

SISTEMA ROBÓTICO PARA CIRUGÍA LAPAROSCÓPICA

Descripción

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a un sistema robótico destinado a la sujeción y manejo de una herramienta o útil quirúrgico para cirugía, en particular para cirugía laparoscópica mínimamente invasiva. El sistema robótico de la
10 invención comprende una estructura de soporte en la cual se acopla de manera deslizante uno o varios brazos que pueden accionarse de manera remota desde una estación de teleoperación.

Cada uno de dichos brazos acoplados a la estructura de soporte está
15 configurado como un conjunto articulado formado por dos elementos. Ambos elementos están articulados entre sí y, a su vez, el primer elemento puede girar respecto a la estructura de soporte.

Antecedentes de la invención

20

La invención tiene aplicación general en el campo de la cirugía robótica y en particular en el campo de la cirugía mínimamente invasiva. En la cirugía mínimamente invasiva se realizan incisiones de menores dimensiones respecto a las realizadas en una intervención convencional, lo que requiere
25 un accionamiento muy preciso de la herramienta quirúrgica. A través de tales incisiones se realizan las operaciones quirúrgicas, incluyendo la introducción de cámaras de visión (laparoscopia) para obtener la imagen de órganos internos y transmitir las a un monitor de televisión a través del cual el cirujano puede guiarse para realizar dichos procedimientos quirúrgicos.

30

Estos procedimientos quirúrgicos a través de cirugía robótica se realizan a distancia utilizando estaciones de teleoperación conectadas a un sistema robótico por medio de líneas de comunicación dedicadas.

- 5 Los sistemas robóticos comprenden arquitecturas diseñadas para comportarse de manera similar al brazo humano, permitiendo ubicar el extremo de un brazo robot en distintas posiciones. Dichas arquitecturas están formadas por uno o varios brazos montados en una estructura de soporte y formados por elementos articulados de manera que pueden moverse en el
- 10 espacio adecuadamente para accionar una herramienta, órgano terminal o efector final, tal como una pinza u otro dispositivo para realizar operaciones quirúrgicas. Su movimiento va accionado a través de las órdenes recibidas a distancia a través de la estación de teleoperación.
- 15 Cada uno de dichos brazos es una estructura articulada formada por varios elementos articulados entre sí y montados de manera giratoria respecto a la estructura de soporte. Un ejemplo de arquitectura de brazo robótico de elementos articulados es el robot conocido como *Scara*, que presenta libertad de movimientos en los ejes X e Y, si bien están limitados en sus
- 20 desplazamientos en el eje vertical Z, donde normalmente se realizan manipulaciones simples y en desplazamientos de corta distancia.

- Las limitaciones de estas arquitecturas normalmente se suplen a través de un uso intensivo de electrónica y mecanismos complejos para disponer un
- 25 sistema robótico adecuado para la cirugía mínimamente invasiva. Esto implica un sistema robótico indeseablemente costoso debido a la gran complejidad del conjunto.

- El documento US2003208186 describe un mecanismo robótico de tres grados
- 30 de libertad que comprende una estructura de soporte en la cual se acopla de manera deslizante verticalmente un brazo. El brazo está formado por un primer elemento y un segundo elemento articulados entre sí. El primer

elemento está articulado a la vez estructura de soporte y a través del mismo puede posicionarse una herramienta. Sin embargo, esta arquitectura presenta el inconveniente de que no permite orientar la herramienta adecuadamente para poder introducirla mediante de un instrumento de cirugía (trocar).

5

El documento US5762458 se refiere a un sistema para realizar intervenciones de cirugía cardíaca mínimamente invasiva. Dicho sistema está constituido por unos brazos articulados adaptados para manejar una herramienta en el espacio. Dichos brazos presentan varios grados de libertad y, en una
10 realización, incorpora tres articulaciones motorizadas (de accionamiento en desplazamiento y rotación), dos articulaciones pasivas y una articulación motorizada de accionamiento en rotación de la herramienta dispuesta en el extremo del brazo. Este sistema robótico presente el inconveniente de que no permite un posicionamiento totalmente eficaz de la herramienta a través de la
15 incisión en el paciente.

Descripción de la invención

La presente invención propone un sistema robótico para cirugía
20 laparoscópica, particularmente aunque no exclusivamente, para cirugía mínimamente invasiva. El sistema robótico de la invención presenta una configuración notablemente más simple que los sistemas robóticos que los que para el mismo fin se vienen utilizando hasta ahora. Además de la simplicidad estructural del sistema robótico que se propone, la invención
25 presenta un sistema robótico para cirugía laparoscópica con una arquitectura particular capaz de orientar adecuadamente una herramienta, órgano terminal o efector final, tal como una pinza o dispositivo adecuado para realizar operaciones quirúrgicas, con gran movilidad para ser introducida adecuadamente a través de una incisión en el paciente.

30

El sistema robótico para cirugía laparoscópica mínimamente invasiva de la invención comprende una estructura de soporte formada por una columna

vertical alrededor de cuyo eje longitudinal pueden girar los brazos. La columna puede ir montada fija sobre una plataforma preferiblemente provista de unas ruedas para facilitar su desplazamiento en caso de ser necesario.

- 5 Uno o más brazos robóticos se acoplan de manera deslizante verticalmente en la columna. En caso de disponerse más de un brazo robótico en la estructura de soporte, dichos brazos se acoplan con posibilidad de deslizamiento vertical para poder regular su altura al suelo y permitir, de este modo, posicionar una herramienta quirúrgica en la posición adecuada de manera eficaz.

10

- Cada uno de los brazos del sistema robótico comprende un primer elemento y un segundo elemento. Ambos primer y segundo elemento están articulados entre sí a través de un eje o articulación. Por otra parte, el primer elemento del brazo está montado de manera giratoria en la estructura de soporte y, a su vez, dicho primer elemento está adaptado para girar alrededor de su eje longitudinal. En particular, el primer elemento del brazo está montado de manera giratoria en una extensión solidaria de la estructura de soporte.

15

- El segundo elemento del brazo robótico está adaptado para recibir una articulación de por lo menos dos grados de libertad pasivos en su extremo para el acoplamiento de una herramienta o útil quirúrgico. En el caso de disponerse de más de un brazo robótico, los brazos pueden girar de manera independiente entre sí alrededor del eje longitudinal de la estructura de soporte. Esta arquitectura permite simplificar considerablemente el conjunto.

20

- 25 En algunas realizaciones de la invención, la citada articulación de por lo menos dos grados de libertad para el acoplamiento de una herramienta puede ser de tres grados de libertad, tal como una articulación de tipo cardan. Con ello se consigue estabilidad en un eje (normalmente el eje de la dirección de la herramienta o instrumento) y un movimiento espacial adecuado para las operaciones de la herramienta a través de la incisión en el paciente al introducir dos grados de libertad pasivos en el sistema.

30

De este modo el conjunto dispone de un total de cinco grados de libertad (cuatro más el desplazamiento vertical de la estructura de soporte para el posicionamiento y la maniobrabilidad de la herramienta) con lo que la herramienta puede orientarse siempre en la dirección definida por el punto de penetración en la cavidad realizada en el paciente (por ejemplo, la cavidad abdominal) por medio del trocar.

En una realización, el eje longitudinal del primer elemento del brazo robótico puede ser por lo menos substancialmente perpendicular al eje de articulación del primer elemento y el segundo elemento.

El segundo elemento del brazo puede estar formado por dos barras dispuestas substancialmente paralelas entre sí y separadas una distancia apropiada para disponer en las mismas y de manera articulada un extremo del primer elemento del brazo. Esto permite el giro sin colisiones del primer y el segundo elemento del brazo robótico.

Otros objetivos, ventajas y características del sistema robótico para cirugía laparoscópica mínimamente invasiva de la invención serán claros a partir de la descripción de la invención de una realización preferida. Esta descripción se da a modo de ejemplo no limitativo y se ilustra en los dibujos que se adjuntan.

Breve descripción de los dibujos

En dichos dibujos,

La figura 1 es un esquema de un sistema de teleoperación dotado de sistemas robóticos de acuerdo con la invención;

La figura 2 es una vista en perspectiva de una realización del sistema robótico de la invención formado por una estructura de dos brazos;

La figura 3 es una vista en perspectiva de una realización del sistema robótico de la invención; y

La figura 4 es una vista esquemática de la cadena cinemática del sistema robótico donde se muestran los grados de libertad.

Descripción de una realización preferida

En las figuras se muestra un sistema de teleoperación 100 para la realización de cirugía laparoscópica mínimamente invasiva. El sistema de teleoperación 100 está formado por una estación de trabajo 110 que incorpora dos sistemas robóticos 200 de acuerdo con la invención y una estación de teleoperación 120 para el accionamiento y control del sistema robótico 200. La estación de teleoperación 120 incluye un sistema de control tridimensional 130 para la visualización de la escena de trabajo con un factor de amplificación deseado (zoom) y un punto de vista controlable a través de los movimientos de uno de los brazos disponibles.

La estación de teleoperación 120 puede convertir las órdenes de control del operario en el accionamiento del sistema robótico 200 potenciando las capacidades manuales del operario y controlar las operaciones para conseguir más fiabilidad. Esto permite al operario accionar y controlar gestualmente, mediante los movimientos de sus brazos, los brazos robóticos articulados 210, 220 del sistema robótico 200. Los movimientos que el operario puede realizar con sus dos manos pueden aplicarse a unos u otros brazos 210, 220, a su voluntad, con la ayuda de unos pedales auxiliares de accionamiento (no mostrados). Los brazos robóticos 210, 220 del sistema robótico 200 (mostrados en la figura 3) pueden ser accionados eléctricamente para posicionar y orientar cada una de las herramientas, órganos terminales o efectores finales 900 (tal como unas pinzas o dispositivos quirúrgicos adecuados para realizar operaciones).

El nexo entre la estación de teleoperación 120 y el sistema robótico 200 se realiza a través de una unidad de control 140. La unidad de control 140 está configurada por una red de ordenadores que permiten efectuar el control en tiempo real de las trayectorias de los brazos robóticos 210, 220 y la
5 orientación de las herramientas quirúrgicas 900 controladas por los brazos 210, 220, de manera que en todo momento se ajustan a los movimientos de las órdenes del operario. La unidad de control 140 lleva a cabo también la coordinación de los movimientos para evitar las colisiones entre los brazos 210, 220 y la supervisión y corrección de las trayectorias según los criterios
10 predefinidos por el operario. La unidad de control 140 permite trabajar con ejes de referencia flotantes, que se reinician en posición y orientación a voluntad del operario para facilitar el accionamiento de la tarea en posición del campo de trabajo vertical, aunque la operación se realice al interior de la capacidad abdominal del paciente 600 en otras orientaciones. También
15 permite cambiar el factor de escala, para poder regular unos movimientos centimétricos en la estación de accionamiento, a unos movimientos milimétricos, cuando sea necesario. Dicha unidad 140 permite también definir restricciones del volumen de trabajo de cada uno de los brazos 210, 220, para aumentar la seguridad del paciente 600. A través de la unidad 140 es
20 posible también visualizar el espacio de trabajo útil de los brazos 210, 220 para facilitar un posicionamiento correcto inicial de los mismos respecto a la mesa de operaciones 700 y respecto al paciente 600.

La señal 150 recibida de la estación de teleoperación 120 a través de unos
25 sensores magnéticos de posición 450 proporciona información 460 acerca de las trayectorias de las herramientas 900. Otros medios de detección de la posición, tales como sensores potenciométricos o inerciales también son posibles. Esto permite facilitar la capacidad de movimientos del operario y evitar las restricciones mecánicas de los accionadores 6D más usuales. Con
30 ello es posible realizar un control 600 del sistema robótico 200 y un control 650 de las herramientas 900 así como un control 660 para evitar colisiones.

- La estación de trabajo 110 comprende uno o varios sistemas robóticos 200 de acuerdo con la invención. En la figura 3 se muestra uno de dichos sistemas robóticos 200 en detalle. Tal como puede apreciarse, cada sistema robótico 200 comprende dos brazos 210, 220 montados en una estructura de soporte 230 común. Cada brazo 210, 220 tiene una capacidad de carga tal que permite realizar esfuerzos de hasta 2,5 Kg y está adaptado para operar al lado de la mesa de operaciones 700, ya sea a un lado o al otro, o bien utilizando los dos simultáneamente, uno a cada lado de la mesa de operaciones 700. Los brazos 210, 220 del sistema robótico 200 son capaces de moverse en el espacio para cubrir un volumen de trabajo mínimo apropiado. Este volumen de trabajo viene definido por el conjunto de puntos en los que puede situarse la herramienta 900 de cada brazo 210, 220, y que corresponde al volumen encerrado por las superficies que determinan los puntos a los que accede la herramienta 900 con su estructura totalmente extendida y totalmente plegada. En la estructura de la realización, el volumen de trabajo mínimo corresponde a una semiesfera de 50 cm de radio centrada sobre un mismo centro fijo pero de altura regulable, y con precisiones superiores a 1 mm.
- En la realización mostrada en las figuras 2 y 3, la estructura de soporte 230 está constituida por una columna vertical 235 montada fija sobre una plataforma 240 provista de ruedas bloqueables 245 para facilitar su desplazamiento. La plataforma 240 comprende un tramo inferior 250 y dos tramos superiores 260, 270, montados giratorios entre sí y respecto al tramo inferior 250. El tramo inferior 250 de la estructura de soporte 230 va fijado a la plataforma 240 para inmovilizar el sistema robótico 200 durante la intervención. Los tramos superiores 260, 270 de la columna 235 están montados de manera que pueden deslizar verticalmente según la dirección vertical designada por D, es decir, substancialmente perpendicular a la plataforma 240 de la estructura de soporte 230. El desplazamiento lineal vertical D de los tramos superiores 260, 270 permite regular la altura de los

brazos robóticos 210, 220 al suelo de manera independiente y posicionar así la herramienta 900 adecuadamente.

5 Por motivos de simplicidad en la descripción, en lo sucesivo se describirá la estructura de uno de los brazos 210 del sistema robótico 200, entendiéndose que cada uno de dichos brazos 210, 220 presenta una configuración igual o técnicamente equivalente.

10 El brazo robótico 210 del sistema que se describe de acuerdo con la invención está formado por dos elementos articulados entre sí 300, 400.

15 El primer elemento 300 es un cuerpo alargado que va montado en la estructura de soporte 230 de manera que puede girar alrededor de un eje longitudinal L1 del primer elemento 300. Más concretamente, este primer elemento 300 va montado de manera giratoria en una extensión 265 solidaria del tramo superior 260 (el otro brazo robótico 220 va montado de manera giratoria en la extensión 275 correspondiente al tramo superior 270). De este modo, el primer elemento 300 puede girar respecto a la extensión 265 del tramo superior 260 del brazo robótico 210 alrededor del longitudinal L1 y
20 ambos brazos 210, 220 pueden girar de manera independiente alrededor del eje longitudinal L3 de la estructura de soporte 230, es decir, de la columna 235.

25 El segundo elemento 400 del brazo robótico 210 está articulado al primer elemento 300 del brazo robótico 210 a través de una articulación 280 de modo que pueden girar alrededor de un eje L2, tal como puede apreciarse en la figura 3. El eje longitudinal L1 del primer elemento 300 es substancialmente perpendicular al eje L2 de la articulación 280 del primer elemento 300 y el segundo elemento 400.

30

Tal como puede apreciarse, el segundo elemento articulado 400 está formado por dos barras 410, 420 que, en la realización de las figuras, presenta una

- sección transversal elíptica. Se comprenderá, sin embargo, que las dos barras 410, 420 pueden presentar otras geometrías diferentes. Las dos barras 410, 420 se disponen paralelas entre sí separadas una cierta distancia para permitir la articulación del segundo elemento 400 en un extremo del primer elemento 300 impidiendo que ambos elementos 300, 400 del brazo 210 colisionen entre sí al realizar el giro alrededor del eje L2 de la articulación 280 dispuesta en un extremo común de ambas barras 410, 420 del brazo 210.
- 5
- 10 El extremo opuesto 500 de ambas barras 410, 420 del brazo 210 está adaptado para el acoplamiento de una herramienta o útil quirúrgico 900 a través de un eje de giro L4. El eje de giro L4 evita colisiones entre la herramienta 900 y las barras 410, 420 del segundo elemento 400 del brazo 210, 220. En el extremo 500 se dispone una unión mecánica 550 que permite
- 15 controlar la orientación de la herramienta 900 dentro del espacio de trabajo de manera adecuada para las operaciones a través de la incisión en el paciente 600. Esta unión mecánica 550 es una articulación de dos o más grados de libertad adaptada para el acoplamiento de la herramienta o instrumento quirúrgico 900. En la realización de las figuras, la unión mecánica 550 es una
- 20 articulación de tres grados de libertad, tal como una articulación de tipo cardan. Esto permite introducir dos grados de libertad pasivos adicionales y proporcionar estabilidad en un eje (normalmente el eje de la dirección de la herramienta 900). Con ello, la herramienta 900 puede orientarse siempre en la dirección definida por el punto de penetración 950 en la cavidad realizada
- 25 en el paciente 600 (por ejemplo, la cavidad abdominal), tal como se muestra en dicha figura 4.

- Puede disponerse un elemento de sujeción de los trocares de ajuste manual. Este elemento de sujeción está constituido por un elemento suspensor que
- 30 puede ser fijado manualmente a la estructura de soporte 230. En su extremidad soporta dos elementos sujetos a este elemento suspensor a través de dos rótulas bloqueables manualmente que permiten sujetar

mediante una articulación de tipo cardan los respectivos trocares para reducir los esfuerzos realizados con la herramientas o instrumento quirúrgico 900 sobre el abdomen del paciente 600.

- 5 En la figura 4 se muestra esquemáticamente la cadena cinemática de la estructura mecánica de una realización del sistema robótico 200 de la invención. Como puede apreciarse, cada brazo 210, 220 del sistema 200 es una cadena cinemática abierta de tipo D-G-G-G-G+cardan, de cinco grados de libertad, que permiten un movimiento relativo de los distintos elementos
- 10 235, 300, 400, 900 entre cada dos eslabones consecutivos de la estructura.

Aparte de la articulación prismática (movimiento de traslación vertical D), las cuatro articulaciones según los ejes L1, L2, L3 y L4 son motorizadas, siendo el desplazamiento D compartido por los dos brazos 210, 220.

15

- Aunque la presente invención se ha descrito en la memoria y se ha ilustrado en los dibujos adjuntos con referencia a una realización preferida de la misma, el sistema robótico objeto de la invención es susceptible de diversos cambios sin apartarse del ámbito de protección definido en las
- 20 reivindicaciones siguientes.

Reivindicaciones

- 1- Sistema robótico (200) para cirugía laparoscópica que comprende una estructura de soporte (230) en la cual se acopla de manera deslizante por lo menos un brazo (210; 220), estando formado dicho brazo (210; 220) por un primer elemento (300) y un segundo elemento (400) articulados entre sí, estando montado el primer elemento (300) articulado de manera giratoria en la estructura de soporte (230), caracterizado por el hecho de que el primer elemento (300) está adaptado para girar alrededor de un eje longitudinal (L1) y el segundo elemento (400) está adaptado para recibir una articulación de por lo menos dos grados de libertad (550) para el acoplamiento de una herramienta (900).
- 2- Sistema robótico (200) según la reivindicación 1, caracterizado por el hecho de que dicho eje longitudinal (L1) del primer elemento (300) es por lo menos substancialmente perpendicular a un eje (L2) de articulación mutua del primer elemento (300) y el segundo elemento (400).
- 3- Sistema robótico (200) según la reivindicación 1 o 2, caracterizado por el hecho de que la estructura de soporte (230) comprende una columna vertical alrededor de cuyo eje longitudinal (L3) pueden girar los brazos (210, 220).
- 4- Sistema robótico (200) según la reivindicación 1, caracterizado por el hecho de que la articulación de por lo menos dos grados de libertad (500) para el acoplamiento de una herramienta (900) es una articulación de tipo cardan.
- 5- Sistema robótico (200) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de que el segundo elemento articulado (400) está formado por dos piezas (410, 420) en las cuales queda articulado el primer elemento del brazo (300).

- 6- Sistema robótico (200) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de que comprende al menos dos de dichos brazos (210, 220) articulados en dicha estructura de soporte (230).
- 5 7- Sistema robótico (200) según la reivindicación 6, caracterizado por el hecho de que dichos brazos (210, 220) pueden girar de manera independiente entre sí alrededor del eje longitudinal (L3) de la estructura de soporte (230).
- 10 8- Sistema robótico (200) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de que el primer elemento (300) está montado de manera giratoria en una extensión (265; 275) solidaria de la estructura de soporte (230).