto incluso durante periodos en donde la línea de visión entre un marcador posicionado a nivel de la anatomía de interés y un sensor óptico del sistema de navegación se corta por un obstáculo.

La figura 8 representa esquemáticamente el movimiento de la referencia de paciente 21 durante un periodo de tiempo que comprende varios ciclos de respiración del paciente. El movimiento se representa en un sistema de dos coordenadas x e y . Por tanto, cada eje x o y corresponde a una componente del movimiento de la referencia de paciente 21.

Por ejemplo, durante el periodo de tiempo considerado, siempre está disponible una línea de visión directa entre la referencia de paciente 21 y los sensores ópticos 41 del dispositivo de localización 40. La posición de cada marcador óptico 26 de la referencia de paciente 21 se determina en varios instantes a lo largo del periodo de tiempo. Entonces es posible determinar, para el periodo de tiempo considerado, un movimiento estimado 24 correspondiente, por ejemplo, al movimiento medio de la referencia de paciente 21, en las dos componentes elegidas, a lo largo de un ciclo de respiración del paciente. A continuación en la descripción, por simplificar se considera que el movimiento estimado 24 de la referencia de paciente 21 es sustancialmente idéntico al movimiento seguido por cada marcador óptico 26 de la referencia de paciente 21. En realidad, cada marcador óptico 26 de la referencia de paciente 21 podrá tener un movimiento particular, y el movimiento de la referencia de paciente corresponderá entonces a una resultante de los movimientos de los diferentes sensores ópticos (entonces se podrá prever interesarse en un movimiento estimado para cada marcador óptico 26 de la referencia de paciente 21).

Las figuras 9a y 9b representan esquemáticamente cómo puede determinarse la posición de un marcador óptico 26 de la referencia de paciente 21 en función del movimiento 24 estimado de dicho marcador óptico 26 cuando la línea de visión se corta por un obstáculo. La figura 9b es una representación en dos dimensiones de la figura 9a en el plano que contiene el rayo infrarrojo 23 procedente del marcador óptico 26 y reflejado por el dispositivo reflectante 30 así como la recta δ perpendicular al dispositivo reflectante 30 que pasa por el punto de reflexión 28.

Tal como se ilustra en las figuras 9a y 9b, cuando ya no está disponible la línea de visión entre la referencia de paciente 21 y un sensor óptico 41, es posible determinar la posición de un marcador óptico 26 en función, por un lado, de las mediciones realizadas por un sensor óptico 41 a partir del rayo óptico 23 procedente de dicho marcador óptico 26 de la referencia de paciente 21 y reflejado por el dispositivo reflectante 30, y en función, por otro lado, del movimiento 24 estimado del marcador óptico 26. Tal como se ilustra en la figura 9b, el movimiento estimado 24 del marcador óptico 26 se descompone según dos componentes ortogonales x e y y pertenecientes al plano que contiene el rayo infrarrojo 23 y la recta δ . El rayo infrarrojo 23 se refleja en el dispositivo reflectante 30 a nivel del punto de reflexión 28 formando un ángulo de reflexión θ con respecto a la recta δ . Este ángulo de reflexión θ es idéntico para el rayo incidente y para el rayo reflejado. El rayo infrarrojo 23 forma a nivel del sensor óptico 41 un ángulo de llegada Φ .

Si se conocen el ángulo de llegada Φ a nivel del sensor óptico 41 y la posición del dispositivo reflectante 30, es posible determinar el valor del ángulo de reflexión θ . Entonces será posible determinar la posición del marcador óptico 26 ya que corresponde a la intersección del rayo infrarrojo 23 con la trayectoria seguida por el movimiento estimado 24 del marcador óptico 26.

Según otro ejemplo, si se conoce el tiempo de trayecto del rayo infrarrojo 23 entre el marcador óptico 26 y el sensor óptico 41, dicho de otro modo, si se conoce la distancia recorrida por dicho rayo infrarrojo, también es posible determinar la posición del marcador óptico 26 ya que sólo existe un único punto en la trayectoria seguida por el movimiento estimado 24 del marcador óptico 26 a partir del cual un rayo infrarrojo 23 que se refleja sobre el dispositivo reflectante 30 alcanzará el sensor óptico 41 recorriendo dicha distancia.

En cuanto se determina la posición de cada marcador óptico 26, también puede determinarse la posición de la referencia de paciente 21. A continuación es posible deducir la posición de la anatomía de interés, concretamente si la posición de la anatomía de interés puede definirse con respecto a la posición de la referencia de paciente en una imagen médica.

Además es posible usar un modelo biomecánico de la anatomía de interés con el fin de optimizar la determinación de la posición de la anatomía de interés en función de la posición de la referencia de paciente 21 y del movimiento estimado 24 seguido por la referencia de paciente 21. En efecto, es posible modelizar en forma de un modelo biomecánico las deformaciones de las diferentes estructuras anatómicas (músculos, tendones, estructuras óseas, órganos, red vascular, etc.) y las interacciones mecánicas entre estas diferentes estructuras. Entonces, el modelo biomecánico puede permitir definir mejor el movimiento seguido por la anatomía de interés en función del movimiento seguido por la referencia de paciente 21.

La figura 10 representa esquemáticamente un modo particular de puesta en práctica del procedimiento 200 descrito con referencia a la figura 7. Concretamente, la etapa 201 de medición en la línea de visión directa de la posición de los marcadores ópticos 26 de la referencia de paciente se repite en varios instantes diferentes durante un periodo de tiempo que comprende al menos un ciclo de respiración del paciente. Tal como se describió anteriormente con referencia a la figura 8, esto permite, en la etapa 205, estimar un movimiento de la referencia de paciente 21 a lo largo de un ciclo de respiración del paciente. Este movimiento estimado 24 se usa entonces en la etapa 203 para determinar la posición de la referencia de paciente 21 cuando ya no está disponible la línea de visión (tal como se describió anteriormente con referencia a las figuras 9a y 9b). A continuación puede determinarse la posición de la anatomía de interés del paciente, en la etapa 204, a partir de la posición de la referencia de paciente 21.

Por tanto, la invención permite determinar la posición de una anatomía de interés de un paciente con la ayuda de un sistema de navegación óptica 100 aunque no esté disponible una línea de visión directa entre la referencia de paciente 21 y los sensores ópticos 41 de un dispositivo de localización 40 del sistema de navegación óptica 100.

En realizaciones particulares, y tal como se ilustra en las figuras 1 y 2, el dispositivo de localización 40 puede comprender además una cámara 42 que proporciona imágenes a la unidad de control 43 para determinar una profundidad de inserción del instrumento médico durante la intervención. Se toman imágenes de la intervención de manera continua por la cámara 42. Cuando el robot médico 10 está posicionado con respecto al paciente según el plano de intervención, el médico inserta el instrumento médico (por ejemplo, una aguja) en la anatomía de interés del paciente con vistas a alcanzar una zona objetivo (por ejemplo, un tumor). Las imágenes de la cámara 42 se analizan por la unidad de control 43 que está configurada para detectar el instrumento médico. A partir del conocimiento de la longitud total del instrumento médico y de la posición de la zona objetivo que debe alcanzarse, la unidad de control 43 puede determinar la profundidad de inserción del instrumento médico y determinar cuando el instrumento ha alcanzado la zona objetivo. Cuando se alcanza la zona objetivo, se visualiza un mensaje a la atención del médico, por ejemplo en una pantalla de control. El mensaje puede ir acompañado por una señal acústica.

En realizaciones particulares, las imágenes proporcionadas por la cámara 42 del dispositivo de localización 40 se analizan por la unidad de control 43 para reconocer gestos realizados por una mano (con guante o no) del médico, estando dichos gestos asociados a comandos particulares destinados para el robot médico 10 (por ejemplo, para configurar el brazo articulado del robot médico en una posición predeterminada, para desplazar la base del robot médico a una posición predeterminada, para interrumpir urgentemente cualquier movimiento del robot médico, etc.). Los gestos realizados por el médico pueden obstruir la línea de visión entre la referencia de paciente 21 y los sensores ópticos 41, no obstante el dispositivo reflectante 30 permite al sistema de navegación óptica 100 según la invención determinar la posición de la referencia de paciente 21.

Conviene observar que pueden usarse varios dispositivos reflectantes 30 para aumentar el número de trayectos diferentes seguidos por una radiación óptica procedente de un marcador óptico. En realizaciones particulares, el sistema de navegación óptica 100 comprende ventajosamente tres dispositivos reflectantes diferentes dispuestos de manera ortogonal dos a dos. Cuando no está disponible una línea de visión directa, la posición de la referencia de paciente 21 puede determinarse entonces a partir de rayos ópticos reflejados por uno o varios de los dispositivos reflectantes.

REIVINDICACIONES

1. Sistema de navegación óptica (100) para determinar la posición de una anatomía de interés de un paciente (20), que comprende:

-un dispositivo de localización (40) que comprende al menos dos sensores ópticos (41),
 -una unidad de control (43),
 -una referencia de paciente (21) que comprende al menos tres marcadores ópticos (26),
 conociéndose en principio las posiciones respectivas de los marcadores ópticos (26) unos con respecto a otros por la unidad de control (43), estando dicha referencia de paciente destinada a posicionarse sobre el paciente (20) a nivel de la anatomía de interés,

estando dicho sistema de navegación óptica (100) **caracterizado por que:**

-el sistema de navegación óptica (100) comprende además un dispositivo reflectante (30) cuya posición en un sistema de referencia del dispositivo de localización (40) puede determinarse por la unidad de control (43),
 -cuando está disponible una línea de visión directa entre la referencia de paciente (21) y cada sensor óptico (41), los sensores ópticos (41) están configurados para medir, para cada marcador óptico (26) de la referencia de paciente (21), una magnitud representativa de la posición de dicho marcador óptico (26) en el sistema de referencia del dispositivo de localización (40) a partir de una radiación óptica procedente de dicho marcador óptico (26) y que presenta, para cada sensor óptico (41), un trayecto directo (22) entre dicho marcador óptico (26) y dicho sensor óptico (41),
 -cuando una línea de visión directa entre la referencia de paciente (21) y un sensor óptico (41) se corta por un obstáculo (60), los sensores ópticos (41) están configurados para medir, para cada marcador óptico (26) de la referencia de paciente (21), una magnitud representativa de la posición de dicho marcador óptico (26) en el sistema de referencia del dispositivo de localización (40) a partir de una radiación óptica procedente de dicho marcador óptico (26) y que presenta un trayecto reflejado (23) por el dispositivo reflectante (30) hacia cada sensor óptico (41),
 -la unidad de control (43) está configurada para determinar, a partir de las mediciones realizadas por los sensores ópticos (41), la posición de la referencia de paciente (21) en el sistema de referencia del dispositivo de localización (40), y para deducir a partir de la misma la posición de la anatomía de interés en dicho sistema de referencia.

2. Sistema de navegación óptica (100) según la reivindicación 1, en donde el dispositivo reflectante (30) comprende al menos tres marcadores ópticos (36), conociéndose en principio las posiciones respectivas de los marcadores ópticos (36) unos con respecto a otros por la unidad de control (43).

3. Sistema de navegación óptica (100) según una de las reivindicaciones 1 a 2, en donde la unidad de control (43) está configurada para:

-durante un periodo en donde está disponible una línea de visión directa entre la referencia de paciente (21) y cada sensor óptico (41), estimar un movimiento (24) seguido por la referencia de paciente (21) en el sistema de referencia del dispositivo de localización (40) durante un ciclo de respiración del paciente (20),
 -en un instante en donde ya no está disponible una línea de visión directa entre la referencia de paciente (21) y un sensor óptico (41), determinar la posición de la referencia de paciente (21) en función, por un lado, de las mediciones realizadas por los sensores ópticos (41) a partir de las radiaciones ópticas procedentes de los marcadores ópticos (26) de la referencia de paciente (21) y reflejadas por el dispositivo reflectante (30), y en función, por otro lado, del movimiento (24) estimado de la referencia de paciente (21).

4. Sistema de navegación óptica (100) según una de las reivindicaciones 1 a 3, en donde la referencia de paciente (21) comprende además al menos tres marcadores radiopacos (27), conociéndose en principio las posiciones respectivas de los marcadores radiopacos (27) unos con respecto a otros por la unidad de control (43).

5. Sistema de navegación óptica (100) según la reivindicación 4, en donde la posición de la anatomía de interés en el sistema de referencia del dispositivo de localización (40) se determina en función de la posición de la referencia de paciente (21) en dicho sistema de referencia y en función de una imagen médica de la anatomía de interés del paciente en la que son visibles los marcadores radiopacos (27) de la referencia de paciente (21).

6. Sistema de navegación óptica (100) según la reivindicación 5, en donde la posición de la anatomía de interés en el sistema de referencia del dispositivo de localización (40) se determina además en función de un modelo biomecánico de la anatomía de interés.

7. Sistema de navegación óptica (100) según una de las reivindicaciones 1 a 6, que comprende tres dispositivos reflectantes (30) ortogonales dos a dos.
- 5 8. Sistema de navegación óptica (100) según una de las reivindicaciones 1 a 7, que comprende además una referencia de robot (11) destinada a posicionarse a nivel de un extremo distal de un brazo articulado (13) de un robot médico (10), comprendiendo dicha referencia de robot (11) al menos tres marcadores ópticos (16), conociéndose en principio las posiciones respectivas de los marcadores ópticos (16) unos con respecto a otros por la unidad de control (43), y en donde
 - 10 -cuando está disponible una línea de visión directa entre la referencia de robot (11) y cada sensor óptico (41), los sensores ópticos (41) están configurados para medir, para cada marcador óptico (16) de la referencia de robot (11), una magnitud representativa de la posición de dicho marcador óptico (16) en el sistema de referencia del dispositivo de localización (40) a partir de una radiación óptica procedente de dicho marcador óptico (16) y que presenta, para cada sensor óptico, un trayecto directo
 - 15 -entre dicho marcador óptico y dicho sensor óptico (41),
 - cuando una línea de visión directa entre la referencia de robot (11) y un sensor óptico (41) se corta por un obstáculo, los sensores ópticos (41) están configurados para medir, para cada marcador óptico (16) de la referencia de robot (11), una magnitud representativa de la posición de dicho marcador óptico (16) en el sistema de referencia del dispositivo de localización (40) a partir de una radiación óptica procedente de dicho marcador óptico (16) y que presenta un trayecto reflejado por el dispositivo reflectante (30) hacia cada sensor óptico (41),
 - 20 -la unidad de control (43) está configurada para determinar la posición de la referencia de robot (11) en el sistema de referencia del dispositivo de localización (40) a partir de las mediciones así realizadas por los sensores ópticos (41).
- 25 9. Sistema de navegación óptica (100) según la reivindicación 8, que comprende además un robot médico (10) que comprende un brazo articulado (13), estando la referencia de robot (11) posicionada en un extremo distal del brazo articulado (13), comprendiendo dicho robot médico (10) además codificadores de articulación del brazo articulado (13) que permiten determinar en cualquier instante la posición de la referencia de robot (11) en un sistema de referencia del robot médico (10), estando el robot médico (10) configurado para transmitir a la unidad de control (43) la posición de la referencia de robot (11) en el sistema de referencia del robot médico (10), y la unidad de control (43) está configurada para deducir a partir de la misma la posición de un instrumento médico fijado en el extremo distal del brazo articulado (13) del robot médico (10) con respecto a la anatomía de interés del paciente (20).
- 30 10. Sistema de navegación óptica (100) según una de las reivindicaciones 8 a 9, en donde los marcadores ópticos (26, 16) de la referencia de paciente (21) y/o de la referencia de robot (11) son marcadores activos y la radiación óptica procedente de un marcador óptico (26, 16) es una radiación infrarroja generada por dicho marcador óptico (26, 16).
- 35 11. Sistema de navegación óptica (100) según una de las reivindicaciones 8 a 9, en donde los marcadores ópticos (26, 16) de la referencia de paciente (21) y/o de la referencia de robot (11) son marcadores pasivos y la radiación óptica procedente de un marcador óptico (26, 16) es una radiación infrarroja generada por el dispositivo de localización (40) y reflejada por dicho marcador óptico (26, 16).
- 40 12. Procedimiento (200) para determinar la posición de una anatomía de interés de un paciente (20), poniéndose dicho procedimiento (200) en práctica por un sistema de navegación óptica (100) que comprende:
 - 45 -un dispositivo de localización (40) que comprende al menos dos sensores ópticos (41),
 - una referencia de paciente (21) que comprende al menos tres marcadores ópticos (26),
 - 50 conociéndose en principio las posiciones respectivas de los marcadores ópticos (26) unos con respecto a otros, estando dicha referencia de paciente (21) destinada a posicionarse sobre el paciente (20) a nivel de la anatomía de interés,
- 55 estando dicho procedimiento **caracterizado por que** el sistema de navegación óptica (100) comprende además un dispositivo reflectante (30) cuya posición en un sistema de referencia del dispositivo de localización (40) se conoce, y el procedimiento (200) comprende las siguientes etapas:
 - 60 -cuando está disponible una línea de visión directa entre la referencia de paciente (21) y cada sensor óptico (41), una medición (201), para cada marcador óptico (26) de la referencia de paciente (21), de una magnitud representativa de la posición de dicho marcador óptico (26) en el sistema de referencia del dispositivo de localización (40) a partir de una radiación óptica procedente de dicho marcador óptico (26) y que presenta, para cada sensor óptico (41), un trayecto directo (22) entre dicho marcador óptico (26) y dicho sensor óptico (41),
 - 65 -cuando una línea de visión directa entre la referencia de paciente (21) y un sensor óptico (41) se corta por un obstáculo (60), una medición (202), para cada marcador óptico (26) de la referencia de paciente (20), de una magnitud representativa de la posición de dicho marcador óptico (26) en el

- sistema de referencia del dispositivo de localización (40) a partir de una radiación óptica procedente de dicho marcador óptico (26) y que presenta un trayecto reflejado (23) por el dispositivo reflectante (30) hacia cada sensor óptico (41),
- 5 -una determinación (203), a partir de las mediciones así realizadas por los sensores ópticos (41), de la posición de la referencia de paciente (21) en el sistema de referencia del dispositivo de localización (40),
- una determinación (204), en dicho sistema de referencia del dispositivo de localización (40), de la posición de la anatomía de interés a partir de la posición de la referencia de paciente (21).
- 10 13. Procedimiento (200) según la reivindicación 12, que comprende además las siguientes etapas:
- durante un periodo en donde está disponible una línea de visión directa entre la referencia de paciente (21) y cada sensor óptico (41), una estimación (205) de un movimiento (24) seguido por la referencia de paciente (21) en el sistema de referencia del dispositivo de localización (40) durante un ciclo de respiración del paciente (20),
- 15 -en un instante en donde ya no está disponible una línea de visión directa entre la referencia de paciente (21) y un sensor óptico (41), una determinación (203) de la posición de la referencia de paciente (21) en función, por un lado, de las mediciones realizadas por los sensores ópticos (41) a partir de las radiaciones ópticas procedentes de los marcadores ópticos (26) de la referencia de paciente (21) y reflejadas por el dispositivo reflectante (30), y en función, por otro lado, del movimiento (24) estimado de la referencia de paciente (21).
- 20 14. Procedimiento (200) según la reivindicación 13, en donde la determinación (204) de la posición de la anatomía de interés en el sistema de referencia del dispositivo de localización (40) se realiza además a partir de una imagen médica de la anatomía de interés del paciente (20) en la que son visibles marcadores radiopacos (27) de la referencia de paciente (21).
- 25 15. Procedimiento (200) según la reivindicación 14, en donde la determinación (204) de la posición de la anatomía de interés en el sistema de referencia del dispositivo de localización (40) se realiza además a partir de un modelo biomecánico de la anatomía de interés.
- 30 16. Procedimiento (200) según una de las reivindicaciones 12 a 15, en donde el sistema de navegación óptica (100) comprende además una referencia de robot (11) destinada a posicionarse a nivel de un extremo distal de un brazo articulado (13) de un robot médico (10), comprendiendo dicha referencia de robot (11) al menos tres marcadores ópticos (16), conociéndose en principio las posiciones respectivas de los marcadores ópticos (16) unos con respecto a otros, comprendiendo dicho procedimiento (200) además las siguientes etapas:
- 35 -cuando está disponible una línea de visión directa entre la referencia de robot (11) y cada sensor óptico (41), una medición, para cada marcador óptico (16) de la referencia de robot (11), de una magnitud representativa de la posición de dicho marcador óptico (16) en el sistema de referencia del dispositivo de localización (40) a partir de una radiación óptica procedente de dicho marcador óptico (16) y que presenta, para cada sensor óptico (41), un trayecto directo entre dicho marcador óptico (16) y dicho sensor óptico (41),
- 40 -cuando una línea de visión directa entre la referencia de robot (11) y un sensor óptico (41) se corta por un obstáculo, una medición, para cada marcador óptico (16) de la referencia de robot (11), de una magnitud representativa de la posición de dicho marcador óptico (16) en el sistema de referencia del dispositivo de localización (40) a partir de una radiación óptica procedente de dicho marcador óptico (16) y que presenta un trayecto reflejado por el dispositivo reflectante (30) hacia cada sensor óptico (41),
- 45 -una determinación de la posición de la referencia de robot (11) en el sistema de referencia del dispositivo de localización (40) a partir de las mediciones así realizadas por los sensores ópticos (41).
- 50 17. Procedimiento (200) según la reivindicación 16, en donde el sistema de navegación óptica (100) comprende además un robot médico (10) que comprende un brazo articulado (13), estando la referencia de robot (11) posicionada en un extremo distal del brazo articulado (13), comprendiendo dicho robot médico (10) además codificadores de articulación del brazo articulado (13) que permiten determinar en cualquier instante la posición de la referencia de robot (11) en un sistema de referencia del robot médico (10), comprendiendo dicho procedimiento (200) además una etapa de determinación de la posición de un instrumento médico fijado en el extremo distal del brazo articulado (13) del robot médico (10) con respecto a la anatomía de interés del paciente (20).
- 55 60

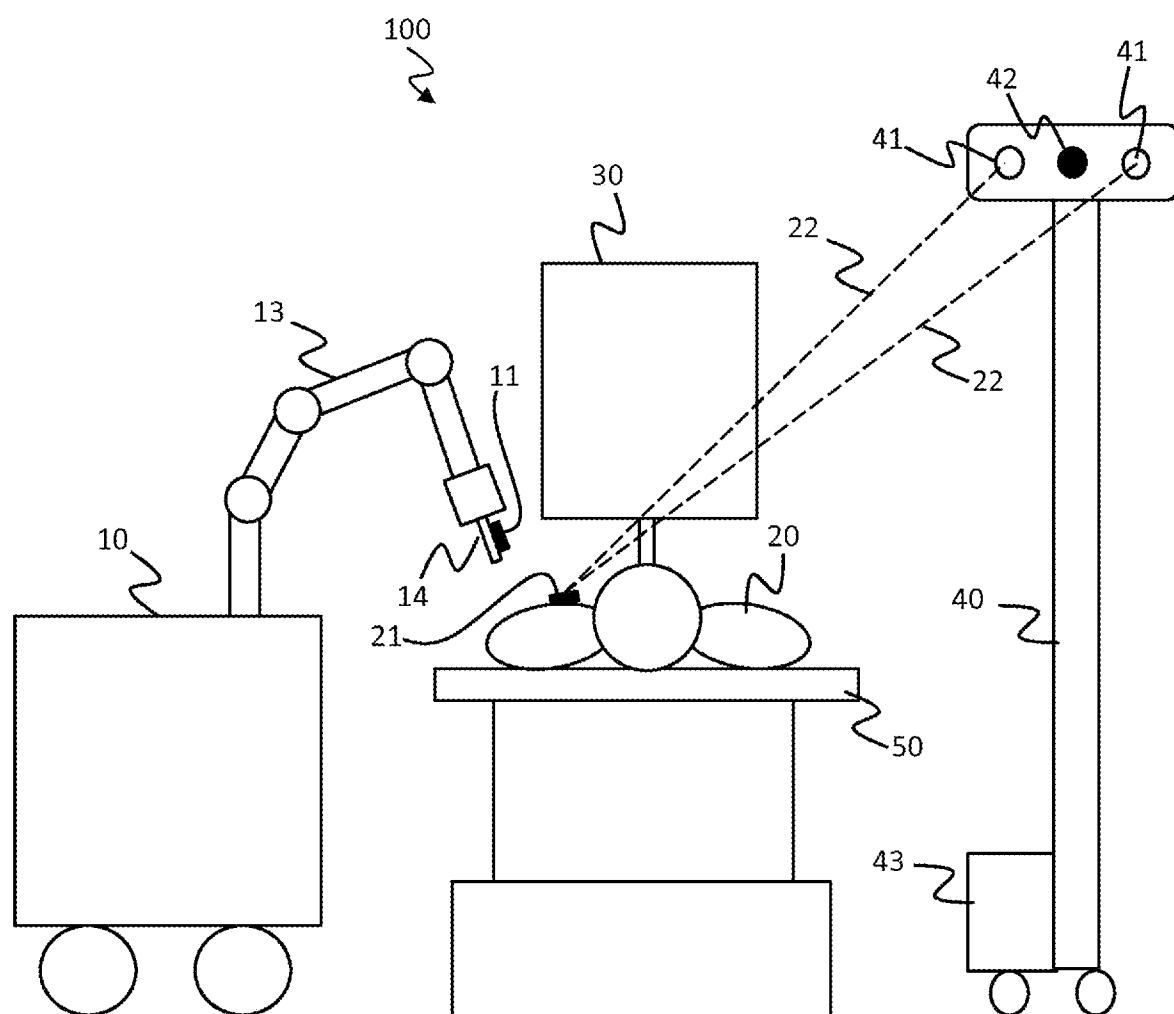


Figura 1

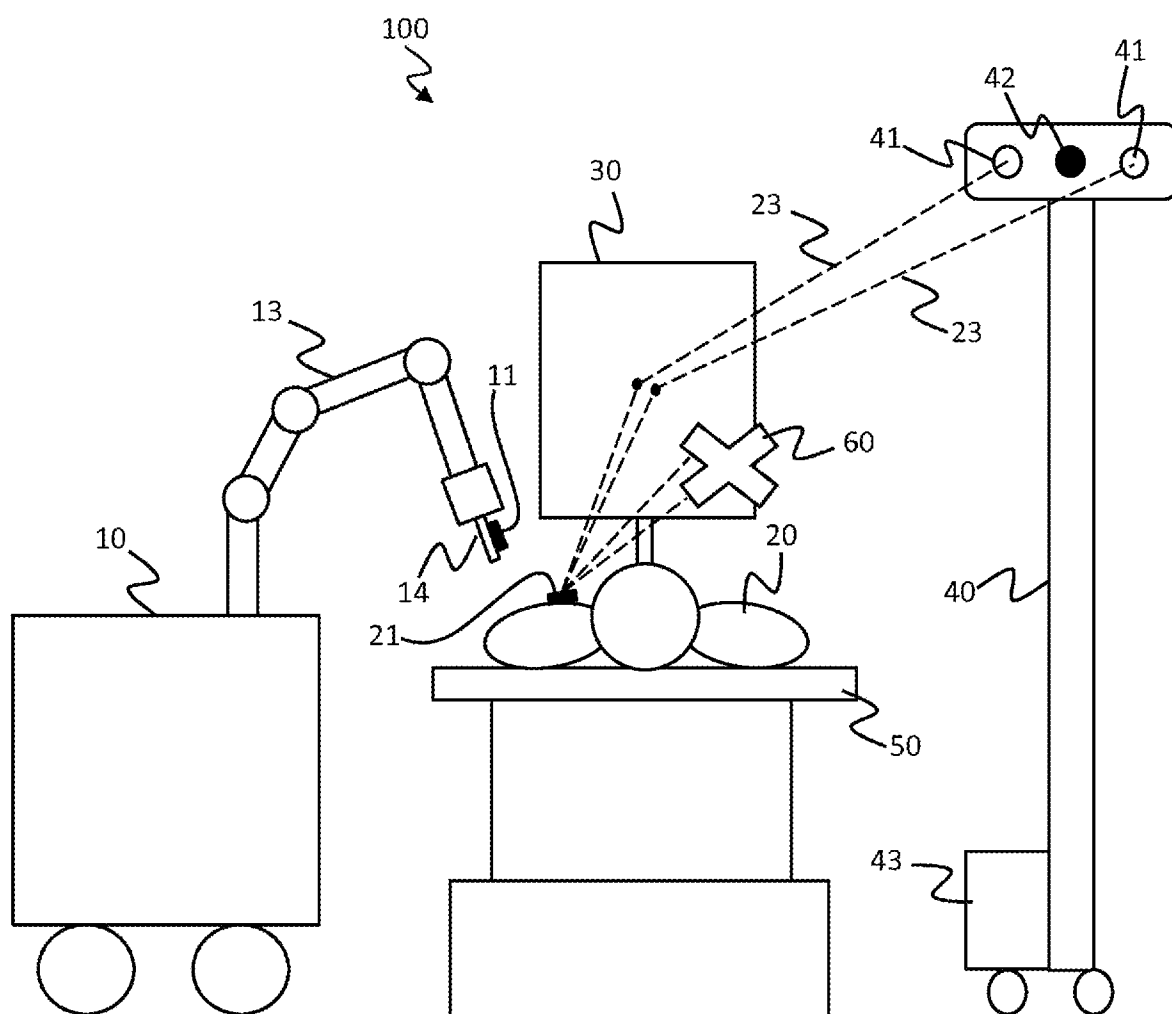


Figura 2

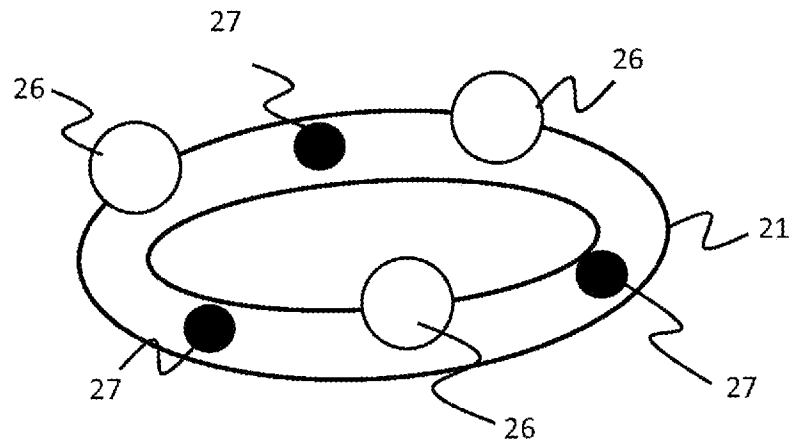


Figura 3

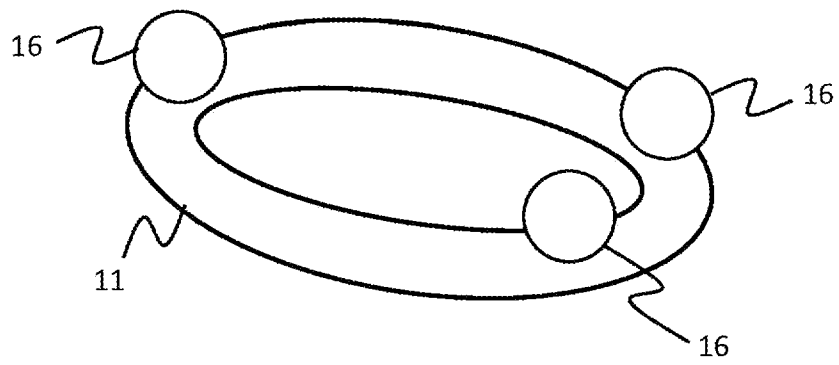


Figura 4

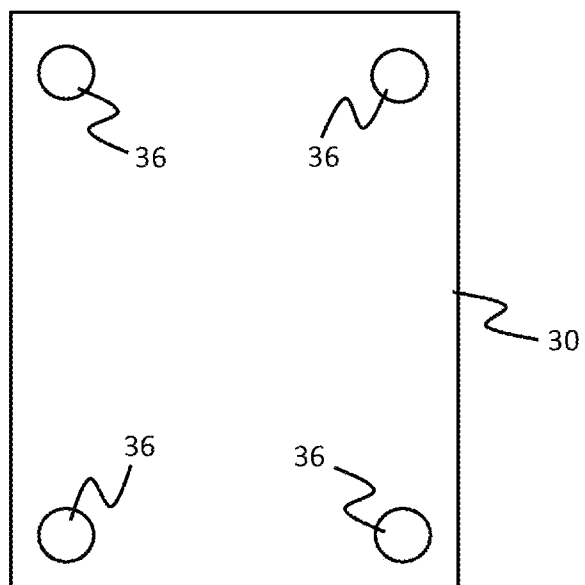


Figura 5

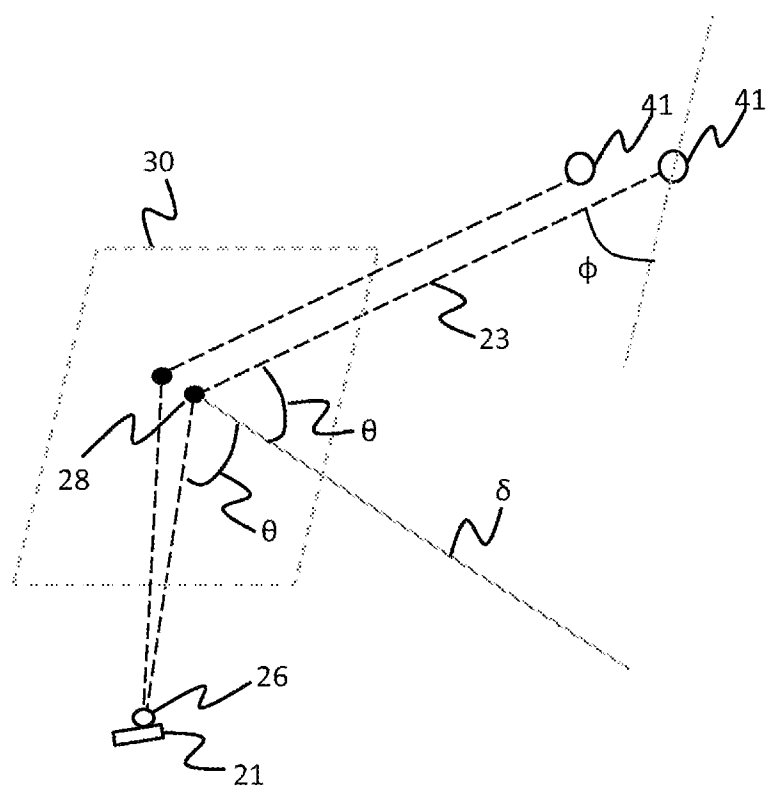


Figura 6

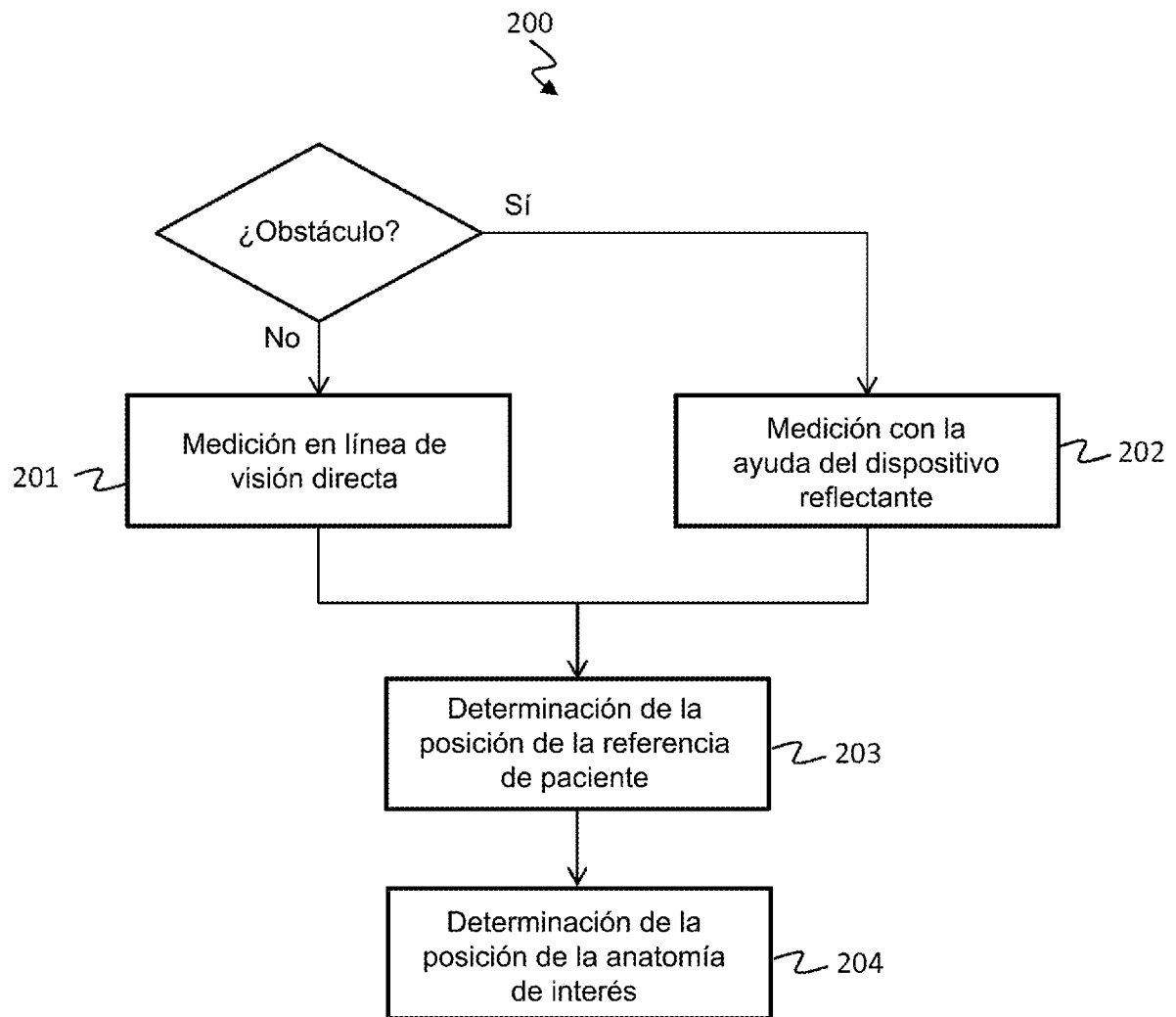


Figura 7

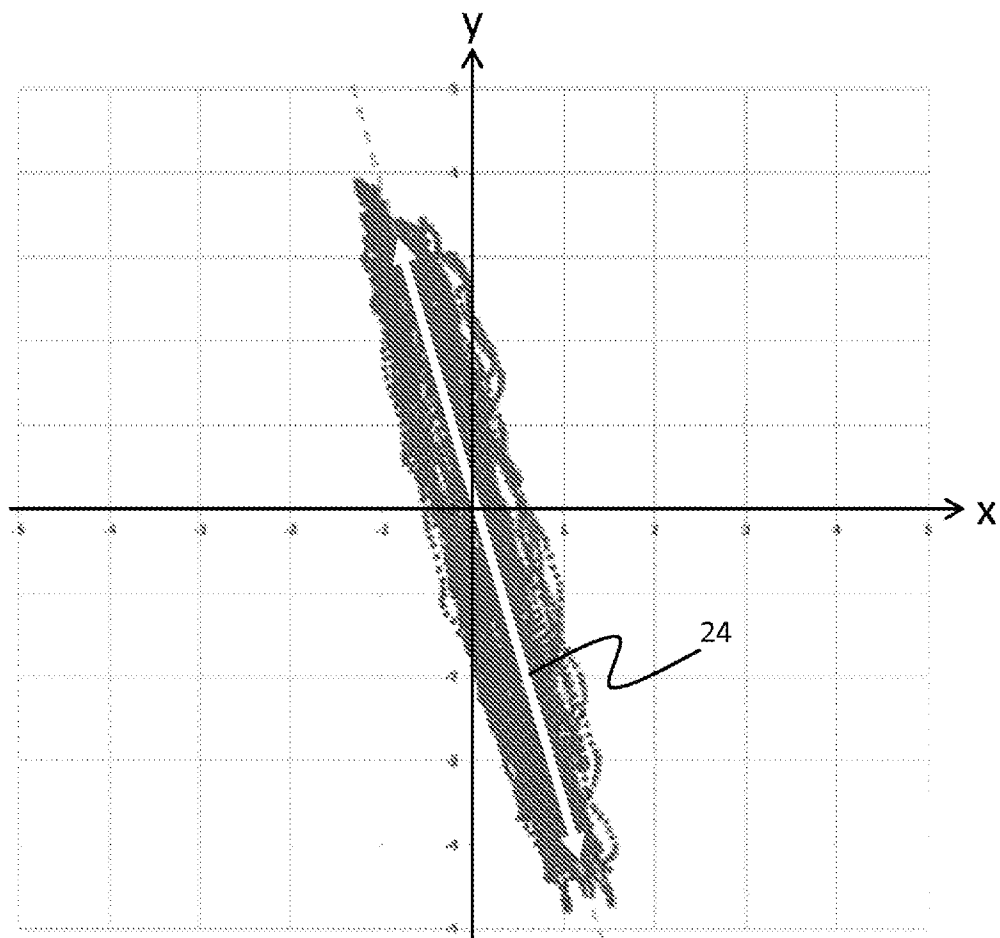


Figura 8

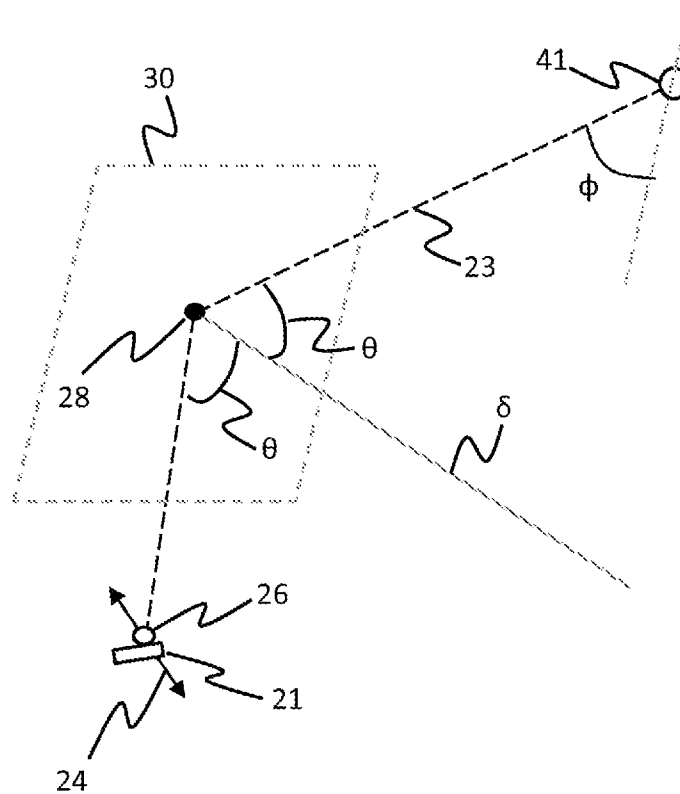


Figura 9a

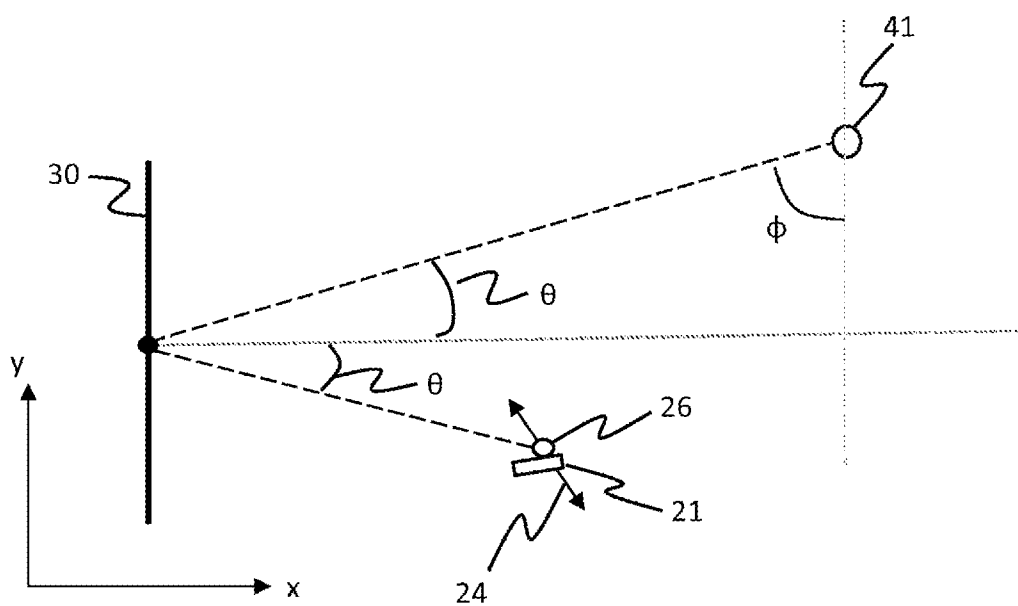


Figura 9b

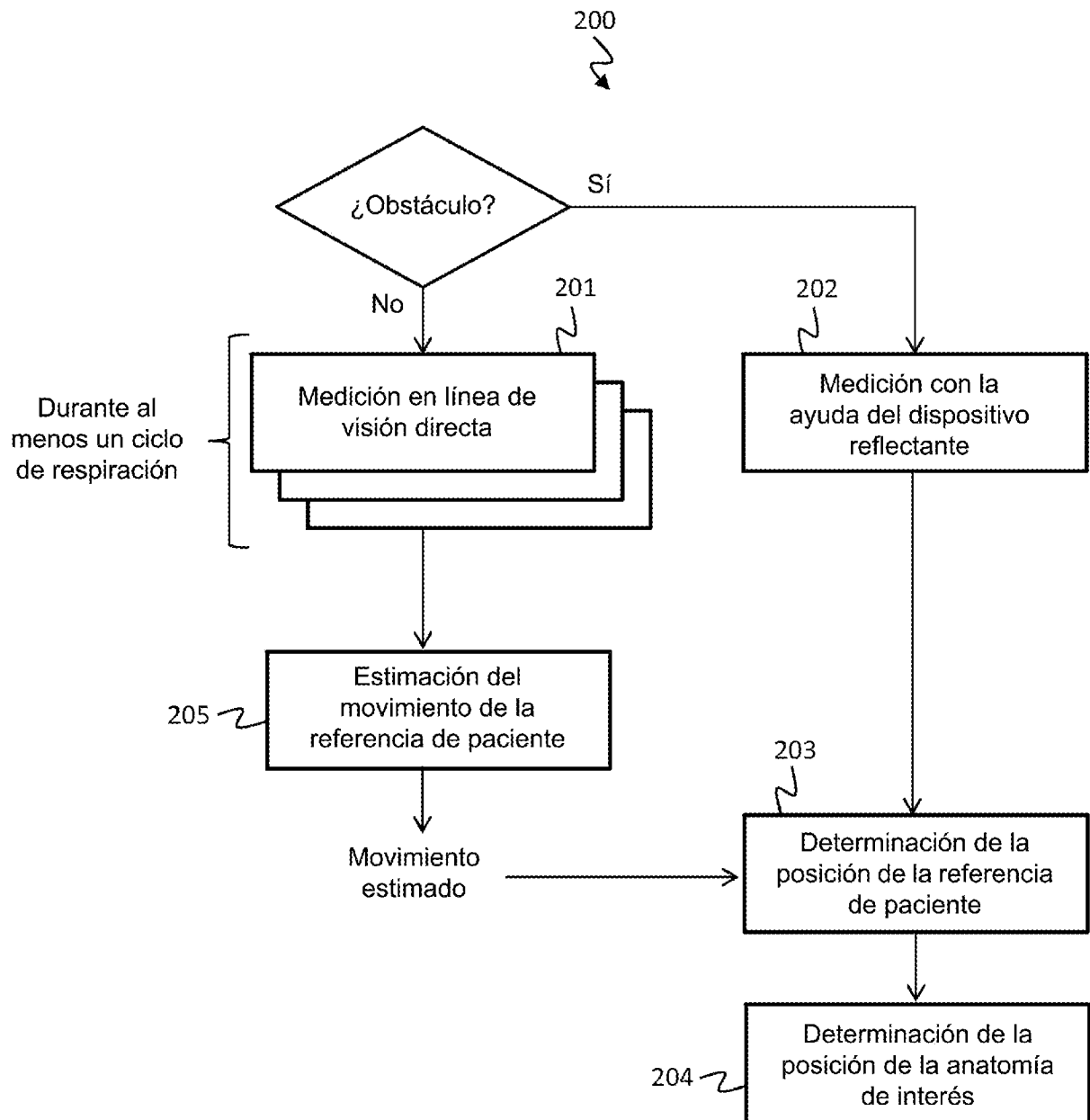


Figura 10