

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 966 562**

51 Int. Cl.:

A61B 17/70

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.05.2017** **PCT/ES2017/070305**

87 Fecha y número de publicación internacional: **15.11.2018** **WO18206830**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.05.2017** **E 17729171 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.10.2023** **EP 3622911**

54 Título: **Robot quirúrgico para intervenciones ortopédicas**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
22.04.2024

73 Titular/es:

CYBER SURGERY, S.L. (100.0%)
Paseo Mikeletegi 71, 336
20009 San Sebastian, Gipuzkoa, ES

72 Inventor/es:

PRESA ALONSO, JORGE;
OÑATIVIA BRAVO, JON;
ESCUDERO MARTÍNEZ DE IBARRETA, ÁLVARO;
URZAINQUI GLARIA, ALFONSO y
SÁNCHEZ TAPIA, EMILIO

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 966 562 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 quirúrgico para intervenciones ortopédicas

Antecedentes de la invención

Campo de la invención

- 5 La presente invención se refiere a robots para intervenciones ortopédicas, más en particular, a un robot para asistir en la inserción de tornillos que incorpora medios para rastrear y compensar el movimiento óseo.

Descripción de la técnica relacionada

- 10 El uso de sistemas de tornillo pedicular para la estabilización espinal se ha vuelto cada vez más común en la cirugía de la columna vertebral. Esta tecnología se utiliza actualmente cuando se realizan operaciones de fusión en la columna vertebral, debido a la mejora en las tasas de fusión y la rigidez que ofrecen estas construcciones. Una variedad de sistemas de tornillo pedicular han sido descritos y se están desarrollando nuevas técnicas. Las técnicas tradicionales dependen en gran medida de la destreza del cirujano; las técnicas que hacen uso de la navegación necesitan un dispositivo externo. La cirugía robótica asistida utiliza un sistema robótico combinado con un dispositivo de rastreo que proporciona una guía robusta para el cirujano.

- 15 En el documento US6322567, se describe un sistema para rastrear y compensar los movimientos de los huesos. El sistema se basa en la determinación de una relación espacial entre el brazo quirúrgico robótico y el hueso, y el rastreo de los movimientos de traslación y rotación del hueso con un detector de movimiento óseo. La precisión de este enfoque está inherentemente limitada por la precisión absoluta del brazo robótico quirúrgico que es responsable de la compensación del movimiento óseo. Además, el sistema se basa en un procedimiento de calibración que determina la relación de transformación entre el sistema de coordenadas del brazo robótico quirúrgico y el sistema de coordenadas de la parte de rastreo. La exactitud del brazo robótico y la del procedimiento de calibración son dos limitaciones intrínsecas de este diseño que introducen errores no despreciables en el sistema que pueden tener un impacto en el rendimiento global del dispositivo. Además, el procedimiento de registro depende también de la medición de un conjunto de puntos en el hueso por un operario humano que manipula el sistema de rastreo. Esta última etapa introduce errores que pueden ser impredecibles.

El documento US2013096573A1 da a conocer un sistema y método para el rastreo de herramientas quirúrgicas.

El documento US2009306499A1 da a conocer un conjunto de pinza cinemática con autodetección.

El documento US20170056086A1 da a conocer sistemas quirúrgicos robóticos y métodos para el doblado de varillas.

El documento US 2015/168179 A1 da a conocer técnica anterior adicional.

30 Resumen de la invención

- La presente invención se refiere a un robot quirúrgico que rastrea y compensa el movimiento óseo que comprende un rastreador mecánico y una guía de herramienta en el extremo actuador de un brazo robótico. La base del rastreador y la guía de herramienta comparten el mismo sistema de referencia, es decir, están en el mismo plano, de modo que el sistema es capaz de determinar directamente la colocación exacta de la guía de herramienta con respecto al hueso rastreado sin ningún dispositivo intermedio. De esta manera, se puede prescindir de un rastreador óptico y de las cámaras asociadas, lo que hace que el área de operación esté libre de cámaras y otros dispositivos que dificultan los procedimientos.

- 40 El rastreador determina la relación espacial entre el brazo robótico y el hueso mediante el monitoreo de la posición del hueso en tres ejes perpendiculares (x , y , z) y la orientación (α , β , γ) con respecto a tres ejes perpendiculares, es decir, seis parámetros. Por lo tanto, el rastreador es un sistema mecánico que tiene que tener al menos seis grados de libertad con el fin de realizar un seguimiento de los seis parámetros. Esto se consigue gracias a un conjunto de segmentos articulados y codificadores asociados a los segmentos. En una primera realización, el rastreador es un conjunto de cuatro segmentos articulados con seis grados de libertad de rotación. En otra realización, el rastreador está provisto de seis o siete grados de libertad, donde uno de los grados de libertad es un segmento de longitud variable y los otros son grados de libertad de rotación.

Breve descripción de los dibujos

Para completar la descripción y proporcionar una mejor comprensión de la invención, se proporciona un conjunto de dibujos. Dichos dibujos ilustran una realización preferida de la invención, que no debe interpretarse como limitativa del alcance de la invención, sino simplemente como un ejemplo de cómo se puede realizar la invención.

- 50 La Figura 1 muestra el robot quirúrgico con el dispositivo de rastreo de la invención.

La Figura 2 muestra detalles de la pinza del sistema de acuerdo con la invención.

Las Figuras 3a-3c muestran tres posibles implementaciones de la invención, dos con seis y una con siete grados de libertad.

Las Figuras 4 y 5 son diagramas de flujo que describen el principio de funcionamiento de la invención.

La Figura 6 es una representación del dispositivo de rastreo en su posición de calibración.

5 Descripción de las realizaciones preferidas

En referencia a la Figura 1, el robot quirúrgico de la invención está provisto de un dispositivo de rastreo. En una primera realización, el rastreador se conforma de cuatro cuerpos o segmentos rígidos (1a-1d) conectados de modo que se articula el dispositivo. El rastreador presenta al menos 6 grados de libertad con el fin de realizar un rastreo de la posición (x, y, z) y de la orientación (α , β , γ) en tres ejes perpendiculares de un sistema de coordenadas. Cada grado de libertad se monitoriza constantemente con un codificador de alta resolución (2), por lo tanto, la posición y la orientación de la punta del rastreador con respecto a su base (3) se conoce en cualquier momento dado. La base (3) del rastreador se fija al extremo actuador del brazo quirúrgico robótico. El mismo extremo actuador también presenta una guía de herramienta (5). Esta guía de herramienta se colocará en el espacio de acuerdo con las ubicaciones planificadas para permitir al cirujano realizar la operación. Tanto el dispositivo de rastreo como la guía de herramienta comparten la misma base para controlar la relación geométrica entre la guía de herramienta y el hueso cuando la punta del dispositivo de rastreo se une al hueso. La relación geométrica exacta entre la guía de herramienta y la base del rastreador se establece durante el procedimiento de fabricación y no se tiene que calibrar durante la vida útil del sistema, ya que ambos elementos pertenecen al mismo cuerpo rígido. Durante la cirugía, la punta del rastreador se une a una pinza (6), preferentemente con un mecanismo de acoplamiento magnético mecánico, y la pinza se fija al hueso. Este mecanismo de acoplamiento tiene un detector que notifica al sistema cuando el rastreador se une a la pinza. Si el mecanismo de acoplamiento se separa de forma inesperada, se activa una alarma y el sistema robótico entra en un modo de seguridad para garantizar que no se produzca ningún daño.

Es importante tener en cuenta que el rastreador es un dispositivo mecánico ligero que ejerce una fuerza insignificante en el hueso. Por otra parte, el mecanismo de acoplamiento magnético (7) garantiza que la conexión que se establece entre el brazo robótico y la pinza se pueda soltar fácilmente en cualquier momento. La fuerza del imán es tal que cuando se acoplan las dos partes, la punta del rastreador y el hueso forman un cuerpo rígido. Por estas razones, los segmentos del rastreador tienen que fabricarse de un material que proporciona rigidez sin aumentar considerablemente el peso de la estructura global. Además, el material tiene que ser paramagnético con el fin de evitar la propagación del campo magnético que se genera por el imán desde la punta del rastreador al resto de la estructura. Si este campo magnético se propaga a lo largo de los segmentos del rastreador el movimiento relativo entre los segmentos podría verse afectado. Las aleaciones de aluminio satisfacen tales requisitos ya que presentan una elevada relación resistencia-peso. Por ejemplo, la aleación de aluminio 7075, que se utiliza en una variedad de aplicaciones tales como marina, automotriz y aviación, es un ejemplo de material que podría usarse en la invención. La aleación de aluminio 7075 es un material muy fuerte con una resistencia comparable a la de muchos aceros y se utiliza comúnmente en la fabricación de aeronaves y otras aplicaciones aeroespaciales. El titanio es también un material apropiado, ya que satisface las propiedades descritas anteriormente. Por ejemplo, la aleación de titanio Ti6Al4V se utiliza comúnmente en tales aplicaciones. El movimiento relativo entre cada segmento se restringe por el uso de rodamientos de bolas o de agujas con dirección de carga radial que permiten el movimiento de rotación alrededor de los ejes fijos deseados. Estos ejes fijos pueden ser el eje longitudinal o el eje transversal de cada articulación o una combinación de ambos. Tales movimientos son monitorizados por codificadores rotatorios que convierten las posiciones angulares en señales digitales.

En la primera realización, el rastreador es una cadena cinemática (un conjunto de segmentos articulados) con al menos seis grados de libertad (Figuras 1 y 3a). Preferentemente, el rastreador tiene cuatro segmentos articulados y seis codificadores rotatorios (q1-q6). El primer codificador monitoriza la rotación del primer segmento a lo largo de su eje longitudinal. El segundo codificador registra el ángulo formado por el primer y segundo segmentos, es decir, la rotación a lo largo de un eje transversal que es perpendicular al plano que contiene el primer y segundo segmentos. El tercer codificador registra el ángulo del eje transversal entre el segundo y tercer segmentos. El cuarto codificador registra la rotación a lo largo del eje longitudinal del tercer segmento. El quinto codificador monitoriza el ángulo transversal entre el tercer y cuarto segmentos. Y el sexto codificador monitoriza la rotación a lo largo del eje longitudinal del cuarto segmento. Las rotaciones y traslaciones a lo largo de estos ejes determinan las ecuaciones cinemáticas que relacionan el sistema de coordenadas de la base del rastreador y el sistema de coordenadas de la punta del rastreador.

En una realización alternativa mostrada en la Figura 3b, el rastreador puede comprender siete grados de libertad, donde, por ejemplo, seis de ellos son angulares y uno es longitudinal, es decir, un segmento de longitud variable. En un enfoque de este tipo, los grados de libertad de rotación se controlan con codificadores rotatorios (q1-q3 y q5-q7) y el grado de libertad longitudinal se controla con un codificador lineal (l4). Con referencia a la Figura 3b, el primer codificador monitoriza el ángulo formado por el primer y segundo segmentos. El segundo codificador monitoriza la rotación a lo largo del eje longitudinal del segundo segmento. El tercer codificador registra el ángulo formado por el segundo y tercer segmentos. El cuarto codificador es un codificador lineal que registra los cambios de longitud del tercer segmento. El quinto codificador monitoriza la rotación a lo largo del eje longitudinal del tercer segmento. El sexto

codificador registra el ángulo formado por el tercer y cuarto segmentos. Y el séptimo codificador monitoriza la rotación a lo largo del eje longitudinal del cuarto segmento.

En una realización alternativa mostrada en la Figura 3c, el rastreador puede comprender seis grados de libertad, donde, por ejemplo, cinco de ellos son angulares y uno es longitudinal. En tal enfoque, los grados de libertad de rotación se controlan con codificadores rotatorios (q1-q3 y q5-q6) y el grado de libertad longitudinal se controla con un codificador lineal (l4). Con referencia a la Figura 3c, el primer codificador monitoriza la rotación del primer segmento a lo largo de su eje longitudinal. El segundo codificador monitoriza la rotación a lo largo del eje longitudinal del segundo segmento. El tercer codificador registra el ángulo formado por el segundo y el tercer segmentos. El cuarto codificador es un codificador lineal que monitoriza los cambios de longitud del tercer segmento. El quinto codificador registra el ángulo formado por el tercer y cuarto segmentos. Y el sexto codificador monitoriza la rotación a lo largo del eje longitudinal del cuarto segmento.

Como alternativa, el rastreador puede diseñarse con una combinación diferente de codificadores lineales y angulares. El requisito mínimo es que se permita el movimiento del sistema mecánico en al menos seis grados de libertad, y que estos movimientos se registren con codificadores.

La posición y la orientación exactas de la punta del rastreador se calculan en una unidad de procesamiento, donde las señales de los codificadores se combinan con las ecuaciones cinemáticas del rastreador para producir la transformación que relaciona la base del rastreador con respecto al extremo del rastreador. La precisión del rastreador depende de la longitud de los segmentos, la resolución de los codificadores y el procedimiento de fabricación y de montaje del propio rastreador. Con una combinación de cuatro segmentos de longitudes del orden de 10 cm y seis codificadores rotatorios con resoluciones de 16 bits se puede lograr una precisión teórica general del orden de 50 μm .

Los codificadores rotatorios pueden ser de al menos uno de los dos tipos siguientes: absoluto o incremental. Los codificadores absolutos proporcionan un código digital único para cada ángulo distinto, siempre y cuando la variación angular supere la resolución del codificador. La relación entre la lectura real del codificador absoluto y el ángulo físico que mide se establece cuando se ensambla el sistema. Por tanto, un rastreador realizado con codificadores absolutos es capaz de calcular la posición y orientación de la punta directamente cuando el sistema se pone en marcha y no necesita ninguna posición de calibración. Los codificadores incrementales miden la diferencia de ángulo entre la posición angular cuando el codificador es inicializado (o se resetea) y su posición actual. La ventaja de este tipo de codificadores es que se pueden alcanzar precisiones superiores con un tamaño más pequeño. Sin embargo, se necesita una posición de calibración conocida para cada codificador. En la presente invención, el rastreador proporciona una posición única de calibración con su punta fijada a la base con el fin de poner a cero los codificadores incrementales en una posición conocida. Esta posición de calibración se ilustra en la Figura 6. El uso normal de un rastreador conformado de codificadores incrementales comienza restableciendo el rastreador en la posición de calibración. Esta posición de calibración se puede utilizar, para comprobar el correcto funcionamiento del rastreador en cualquier momento, ya que los codificadores incrementales deben leer un valor de cero cuando regresan a la posición en la que se han restablecido.

La guía de herramienta tiene que presentar un alto grado de rigidez ya que el cirujano realizará la operación a través de este elemento. Además, la guía de herramienta se fija directamente al extremo actuador del robot y, por tanto, su peso se soporta por el robot. Este hecho permite relajar las limitaciones acerca de la ligereza que presentan otros elementos del sistema, tales como los segmentos del rastreador. En consecuencia, el material de elección para la guía de herramienta puede ser acero inoxidable, que es más pesado que las aleaciones de aluminio, pero también es más rígido. La guía de herramienta se colocará en el espacio por el robot de acuerdo con las ubicaciones planeadas para permitir al cirujano realizar la operación. Ejemplos de herramientas quirúrgicas que se pueden utilizar para realizar una inserción de tornillo pedicular a través de la guía de herramienta son agujas de Kirschner, sistemas de acceso pedicular como punzones o brocas, dilatadores, sondas pediculares, etc.

La operación a la que está destinada es la inserción de tornillos pediculares en las vértebras, pero la invención también puede extenderse a otros tipos de cirugía. La ubicación exacta de los tornillos podría planificarse antes de que el paciente ingrese a la sala de operaciones en una imagen preoperatoria del paciente o puede planificarse durante la cirugía si existe un dispositivo de imagen tridimensional intraoperatorio, generalmente un sistema de tomografía computarizada (CT). La planificación de la cirugía incluye definir el tamaño, la ubicación y la orientación de los tornillos pediculares en las vértebras consideradas.

En la sala de operaciones, el sistema de asistencia robótico tiene que establecer en primer lugar la posición exacta del paciente. En esta etapa, denominada registro, se relaciona la posición y orientación de la vértebra real con respecto a la imagen preoperatoria de la vértebra donde se ha planificado la cirugía. El procedimiento de registro incluye fijar una pinza en la zona a operar y tomar una imagen intraoperatoria. En este punto, se determina la posición y la orientación exactas de la pinza con respecto al hueso. Si se dispone de un plan prequirúrgico, el plan se transfiere a la imagen intraoperatoria del hueso. De lo contrario, el cirujano planea la ubicación exacta de los tornillos directamente en la imagen intraoperatoria del paciente.

Hay que tener en cuenta que la pinza se fija al hueso y, por lo tanto, la pinza y el objetivo comparten el mismo sistema de coordenadas. Una vez que la punta del rastreador se acopla con la pinza, la posición objetivo definida en el sistema

de coordenadas vertebral puede transformarse al sistema de coordenadas del rastreador. Por lo tanto, es posible controlar la relación geométrica entre la guía de herramienta y la posición de destino. Con referencia a la Figura 1, el rastreador se fija al extremo actuador del robot y la punta o extremo distal del rastreador se acopla con la pinza (6), que a su vez se fija al hueso. En esta situación, el sistema es capaz de localizar y rastrear en tiempo real la posición de destino en el hueso. Por lo tanto, se puede ordenar al robot alinear la guía de herramienta con la posición de destino y mantener esta relación geométrica. Si el hueso se mueve, el desplazamiento es detectado por el rastreador y el robot actualiza su posición para preservar la alineación de la guía de herramienta.

El mecanismo de acoplamiento entre la punta del rastreador y la pinza se basa en un sistema de acoplamiento cinemático magnético (Figura 2), que comprende dos partes, comprendiendo cada parte un imán, los imanes son de polaridades opuestas, de modo que cooperan entre sí para formar el acoplamiento. Una parte, que corresponde a la base del acoplamiento cinemático, se encuentra en la pinza y la otra parte, que corresponde a la parte superior del acoplamiento cinemático, se encuentra en el rastreador, fijada al último de los segmentos en el extremo distal. Preferentemente, tres ranuras en forma de V en la porción de la pinza y tres esferas sobre la porción del rastreador proporcionan el acoplamiento mecánico junto con los imanes. Este acoplamiento crea una interfaz precisa y repetible entre los dos cuerpos rígidos. Este sistema proporciona seis puntos de contacto -dos por esfera- con el fin de garantizar que el mecanismo de acoplamiento restrinja los seis grados de libertad (tres grados de libertad para la posición y otros tres para la rotación) del movimiento relativo entre la pinza y la punta del rastreador. Un imán en el centro de cada porción proporciona la fuerza necesaria para evitar cualquier movimiento relativo entre la pinza y la punta del rastreador. La fuerza ejercida por el imán es tal que asegura la conexión entre la pinza y el rastreador mientras el robot se mueve. Sin embargo, esta fuerza es tal que la conexión se puede liberar por un operario humano para permitir que el sistema se pueda retirar fácilmente en cualquier momento. El acoplamiento cinemático más estable se obtiene cuando las tres ranuras en forma de V forman ángulos de 120°. Sin embargo, para la invención se prefiere que las tres ranuras en forma de V formen tres ángulos de tal manera que el mecanismo de acoplamiento solo se puede acoplar en una posición única. Por ejemplo, los ángulos de 110°, 110° y 140° garantizan que el mecanismo de acoplamiento se encuentra en una posición única. Para ello, al menos uno de los ángulos debe ser diferente de los otros dos.

Cuando el dispositivo de rastreo se acopla a la pinza, el robot puede funcionar en diversos modos. Se le puede ordenar ir a una posición planificada, donde la posición planificada se expresa en el sistema de coordenadas de la pinza de rastreo. Esta operación se ilustra en el diagrama de flujo de la Figura 4. En una situación estacionaria en la que el hueso no tiene movimiento, el robot se detendrá cuando la guía de herramienta alcance la posición deseada. En un modo diferente, la guía de herramienta ya está alineada con la posición de destino y el robot actualiza su posición para mantener esta alineación compensando el movimiento óseo. Este segundo modo de funcionamiento se ilustra en el diagrama de flujo de la Figura 5. Obsérvese que en este modo el robot nunca se detiene ya que está actualizando constantemente su posición para mantener la alineación de la guía de herramienta y la posición de destino.

La pinza y el rastreador pueden presentar un mecanismo de detección que notifica al sistema cuando el rastreador se fija a la pinza. Este mecanismo de detección comprende un circuito eléctrico conectado a una unidad de procesamiento que es capaz de identificar cuándo se ha establecido una conexión. La base del acoplamiento está provista de un circuito eléctrico pasivo y la parte superior conecta la base a una unidad de procesamiento. La unidad de procesamiento aplica una diferencia de potencial, por lo tanto, cuando se establece la conexión el circuito eléctrico se cierra y se detecta una corriente. Para este fin, las esferas del mecanismo de acoplamiento cinemático se fabrican de un material eléctricamente conductor y se conectan eléctricamente a la unidad de procesamiento. Las ranuras en forma de V presentan una sección eléctricamente conductora en la que las esferas hacen contacto para establecer la conexión eléctrica entre la parte superior y la base.

Tal como se utiliza en la presente memoria, el término "comprende" y derivaciones de los mismos (tales como "comprendiendo", etc.) no deben entenderse en un sentido excluyente, es decir, estos términos no deben interpretarse como excluyentes de la posibilidad de que lo que se describe y define pueda incluir elementos, etapas, etc. adicionales.

Por otra parte, la invención, obviamente, no se limita a la realización o realizaciones específicas que se describen en la presente memoria, sino que también abarca cualquier variación que pueda considerarse por cualquier persona experta en la materia (por ejemplo, en cuanto a la elección de materiales, dimensiones, componentes, configuración, etc.) para estar dentro del alcance de la invención como se define en las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Robot quirúrgico para rastrear y compensar el movimiento óseo, comprendiendo el robot:
 - un brazo de robot que comprende un extremo actuador, comprendiendo además el brazo de robot una guía de herramienta (5) en el extremo actuador;
- 5 caracterizado por que el robot quirúrgico comprende además:
 - un rastreador (1) que comprende:
 - o una base (3) fijada al extremo actuador del brazo de robot (3),
 - o un extremo distal adaptado para acoplarse con una pinza (6),
 - o un conjunto de segmentos articulados (1a-1d) que configuran una cadena cinemática que conecta la base (3) con el extremo distal, y
 - o codificadores (2) asociados a los segmentos articulados (1a-1d) configurados para rastrear el
- 10 movimiento de tales segmentos articulados (1a-1d),
en el que
un movimiento del rastreador (1) se permite y se monitoriza en al menos seis grados de libertad;
- 15 los segmentos articulados (1a-1d) están fabricados con un material paramagnético ligero que ejerce una fuerza insignificante en el hueso;
el robot quirúrgico está provisto además de una pinza (6) en el que la pinza (6) está fijada de forma desmontable a un segmento articulado (1a-1d) del extremo distal del rastreador (1) destinado a estar más cerca del paciente por medio de un mecanismo de acoplamiento cinemático (7); y en el que
- 20 el mecanismo de acoplamiento cinemático (7) comprende:
 - una base situada en la pinza (6) y provista de un primer imán, y
 - una parte superior situada en el rastreador (1) y fijada al último segmento articulado del rastreador (1) en el extremo distal, estando provista la parte superior de un segundo imán de polaridad opuesta al primer imán.
- 25 2. Robot quirúrgico de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el rastreador (1) comprende cuatro segmentos articulados (1a-1d) y seis codificadores rotatorios asociados (q1-q6).
3. Robot quirúrgico de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el rastreador (1) comprende cuatro segmentos articulados (1a-1d) y cinco codificadores rotatorios asociados (q1-q5), y uno de los segmentos articulados es capaz de cambiar su longitud y tiene un codificador lineal asociado (l4) de tal manera que el movimiento del
- 30 rastreador (1) se permite y se monitoriza en seis grados de libertad.
4. Robot quirúrgico de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el rastreador (1) comprende cuatro segmentos articulados (1a-1d) y seis codificadores rotatorios asociados (q1-q6), y uno de los segmentos articulados es capaz de cambiar su longitud y tiene un codificador lineal asociado (l4) de tal manera que el movimiento del rastreador (1) se permite y se monitoriza en siete grados de libertad.
- 35 5. Robot quirúrgico de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el mecanismo de acoplamiento cinemático (7) está provisto, en su parte superior, de tres esferas, y en su base, de tres ranuras en forma de V, formando las ranuras tres ángulos, en el que al menos uno de los ángulos es diferente de los otros dos, de tal manera que las esferas y las ranuras cooperan entre sí para formar el acoplamiento.
6. Robot quirúrgico de acuerdo con la reivindicación 5, en el que las esferas del mecanismo de acoplamiento cinemático (7) están fabricadas con un material eléctricamente conductor y se conectan eléctricamente a una unidad de procesamiento y las ranuras en forma de V presentan una sección eléctricamente conductora.
- 40 7. Robot quirúrgico de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los segmentos articulados (1a-1d) del rastreador (1) comprenden una aleación de aluminio o una aleación de titanio.

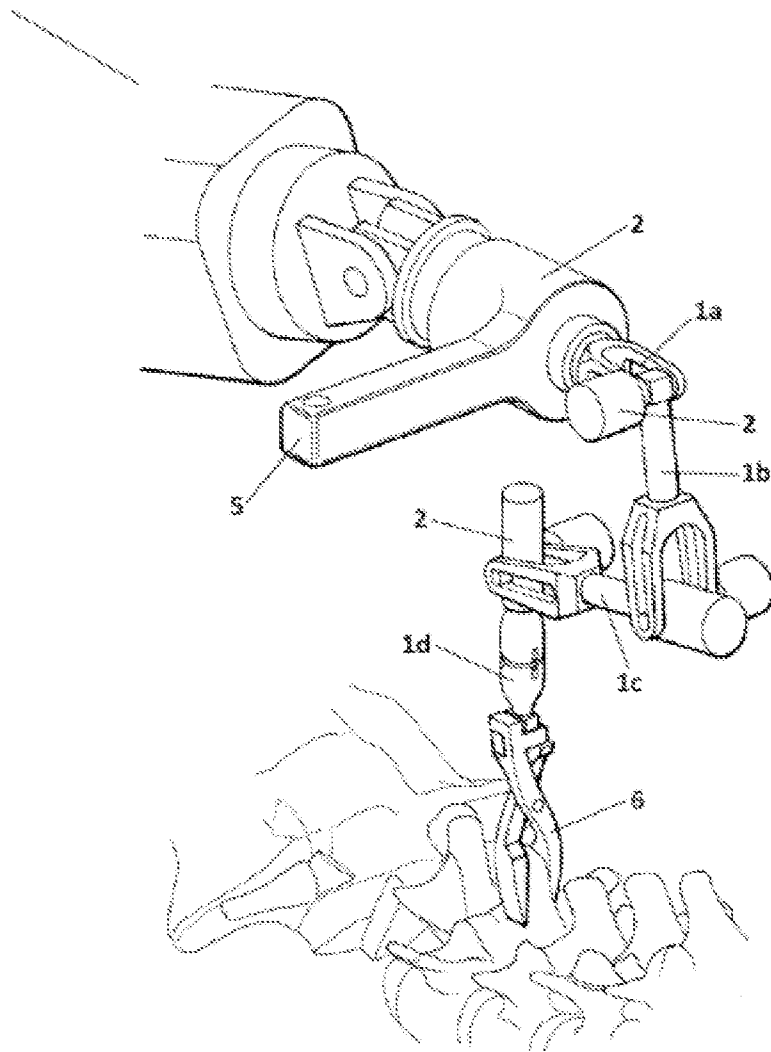


FIG. 1

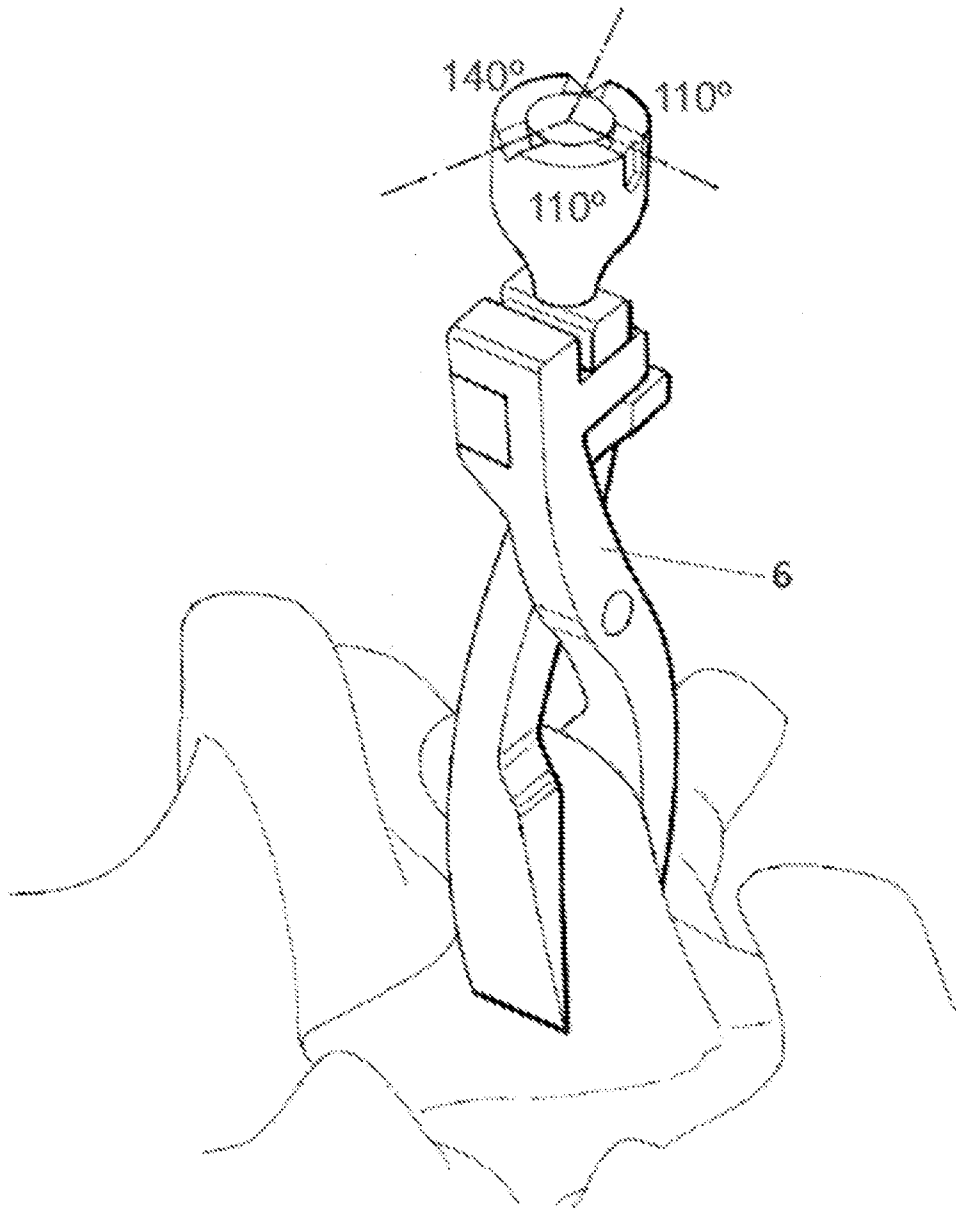


FIG. 2

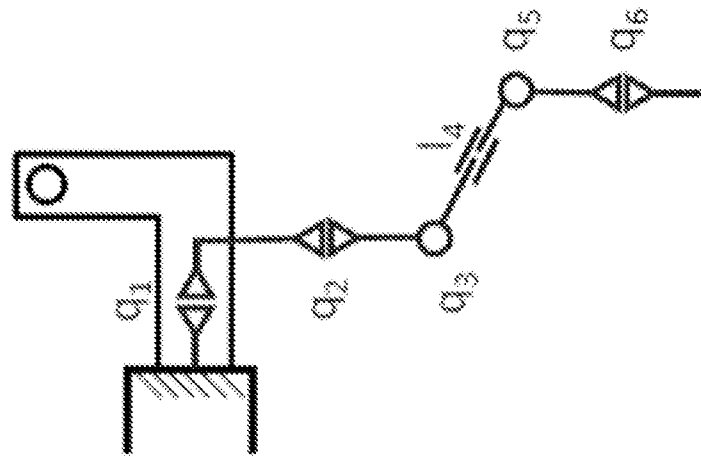


FIG. 3A

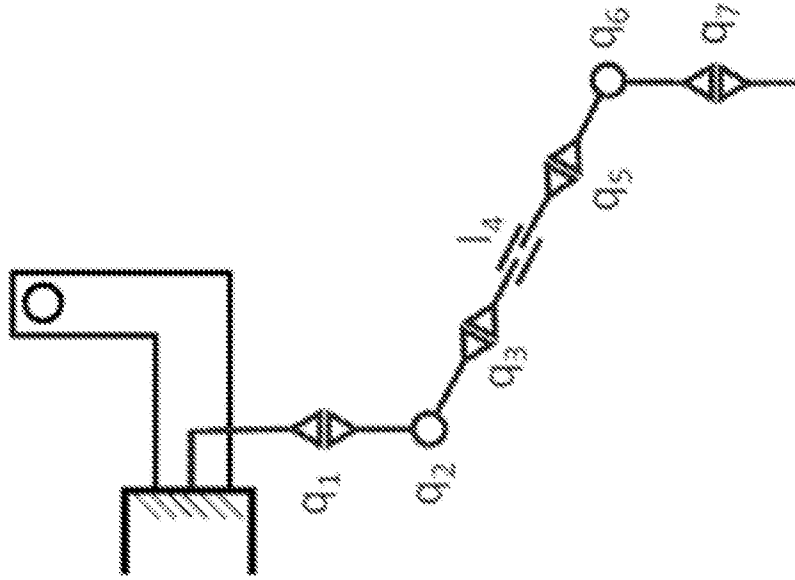


FIG. 3B

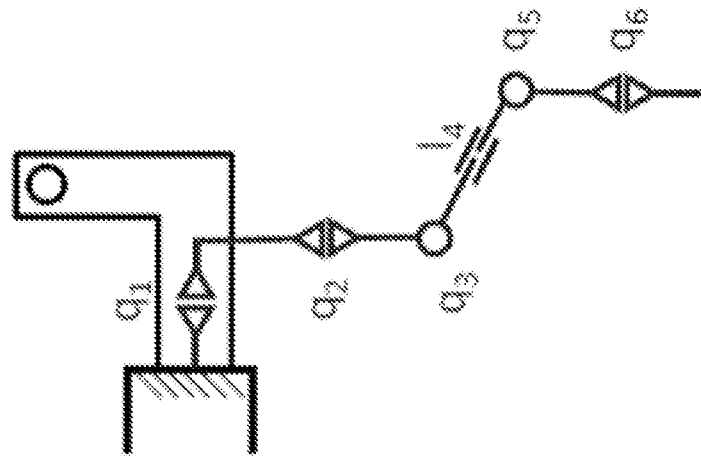


FIG. 3C

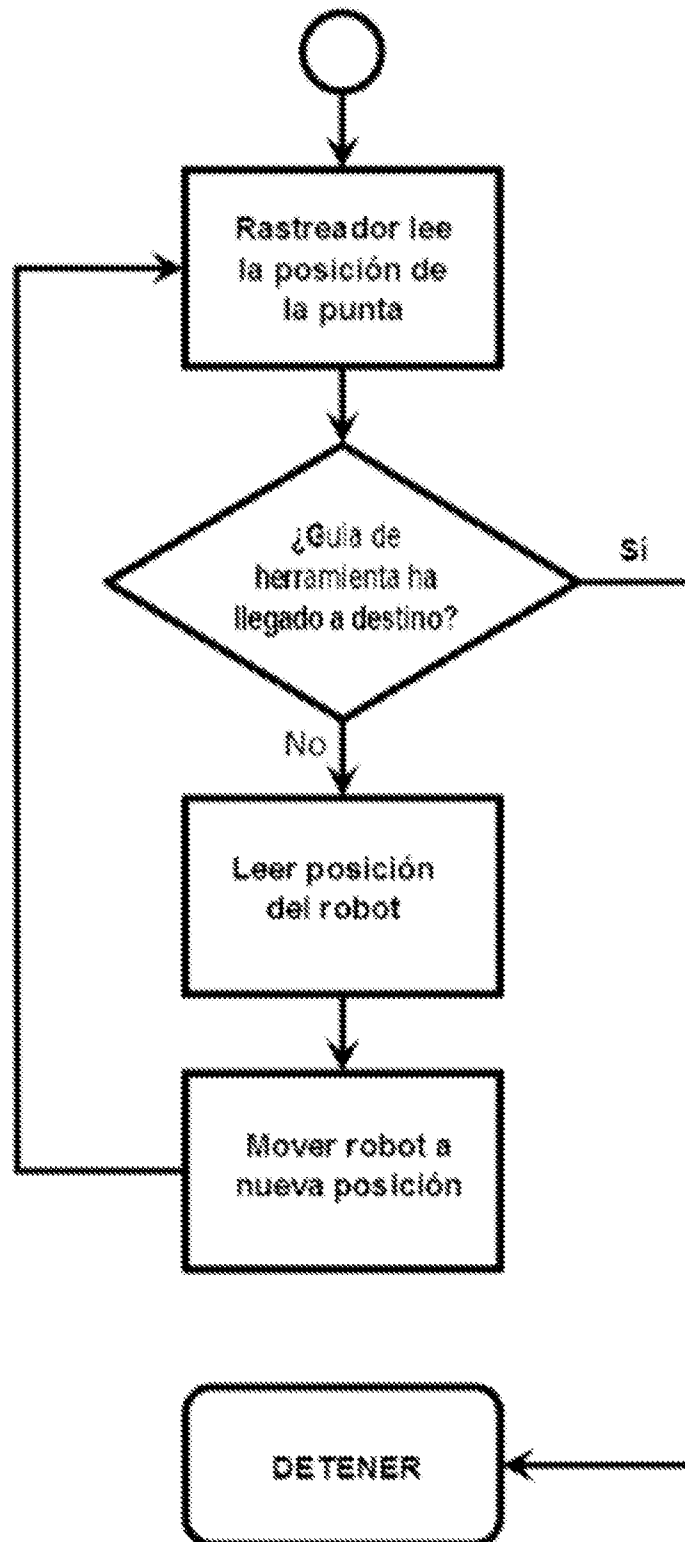


FIG. 4

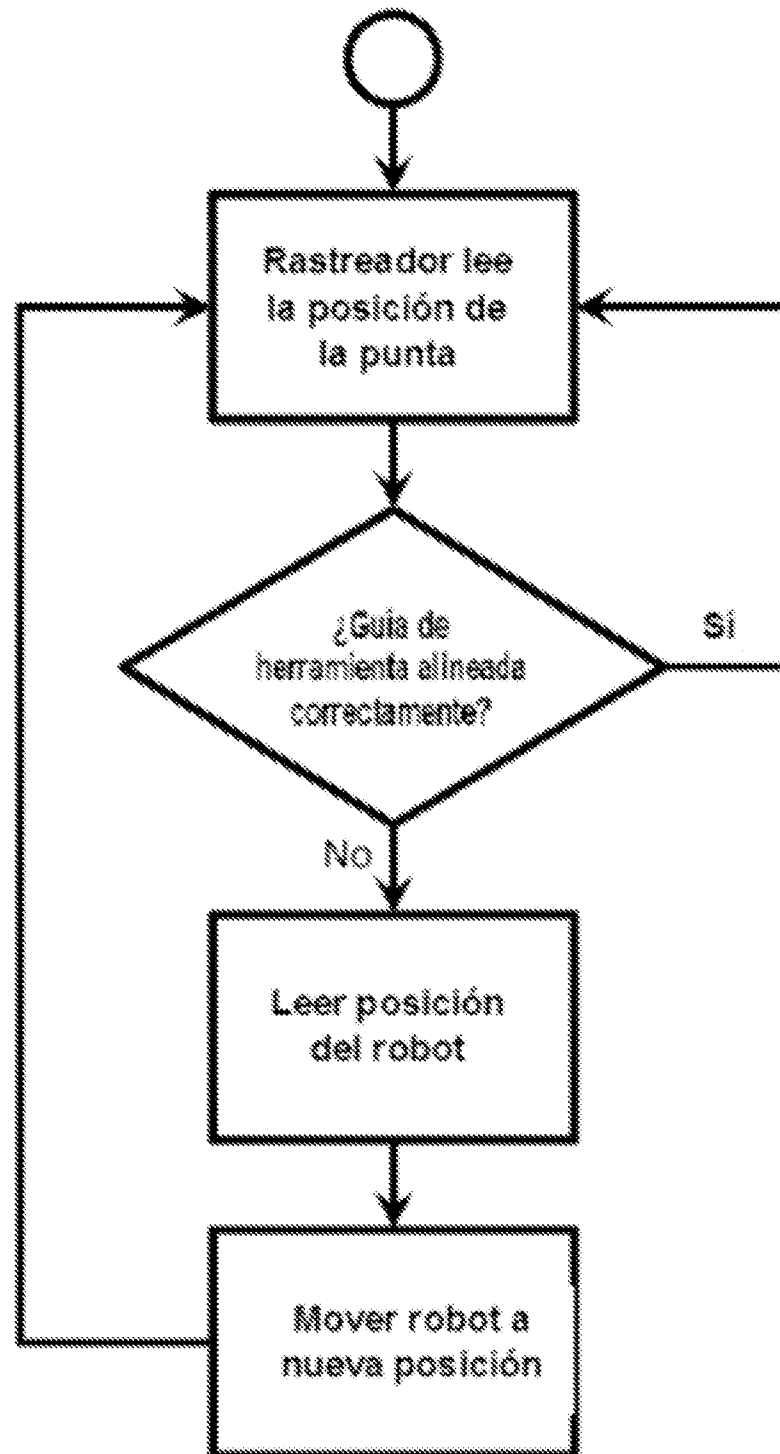


FIG. 5

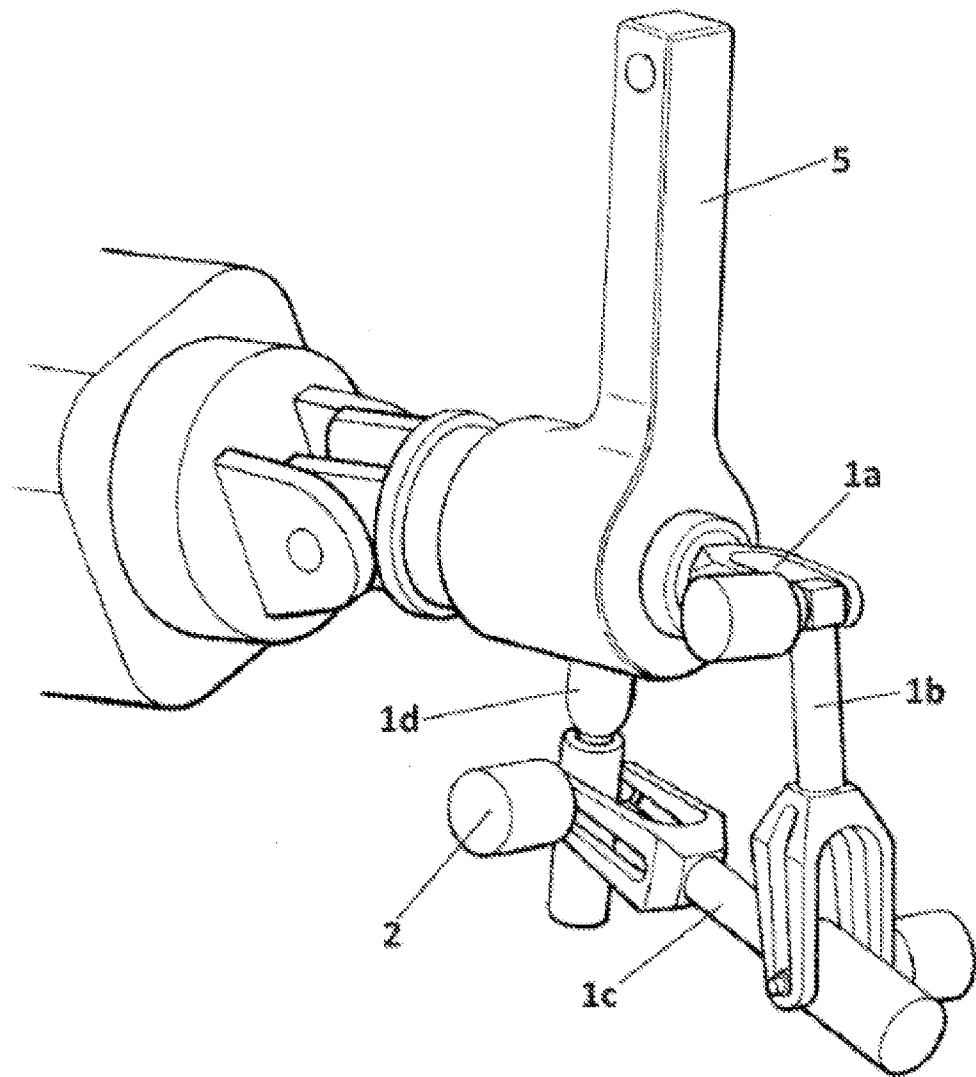


FIG. 6