

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 506 140**

51 Int. Cl.:

**A61H 1/02** (2006.01)

**B25J 9/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.07.2009** **E 09806473 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.06.2014** **EP 2343034**

54 Título: **Brazo robótico para el control del movimiento del brazo**

30 Prioridad:

**05.08.2008 ES 200802340**

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

**13.10.2014**

73 Titular/es:

**UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ (100.0%)**  
**Edificio HELIKE Avda. del Ferrocarril, s/n**  
**03202 Elche (Alicante), ES**

72 Inventor/es:

**SABATER NAVARRO, JOSÉ MARÍA;**  
**FERNÁNDEZ JOVER, EDUARDO;**  
**GARCÍA ARACIL, NICOLÁS MANUEL;**  
**AZORÍN POVEDA, JOSÉ MARÍA y**  
**PÉREZ VIDAL, CARLOS**

74 Agente/Representante:

**TEMIÑO CENICEROS, Ignacio**

**ES 2 506 140 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**

Brazo robótico para el control del movimiento del brazo

- 5 La presente invención se relaciona con un brazo robótico y más específicamente con un brazo robótico para utilizarse en tareas de rehabilitación motora de miembros superiores.

**ESTADO DE LA TÉCNICA**

- 10 En la rehabilitación motora de miembros superiores, el paciente o usuario ejercita sus brazos con la finalidad de mejorar o recuperar control sobre los mismos. Está técnica se utiliza principalmente en pacientes que han sufrido una parálisis parcial. La parálisis parcial puede estar ocasionada por múltiples causas comunes: esclerosis múltiple, un tumor o un accidente. La causa más común de la parálisis parcial es el infarto. Los pacientes afectados por parálisis parcial pueden beneficiarse de la rehabilitación motora en la que un fisioterapeuta sujeta el brazo del
- 15 paciente y le provoca un movimiento repetitivo. Dentro de la rehabilitación motora existen varios métodos de tratamiento. La Facilitación Propioceptiva Neuromuscular (FNP) es uno de ellos, y consiste en la estimulación de los sensores propioceptivos del paciente. Es posible para un paciente re-entrenar su cerebro para realizar ciertos movimientos, y de esta forma obtener control sobre dichos movimientos y sobre sus brazos. Los mejores resultados en la aplicación de este método se obtienen cuando el movimiento es repetitivo y se realiza por lo menos en doble
- 20 sesión de 45 minutos durante un mes. Como es obvio, no siempre es posible dar este nivel de asistencia y cuidado a todos los pacientes durante este largo periodo.

- Los robots han sido desarrollados para ayudar en esta terapia. El brazo del paciente es colocado y sujetado en el extremo final de un brazo robótico que realiza el movimiento determinado provocando el movimiento conjunto del
- 25 brazo del paciente. Un ejemplo de un robot de este tipo es el descrito en WO 2006/058442, donde se presenta un sistema compuesto por varias unidades. La primera y segunda unidades determinan la posición del módulo superior de rotación del brazo, sobre el que se fija el brazo del paciente. El módulo superior de rotación del brazo es una estructura de dos piezas, y soporta una tercera unidad de rotación para el antebrazo. El módulo de rotación del brazo superior se une a un módulo de rotación de la muñeca a través de un módulo de rotación para el codo, el cual puede ser rotado y ubicado sobre el brazo del paciente de forma similar a la fijación del módulo de rotación del brazo superior.

- Aunque este sistema permite realizar diferentes movimientos en el brazo del paciente, es deseable una mejora que permita la realización de más movimientos y que se adapte mejor a la morfología del brazo del paciente. Por otra parte, se requiere un mejor control de fuerzas y movimientos producidos por el robot. Finalmente, la comodidad para el paciente y para el fisioterapeuta debe mejorarse.
- 35

- En el estado de la técnica es conocido el documento WO 2006/039403, que describe un sistema para su uso en rehabilitación y/o en terapia física para el tratamiento de heridas o de enfermedades. El sistema puede superar las disfunciones inducidas por gravedad en las parálisis de extremidades derivadas de ataques al corazón u otros desórdenes neurológicos.
- 40

- El documento US2008009771 se refiere a un exoesqueleto, o un robot llevable que posee articulaciones y conexiones correspondientes a las del cuerpo humano. El sistema y el método pueden ser utilizados en rehabilitación médica, simulaciones de realidad virtual y teleoperaciones, así como para el beneficio de personas con discapacidad y poblaciones de personas sanas. El presente sistema incluye un exoesqueleto de los miembros superiores alimentado eléctricamente, con siete grados de libertad. Un ejemplo incluye la localización proximal de motores de impulsión y la localización distal de reducciones de cable-polea, de forma que se obtenga una baja inercia, articulaciones de alta rigidez, y transmisiones traseras operables que eliminen las fuerzas de retroceso.
- 45

- No obstante, el sistema anterior no describe medios de posicionamiento de la mano del usuario, que sean capaces de flexionar y extender los dedos del usuario, haciendo posible la realización de programas FNP que tengan como objetivo también los músculos y las articulaciones de los dedos.
- 50

**DESCRIPCIÓN DE LA INVENCIÓN**

La presente invención logra la mejora de estos aspectos en al menos algunas de estos aspectos. El objetivo se logra con el brazo robótico reivindicado en la reivindicación 1.

- 60 En un primer aspecto, la invención proporciona un brazo robótico (100) para el control del movimiento del brazo de un usuario, que forma una cadena cinemática que se extiende desde un extremo proximal a un extremo distal y que comprende un soporte (190) para posicionar la mano del usuario en dicho extremo distal, caracterizado por el hecho de que dicha cadena cinemática posee al menos una redundancia cinemática en una zona distal de forma que el movimiento de la mano del usuario puede ser desacoplado del movimiento de las otras partes de la cadena cinemática.
- 65

- 5 El paciente ubica su mano en el soporte colocado en el extremo distal. En este módulo, la redundancia cinemática diseñada permite independizar las sub-cadenas, lo que quiere decir que el robot puede mover toda su cadena cinemática, excepto el módulo donde se ubica la mano del paciente, mientras este módulo permanece sin movimiento. Esta característica representa una importante mejora en el confort y seguridad del paciente y del fisioterapeuta. Si debe realizarse un determinado movimiento, la cadena cinemática del robot puede moverse independientemente, permitiendo evitar colisiones y situaciones incómodas para el fisioterapeuta. Por otra parte, el paciente no necesita cambiar su posición u orientación y es el brazo robot el que se adapta a la ubicación de la mano del paciente.
- 10 Preferentemente, la cadena cinemática del brazo robótico está constituida por al menos siete grados de libertad, de forma que el brazo robótico puede realizar todas las traslaciones y rotaciones dentro de su espacio de trabajo. Seis grados de libertad se utilizan para evolucionar dentro del espacio de trabajo, y el séptimo grado de libertad proporciona la redundancia de la región distal de la cadena cinemática. Naturalmente, la cadena cinemática puede disponer de más de siete grados de libertad, lo que proporciona una redundancia extra. Opcionalmente, ésta cadena cinemática está formada por siete módulos, cada uno de los cuales tiene un grado de libertad rotacional respecto al anterior.
- 15 Preferentemente, el brazo robótico de esta invención comprende actuadores basados en músculos artificiales. Los actuadores basados en músculos artificiales poseen la importante ventaja de poder controlarse en fuerza, es decir, se controla la fuerza que ejercen, no la posición que adoptan. Esto es una ventaja debido a la interacción hombre-máquina entre el brazo robótico y el brazo del paciente, las fuerzas y cargas observadas por el paciente son más importantes que la posición donde llegue el brazo del paciente. Los programas de entrenamiento basados en FNP comprenden generalmente ejercicios de movimientos libres activos, movimientos asistidos activos, movimientos resistivos activos y movimientos pasivos. Particularmente, en el caso de los movimientos resistivos activos, la resistencia observada por el paciente es más fácilmente controlable mediante actuadores con control de fuerza. Naturalmente, una fuerza aplicada en un músculo artificial se traduce en su correspondiente movimiento del eslabón de la cadena cinemática.
- 20 Opcionalmente, estos músculos artificiales pueden ser músculos artificiales neumáticos. Los músculos neumáticos son actuadores muy ligeros y con comportamiento lineal controlado mediante la presión: cuando una fuerza externa adicional actúa sobre el músculo, éste no incrementa su fuerza ejercida, sino modifica su posición. Alternativamente, otros músculos artificiales, como polímeros electroactivos, pueden ser utilizados como actuadores.
- 25 Preferentemente, estos actuadores basados en músculos artificiales se utilizan en una configuración antagonista/agonista para el control de los movimientos de la articulación rotacional. La cadena cinemática está formada por un número de eslabones conectados mediante articulaciones. Para mover una articulación (y por tanto modificar la posición de los eslabones aguas debajo de la cadena cinemática), se utilizan los músculos artificiales. Cuando se actúa sobre un músculo neumático, éste se contrae axialmente, y una fuerza se aplica a la carga conectada al músculo. El músculo artificial sólo puede ejercer fuerza en un sentido. Para lograr el movimiento de la articulación en ambos sentidos, se utiliza la configuración antagonista/agonista, de forma que cuando se activa un músculo se obtiene movimiento en un sentido, y cuando se activa el otro músculo, se obtiene movimiento en el otro sentido.
- 30 Preferentemente, el soporte para ubicar la mano del paciente comprende un mecanismo para la flexión y extensión de los dedos del paciente. De esta forma, además de controlar, provocar o guiar los movimientos de la mano del paciente, los dedos del mismo pueden ser controlados en flexión o extensión. De esta manera, los programas de entrenamiento de FNP que comprenden flexión/extensión de las falanges, pueden realizarse.
- 35 Preferentemente, el brazo robótico de la invención comprende una pluralidad de sensores para medida de la posición y fuerzas de la cadena cinemática, y un sistema para registrar y almacenar los datos proporcionados por dichos sensores. Estos sensores pueden ubicarse en las localizaciones idóneas, en las articulaciones para los sensores de posición y en cada músculo y en el extremo distal para la medición de fuerzas. Cuando se produce el movimiento del brazo del paciente por acción del fisioterapeuta, o por él mismo, las posiciones y fuerzas que intervienen son medidas y registradas. De esta forma, el sistema puede repetir el movimiento sin la asistencia del paciente o del fisioterapeuta. En los procedimientos de rehabilitación, el fisioterapeuta sujeta el brazo del paciente y efectúa un cierto movimiento, el sistema registra dicho movimiento y las fuerzas que intervienen en él. Una vez registrado, el brazo robótico puede reproducir el mismo movimiento sin la intervención del fisioterapeuta.
- 40 Preferentemente, un sensor capaz de medir pares sobre los tres ejes ortogonales y fuerzas en estos ejes se ubica en la conexión de la cadena cinemática y el brazo del paciente, en el módulo distal. Gracias a este sensor, se puede asegurar en cualquier momento que las fuerzas y pares experimentados por el paciente están por debajo de un valor umbral pre-establecido.
- 45
- 50
- 55
- 60

En un segundo aspecto de la presente invención, la invención proporciona un sistema para los procedimientos de rehabilitación de miembros superiores consistente en un brazo robótico como el presentado anteriormente y un segundo brazo robótico para el control del movimiento del codo del paciente. Este segundo brazo robótico puede usarse para guiar el codo del paciente, así como para provocar el movimiento del mismo. Un fisioterapeuta, cuando sujeta el brazo del paciente para realizar un movimiento, lo hace normalmente por dos localizaciones, la mano del paciente y su codo. Por lo tanto, este segundo brazo robótico permite una reproducción más fidedigna de los procedimientos manuales realizados por el fisioterapeuta.

Preferentemente, el entrenamiento para la rehabilitación de miembros superiores comprende un sistema de realidad virtual. Se ha comprobado que la tasa de éxito en la rehabilitación es mayor cuando se incentiva al paciente durante el entrenamiento. La realidad virtual proporciona esta clase de incentivos. Por ejemplo, un paciente puede estar interesado en recuperar movimientos normales de su vida cotidiana como coger un objeto de encima de una mesa. La realidad virtual puede simular este entorno, en el cual el paciente puede, bajo el control del brazo robótico, coger dicho objeto de forma simulada. La realidad virtual puede además mostrar al paciente los progresos que está realizando (cada vez es más fácil coger el objeto), incentivándolo aún más.

Por tanto, la presente invención proporciona un método para entrenamiento y rehabilitación de miembros superiores que comprende las etapas de colocar el brazo del paciente en un módulo distal de un brazo robótico de acuerdo con la invención, dicho brazo robótico comprende una variedad de sensores para la medida de las posiciones y fuerzas en la cadena cinemática y de un sistema para registro y almacenamiento de los datos proporcionados por los sensores, de forma que cuando se provoca el movimiento del brazo del paciente, el sistema almacena dicho movimiento, y es capaz de reproducirlo con ayuda del brazo robótico de forma repetitiva. Preferentemente, el paciente coloca su codo en el extremo final de un segundo brazo robótico que se utiliza para controlar el movimiento del codo del paciente.

#### **BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS**

Esta y otras posibles implementaciones de la invención y de sus ventajas serán explicadas, solo como ejemplo no limitante, haciendo referencia a las figuras adjuntas, en las cuales:

La figura 1 muestra una vista en perspectiva de una realización preferida del sistema para entrenamiento y rehabilitación de miembros superiores de acuerdo a la presente invención;

La figura 2 muestra una vista en perspectiva de detalle del sistema de rehabilitación mostrado en la figura 1;

La figura 3 muestra una vista en perspectiva de la realización preferida de un brazo robótico de acuerdo con la presente invención;

La figura 4 muestra el brazo robótico de la figura 3 en el que se han ocultado las carcasas de varios módulos del brazo robótico;

La figura 5 muestra el brazo robótico de la figura 4 resaltando los grados de libertad y movimientos de los eslabones;

Las figuras 6 y 7 muestran vistas en perspectiva del primer módulo de la implementación preferente del brazo robótico mostrado en la figura 3;

La figura 8 muestra una vista en perspectiva del segundo módulo de la implementación preferente del brazo robótico mostrado en la figura 3;

La figura 9 muestra una vista en perspectiva del tercer módulo de la implementación preferente del brazo robótico mostrado en la figura 3;

La figura 10 muestra una vista en perspectiva del cuarto módulo de la implementación preferente del brazo robótico mostrado en la figura 3;

La figura 11 muestra una vista en perspectiva del quinto módulo de la implementación preferente del brazo robótico mostrado en la figura 3;

La figura 12 muestra una vista en perspectiva del sexto y séptimo módulos de la implementación preferente del brazo robótico mostrado en la figura 3;

Las figuras 13 y 14 muestran vistas en perspectiva del segundo brazo robótico, que es parte del sistema para rehabilitación de miembros superiores mostrado en la figura 1;

La figura 15 muestra la vista en perspectiva del módulo para el anclaje del codo del paciente, y que forma parte del segundo brazo robótico mostrado en las figuras 13 y 14.

**DESCRIPCIÓN DE REALIZACIONES PREFERIDAS**

5 La figura 1 muestra una vista en perspectiva de una realización preferida del sistema para rehabilitación de miembros superiores 300 presentado en esta invención. Una camilla, en la que el paciente se puede acostar o sentar, se encuentra marcada con la referencia 10. Una realización preferida del brazo robótico presentado en esta invención está indicada con la referencia 100. Esta realización comprende un soporte 190 para colocar la mano del paciente. La cadena cinemática del brazo robótico 100 está compuesta por varios módulos (que serán explicados con más detalle posteriormente). La cadena cinemática posee una redundancia cinemática en la zona del soporte para la mano del paciente. Debe notarse que el brazo robótico presentado en esta invención no es un robot de tipo exosqueleto. El único punto de contacto entre el brazo robótico y el paciente se encuentra en el soporte 190.

15 El sistema para rehabilitación de miembros superiores 300 también comprende un segundo brazo robótico, indicado en la figura con la referencia 200. Este segundo brazo robótico 200 incluye un soporte 290 para ubicar el codo del paciente. Cuando un paciente realiza un movimiento (o cuando el brazo robótico le ayuda a dicho movimiento) la extremidad del paciente se encuentra sujeta por dos puntos: uno cerca del codo y otro cerca de la mano. Esta configuración se asemeja bastante a la forma tradicional de trabajo de los fisioterapeutas cuando realizan el entrenamiento o rehabilitación del paciente.

20 El sistema puede además contar con un módulo de realidad virtual. La realidad virtual ha demostrado su ayuda en procesos de rehabilitación, permitiendo al paciente entender la funcionalidad de ciertos ejercicios y mostrando claramente los progresos realizados por el paciente durante las diferentes sesiones.

25 La figura 2 muestra una vista en perspectiva y de detalle del sistema para rehabilitación 300. Se muestra el detalle del soporte para la mano del paciente 190 y del soporte de sujeción del codo del paciente 290.

30 La figura 3 muestra una vista en perspectiva de una realización preferida del brazo robótico 100 de la presente invención. El primer módulo constitutivo 110 está anclado al techo o pared (indicado esquemáticamente con la referencia 199). La cadena cinemática está comprendida por un primer módulo 110, un segundo módulo 120, un tercer módulo 130, un cuarto módulo 140, un quinto módulo 150, un sexto módulo 160 y un séptimo módulo 170. Por tanto, en esta realización preferida el brazo robótico comprende siete módulos, cada uno de los cuales dispone de los actuadores para mover los siguientes módulos aguas debajo de la cadena cinemática. Todos los módulos están conectados a través de articulaciones. En la figura se encuentran explícitamente indicadas las articulaciones 125 (entre el segundo y el tercer módulo), 135 (entre el tercer y el cuarto módulo), y 155 (entre el quinto y el sexto módulo).

40 La figura 4 muestra el brazo robótico 100 donde las carcasas de varios módulos han sido eliminadas, y la figura 5 muestra detalladamente los grados de libertad del brazo robótico. El primer módulo 110 puede producir la rotación de la articulación 115. La articulación 115 es un eje que se encuentra conectado al segundo módulo 120, y por tanto, cuando el eje rota, el segundo módulo 120 se mueve solidariamente. El segundo módulo 120 produce la rotación de la articulación (eje) 125. Las rotaciones del primer y segundo módulo se producen sobre ejes paralelos, como se indica en la figura 5.

45 El tercer módulo 130 puede producir la rotación de la articulación (eje) 135, el cual conecta el tercer módulo 130 con el cuarto módulo 140. Esta rotación ocurre en un eje perpendicular a los ejes de rotación de los dos primeros módulos. El cuarto módulo 140 controla la rotación a lo largo de su eje longitudinal, articulación 145, y los actuadores del quinto módulo 150 pueden rotar la articulación (eje) 155 que se encuentra conectada al sexto módulo 160. El sexto módulo controla el movimiento de la articulación 165 lo que resulta en un movimiento de rotación del séptimo módulo 170. A través de la articulación 175, el séptimo módulo 170 produce la rotación del soporte 190, en la que el paciente ubica su mano. Las rotaciones de los módulos 160 y 170 se producen alrededor del mismo eje (como se indica en la figura 5). Debido a que estas rotaciones se producen sobre el mismo eje, la cadena cinemática es redundante. El movimiento de la mano del paciente puede desacoplarse del movimiento de los módulos de la cadena cinemática del brazo robot (mediante un movimiento de rotación opuesto y sobre el mismo eje) gracias a esta redundancia. De acuerdo con esta invención, el brazo robótico puede comprender más o menos de siete módulos, siempre que la cadena cinemática comprenda una redundancia en su módulo distal de forma que permita que el movimiento de la mano del paciente sea desacoplado del movimiento del resto de los módulos del brazo robótico.

60 Las figuras 6 y 7 muestran la vista en perspectiva del primer módulo 110 de la implementación preferente del brazo robótico mostrado en la figura 3. El módulo 110 comprende una base plana en la que se encuentran montados los soportes 113. Los músculos artificiales neumáticos 111 y 112 están montados sobre estos soportes 113. Los músculos artificiales 111 y 112 de este módulo se encuentran montados en una configuración antagonista/agonista para controlar los movimientos de la articulación en ambos sentidos (configuraciones similares serán descritas

posteriormente para los otros módulos). La electrónica 119 para el control de los actuadores y del brazo robótico se encuentra instalada en este primer módulo 110. Esta electrónica 119 también realiza el registro y almacenamiento de los datos de los sensores de posición y fuerza del brazo robótico.

5 Un cable se extiende desde el músculo artificial 112 hasta la polea 116, pasando por la polea 117. El cable está atado solidariamente a la polea 116 y se enrolla en ella. Una polea mayor 118 se encuentra solidaria a la polea 116 y rota con ella. Otro cable conecta la polea 118 y la polea 114, de forma que la rotación de la polea 118 resulta en un movimiento de rotación de la polea 114. La polea 114 se encuentra fijada al eje 115, de forma que la rotación de la polea 114 resulta en una rotación del eje 115. Debido a que la polea 118 tiene mayor diámetro que las poleas 116 y 114, una rotación de la polea 116 da como resultado una rotación mayor en la polea 114. Las correspondientes poleas y sistema de cables se encuentran también para el músculo artificial 111, pero en este caso, la contracción axial del músculo 111 origina una rotación del eje 115 en sentido contrario. A través de esta configuración antagonista/agonista de los músculos artificiales se logran las rotaciones del eje en sentidos opuestos.

15 La rotación del eje 115 da como resultado una rotación del segundo módulo 120 (mostrado en la figura 8). El segundo módulo 120 se encuentra conectado a través de la barra 128 al eje 115 y está orientado de forma perpendicular a este eje. Los músculos neumáticos 121 y 122 se encuentran anclados sobre el soporte 123. Desde este soporte 123, se extienden dos barras longitudinales 129 hasta el otro extremo del módulo 120. Sobre estas barras longitudinales 129, se montan los ejes de las poleas 124, 126 y 127. Cuando se activa uno de los actuadores, este se contrae axialmente arrastrando un cable solidario, este cable se extiende desde el músculo artificial 121 hasta la polea 126 y se encuentra atado a dicha polea. La polea 127 se encuentra solidaria a la polea 126, de forma que rota con ella. Otro cable se enrolla sobre la polea 127 y se extiende hasta la polea 124. Cuando se rota polea 126 (más pequeña que la polea 127), la polea 127 también gira, y arrastra la polea 124 y el eje 125. El diámetro de la polea 127 es mayor que el correspondiente de las poleas 124 y 126. Este hecho origina un incremento del ángulo de rotación de la polea 124 con respecto a la rotación de la polea 126. Cuando el músculo 122 se contrae, el correspondiente sistema de poleas origina una rotación del eje 125 en el sentido opuesto al explicado anteriormente.

30 El tercer módulo 130 es solidario al eje 125 y gira con éste. El tercer módulo 130 (mostrado en la figura 9) trabaja de forma similar al módulo 120 explicado con anterioridad. Algunas partes, como los músculos 131 y 132, el soporte 133, las barras longitudinales 139 y las poleas 136 y 137 trabajan igual que en el módulo 120. La mayor diferencia entre los dos módulos se encuentra en la parte distal (final) del módulo 130, donde el soporte 138 monta el eje 135 y la polea 134 de forma perpendicular a la dirección longitudinal del módulo.

35 El cuarto módulo 140 (mostrado en la figura 10) contiene en su parte inicial las piezas guía 143 que junto con los orificios 149 permiten el montaje del eje 135, de forma que cuando el tercer módulo 130 se activa se produce una rotación del cuarto módulo 140. Los músculos 141 y 142 se encuentran ubicados en el cuarto módulo. La polea 144 se monta sobre el eje 145 que se extiende de forma longitudinal sobre el módulo 140. Cuando los músculos se activan, se produce una rotación del eje 145 sobre el propio eje longitudinal del módulo 140. Un cable se extiende desde el primer músculo 141 a la polea 144, pasando por la polea 146, de forma que una contracción axial del músculo 141 da lugar a una rotación del eje 145 en un determinado sentido. Un segundo cable se extiende desde el músculo 142 hasta la polea 144, pasando por la polea 147, de forma que cuando éste músculo se activa, se produce una rotación del eje 145 en el sentido opuesto a la rotación anterior. La polea 144 es doble, de forma que no se produzca intersecciones entre los cables de uno y otro sistema de cables. Las piezas guía 143 tienen unos surcos en forma de segmentos circulares 148 que permite mayores ángulos de rotación del módulo 140 al evitar la colisión entre el soporte 143 con el soporte 138 del módulo 130.

50 El módulo 150 (mostrado en la figura 11) se encuentra solidario a la parte final del eje 145 a través del soporte 153, de forma que la rotación del eje 145 da como resultado la rotación del módulo 150. Sobre el soporte 153 se montan los músculos artificiales 151 y 152. La contracción axial de dichos músculos da lugar a la rotación del eje 155. Para producir este movimiento, se extiende un cable desde el músculo 151 hasta la polea 156, y se enrolla y ata en dicha polea. La polea 157 se encuentra solidaria a la polea 156. Otro cable se extiende desde la polea 157 hasta la polea 154. La polea 157 tiene un diámetro mayor que las poleas 156 y 154 lo que origina un mayor ángulo de rotación en la polea 154 con respecto a la rotación de la polea 156. De igual forma, el correspondiente sistema de cables y poleas se monta para el músculo 152. La contracción axial del músculo 152 da como resultado una rotación del polea 154 y del eje 155 en el sentido contrario a cuando el músculo 151 se contrae.

60 Finalmente, la figura 12 muestra como la rotación del eje 155 da lugar a una rotación del sexto módulo 160. El sexto módulo 160 está conectado al séptimo módulo 170 a través de la articulación 165. Los módulos sexto y séptimo trabajan conjuntamente y de forma similar, y su funcionamiento se explicará con referencia al módulo 170. El módulo 170 contiene los músculos artificiales 171 y 172. El patín 173 está montado y puede deslizarse sobre los surcos 174 que se extienden a lo largo de la longitud del módulo. Para este deslizamiento, el patín 173 está equipado con los rodamientos 177. Los surcos-guía 174 se extienden a lo largo de un segmento circular, de forma que un desplazamiento del patín 173 a lo largo de la guía 174 da lugar a una rotación del extremo final 175 alrededor del eje de dicho segmento circular. Un cable se extiende desde el músculo 172 hasta la polea 179 donde se enrolla y fija.

La polea 176 es solidaria a la polea 179 y rota con ella. Un cable se extiende desde la polea 176 y pasa a través del patín 173 hasta llegar a la polea 178 donde se enrolla, cambia de sentido y vuelve al patín 173 donde se fija a su parte derecha (en la figura 12). De esta forma, la contracción axial del músculo artificial 172 da lugar a un movimiento del patín 173 hacia la derecha siguiendo las guías 174. Las poleas 176 y 179 son las correspondientes para el sistema del músculo 171. El cable se extiende ahora desde la polea mayor hasta la parte izquierda del patín 173 (en la figura 12), sin pasar a través de él, de forma que una contracción axial del músculo 171 da como resultado un movimiento del patín 173 hacia la izquierda. De nuevo el movimiento del patín 173 sobre las guías de segmento circular 174 da como resultado una rotación de la parte final 175 (y con ello el soporte 190) alrededor del eje de dicho segmento circular.

El módulo 160 trabaja de forma similar la módulo 170. La activación de los músculos 161 y 162 da lugar al movimiento del patín 163 sobre las guías 164 las cuales también tienen forma de segmento circular. La activación de los músculos 161 y 162 da como resultado una rotación de la articulación 165 y del módulo 170 alrededor del eje del segmento circular. La rotación de la articulación 165 (y del séptimo módulo 170) tiene lugar sobre el mismo eje que la rotación de la articulación 175 (y el soporte final 190). Debido a que los ejes de estas rotaciones son colineales, la cadena cinemática es redundante. El movimiento de la mano del paciente se puede desacoplar del movimiento del resto de los eslabones de la cadena cinemática (utilizando a dos rotaciones de sentido opuesto y colineales) gracias a esta redundancia.

El soporte 190 contiene un primer soporte 191 para la ubicación de la palma de la mano del paciente y un segundo soporte 192 para colocar el dedo pulgar y soportar su extensión. El segundo soporte para el pulgar 192 está articulado al primer soporte para los dedos 191. La soporte 190 contiene además un tercer soporte 193 para las falanges del paciente y que es un soporte articulado al soporte 191 y que permite la extensión de las falanges. Los movimientos de las articulaciones de los soportes 192 y 193 permiten la extensión y flexión de los dedos y el pulgar, lo cual es necesario en determinados procedimientos de rehabilitación.

A lo largo de los módulos del brazo robótico 100 se pueden ubicar varios sensores. En primer lugar, en cada articulación (normalmente en el eje) entre dos módulos se puede colocar un sensor de posición óptico, capaz de medir el ángulo de la rotación producida. De esta forma, la posición de cada módulo es conocida como suma sucesiva de rotaciones de los módulos antecedentes en la cadena cinemática. En segundo lugar, se pueden colocar sensores de presión en cada uno de los músculos neumáticos, controlando en todo momento la presión de entrada en la válvula. Estos sensores permiten conocer la fuerza ejercida por cada músculo. En tercer lugar, un sensor de fuerzas/pares se puede colocar en el extremo distal del brazo robot, en el soporte 190. Este sensor mide los pares (en tres ejes ortogonales) y las fuerzas (ejercidas sobre estos tres mismos ejes) que aparecen en la interfaz entre el brazo robótico 100 y el brazo del paciente. De esta forma se puede controlar que las fuerzas y pares observadas por el paciente se encuentren siempre por debajo de un valor umbral pre-establecido por el fisioterapeuta. Otros sensores de diferente naturaleza y ubicados en distintas posiciones de la cadena cinemática pueden también utilizarse dentro del ámbito de la invención de este brazo robótico. Todas las fuerzas, pares y posiciones medidas son registradas y almacenadas en la electrónica 119.

Las figuras 13 y 14 muestran una vista en perspectiva de un segundo brazo robótico que forma parte del sistema para rehabilitación de miembros superiores mostrado en la figura 1. Este segundo brazo robótico 200 comprende una base 210 la cual puede anclarse a través del orificio 211 a una barra, que puede ser parte de una camilla 10 en la que se ubica el paciente (como se indica en la figura 1). El primer módulo 220 se encuentra actuado para tener una rotación sobre su eje longitudinal. Un grado de libertad pasivo (no actuado) adicional se añade sobre dicho eje longitudinal para facilitar la extensión del eje y la adaptación del sistema al brazo particular de cada paciente.

Un segundo módulo 230 comprende los dos músculos artificiales 231 y 232 los cuales producen la rotación de las poleas 234 que se encuentran sobre el eje 235 cuando se actúa sobre ellos. El eje 235 es la base del módulo 240, de forma que cuando el eje 235 gira, el módulo 240 se mueve solidariamente. El módulo 240 contiene un actuador lineal neumático que modifica la longitud del segmento 245 que forma la base del soporte para agarre del codo 290.

El soporte para el codo no dispone de actuadores adicionales, pero si tiene tres grados de libertad pasivos (no actuados, mostrados en la figura 15), otorgados por la articulación universal 285 y una rotación axial sobre el eje del actuador lineal anterior. Estos tres grados de libertad pasivos son necesarios para adaptar el movimiento del robot al movimiento del codo del paciente.

El sistema mostrado en las figuras puede utilizarse de varias formas para el entrenamiento de miembros superiores, y está especialmente diseñado para la rehabilitación de miembros superiores para pacientes que hayan sufrido parálisis parcial. Durante este procedimiento, el paciente ubica su mano en el soporte final del primer brazo robótico y su codo en el soporte del segundo brazo robótico. Una metodología para la rehabilitación de miembros superiores puede comprender los pasos de ubicar la mano del paciente en el soporte de un primer brazo robótico que disponga de sensores para medir las posiciones y fuerzas del brazo robótico y registrar los datos proporcionados por dichos sensores, ubicar el codo del paciente en el extremo de un segundo brazo robótico de similar características, provocar y realizar un movimiento auxiliado del brazo del paciente mientras el sistema registra los datos de dicho

movimiento, y reproducir dicho movimiento con ayuda de los brazos robóticos de forma que se repita el movimiento anterior de forma continuada.

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Un brazo robótico (100) para el control del movimiento del brazo de un usuario, que forma una cadena cinemática que se extiende desde un extremo proximal a un extremo distal y que comprende un soporte (190) para posicionar la mano del usuario en dicho extremo distal, caracterizado por el hecho de que dicha cadena cinemática posee al menos una redundancia cinemática en una zona distal de forma que el movimiento de la mano del usuario puede ser desacoplado del movimiento de las otras partes de la cadena cinemática; y donde el soporte (190) para posicionar la mano del usuario comprende un mecanismo (192,193) para la flexión y extensión de las falanges y pulgar del usuario.
- 10 2. Un brazo robótico de acuerdo a la reivindicación 1, caracterizado por el hecho de que su cadena cinemática posee al menos siete grados de libertad, de forma que el brazo robótico puede realizar todas las traslaciones y rotaciones en su espacio de trabajo.
- 15 3. Un brazo robótico de acuerdo a las reivindicaciones 1 y 2, caracterizado por el hecho de que su cadena cinemática comprende siete módulos (110,120,130,140,150,160,170), cada uno de los cuales es capaz de producir una rotación del siguiente módulo.
- 20 4. Un brazo robótico de acuerdo a la reivindicación anterior, caracterizado por el hecho de que dispone de actuadores basados en músculos artificiales (111,112,121,122,131,132,141,142,151,152,161,162,171,172).
- 25 5. Un brazo robótico de acuerdo a la reivindicación 4, caracterizado por el hecho de que dichos actuadores músculos artificiales son músculos neumáticos artificiales.
- 30 6. Un brazo robótico de acuerdo a las reivindicaciones 4 y 5, caracterizado por el hecho de que sus actuadores músculos artificiales son utilizados en un esquema antagonista/agonista para controlar el movimiento de una articulación en ambos sentidos.
- 35 7. Un brazo robótico de acuerdo a la reivindicación anterior, caracterizado por el hecho de que incluye una pluralidad de sensores para medir las posiciones y cargas en el brazo robótico y un sistema para registrar y almacenar los datos proporcionados por dichos sensores.
- 40 8. Un brazo robótico de acuerdo a la reivindicación 7, caracterizado por el hecho de que dispone de un sensor capaz de medir los pares en tres ejes ortogonales y las fuerzas en la dirección de esos ejes, en la interfaz hombre-máquina en el soporte (190) para la mano.
- 45 9. Un sistema (300) para la rehabilitación de miembros superiores que comprende un brazo robótico (100) según cualquier de las reivindicaciones anteriores y un segundo brazo robótico (200) para controlar el movimiento del codo del usuario.
10. Un sistema para rehabilitación de miembros superiores según la reivindicación 9 caracterizado por el hecho de que dispone además de un módulo de realidad virtual para realización de los ejercicios.

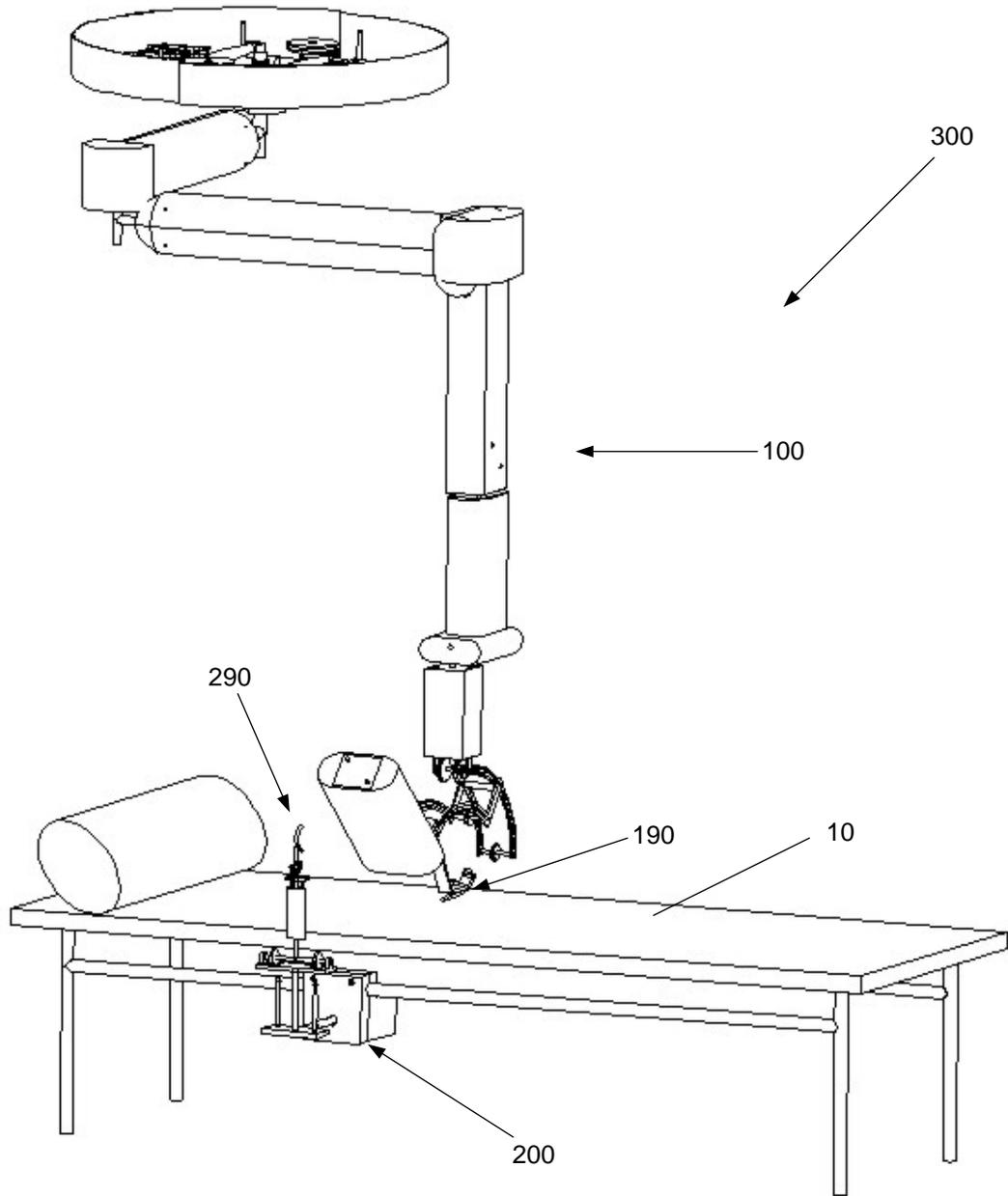


Fig. 1

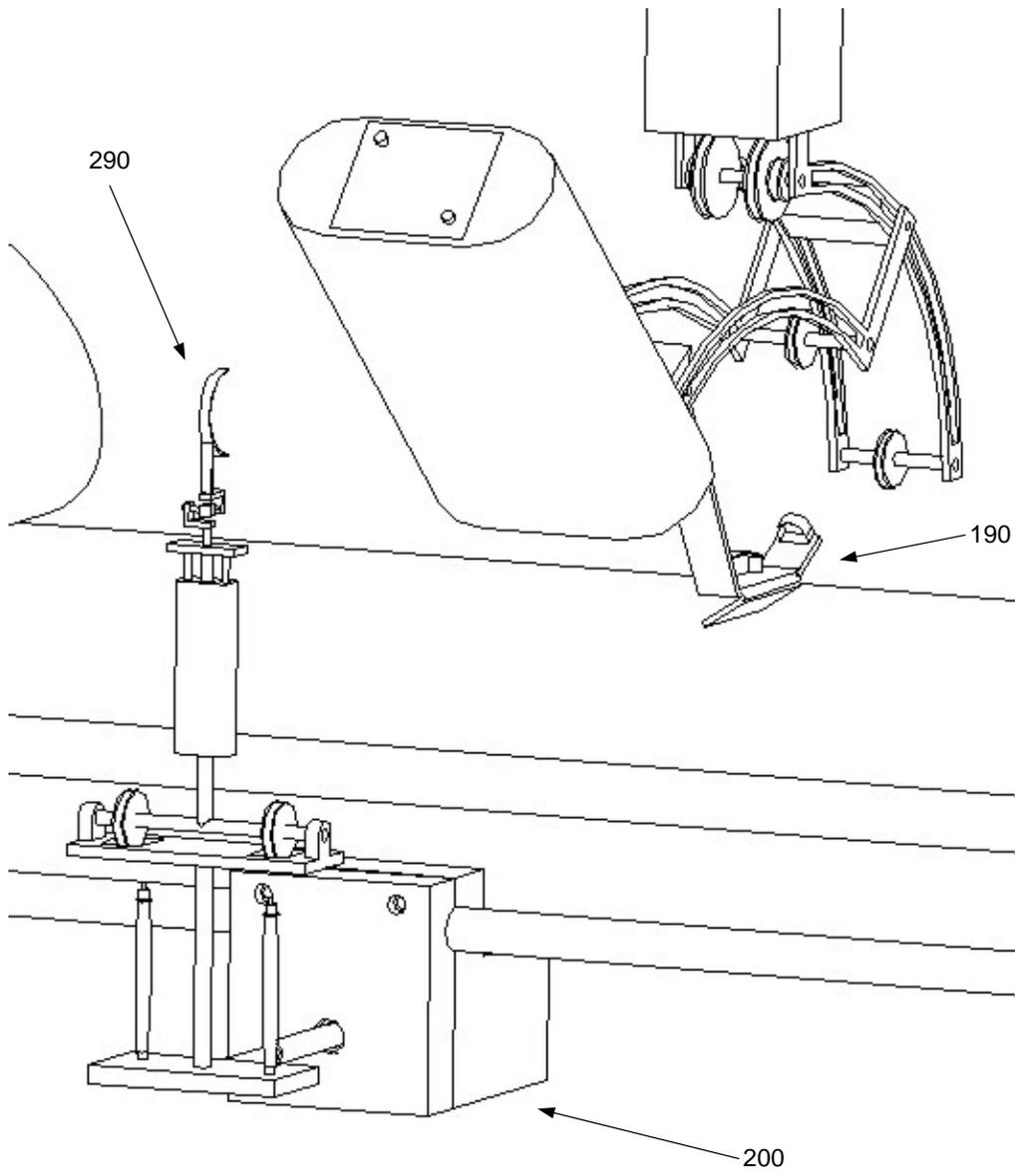


Fig. 2

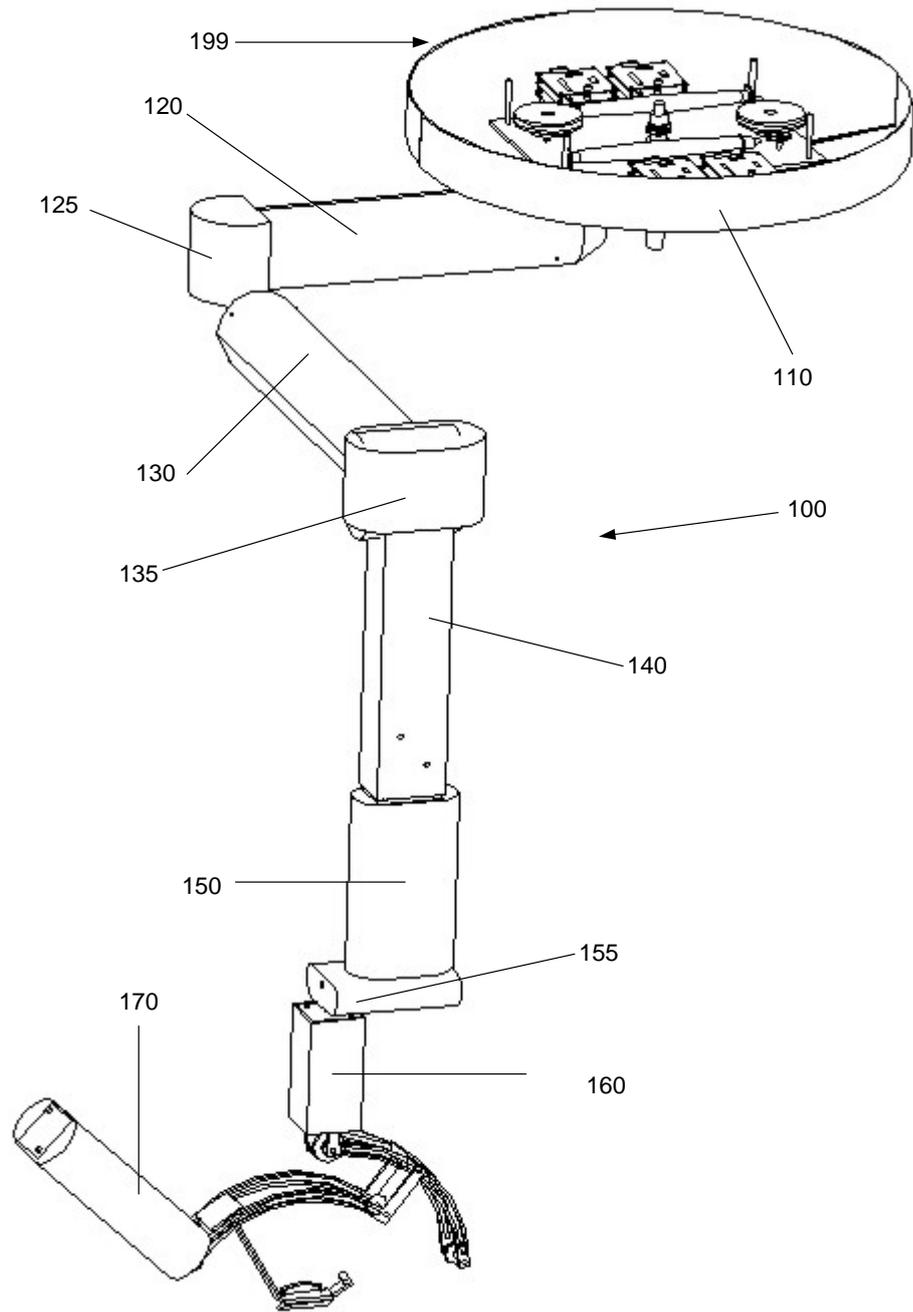


Fig. 3

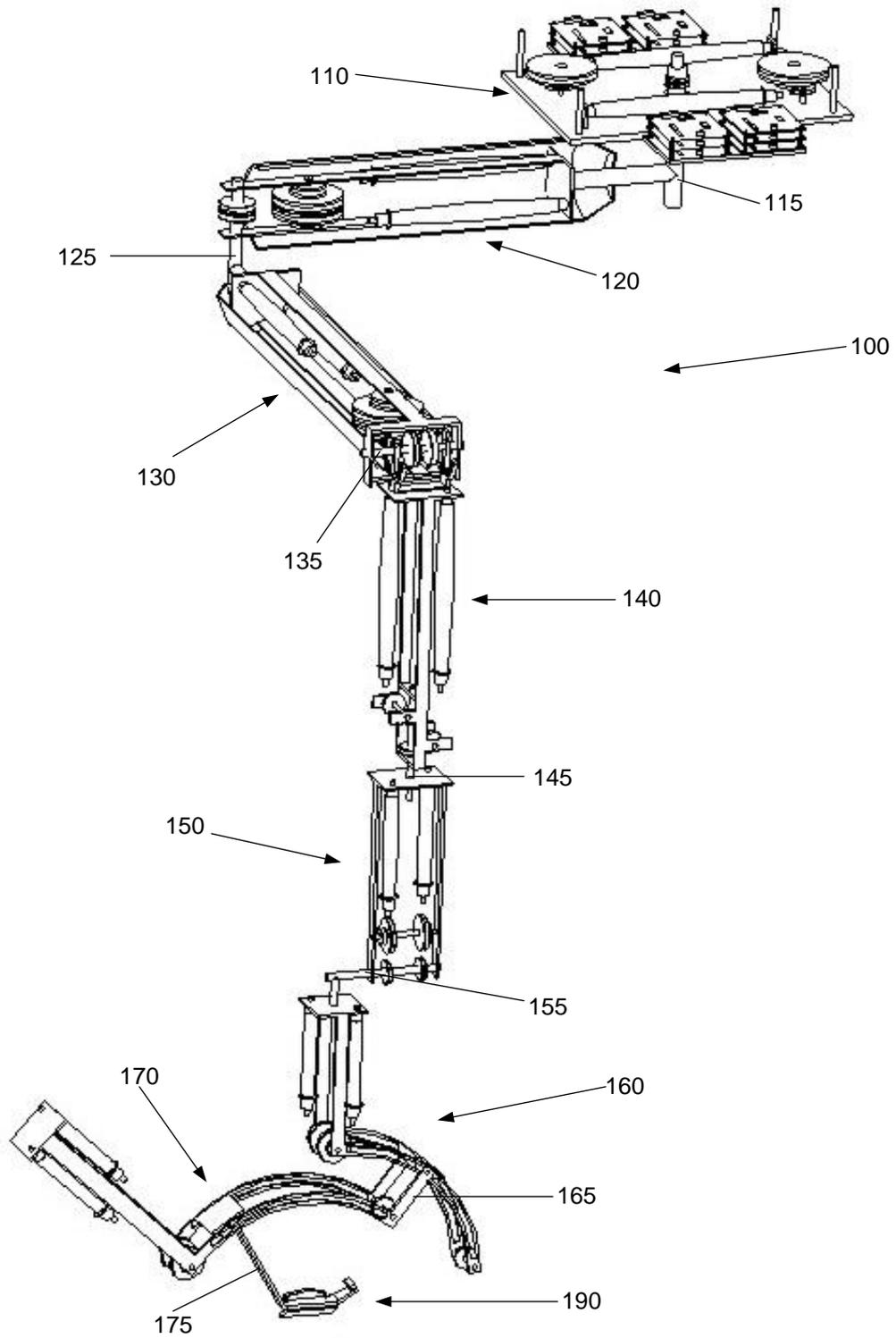


Fig. 4

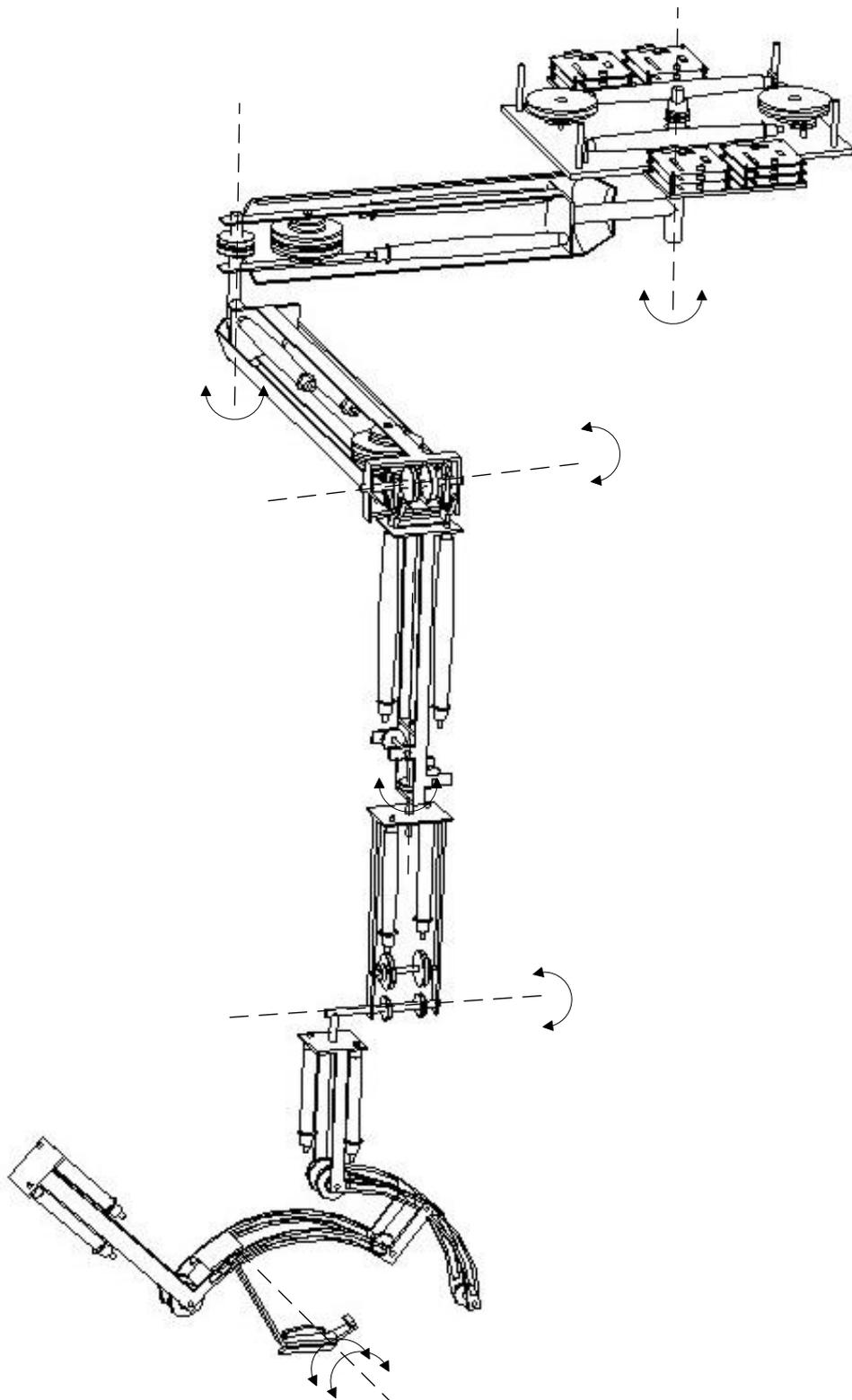


Fig. 5

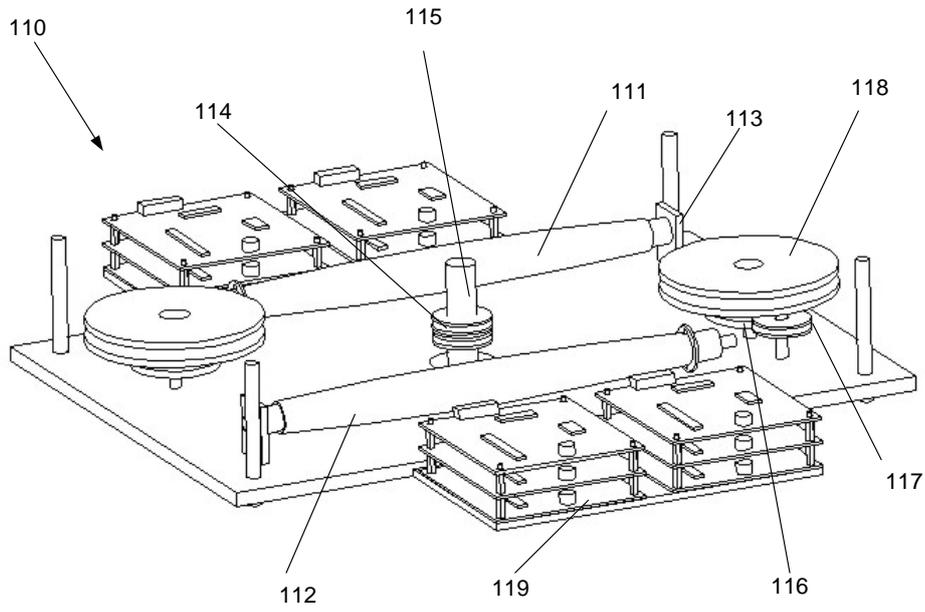


Fig. 6

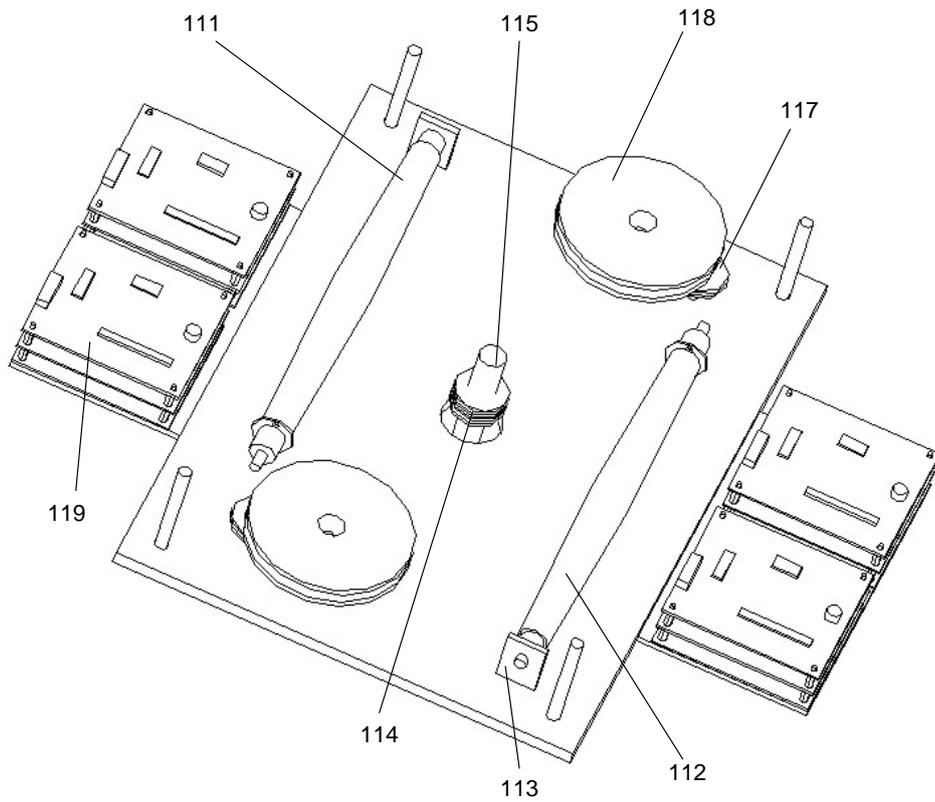


Fig. 7

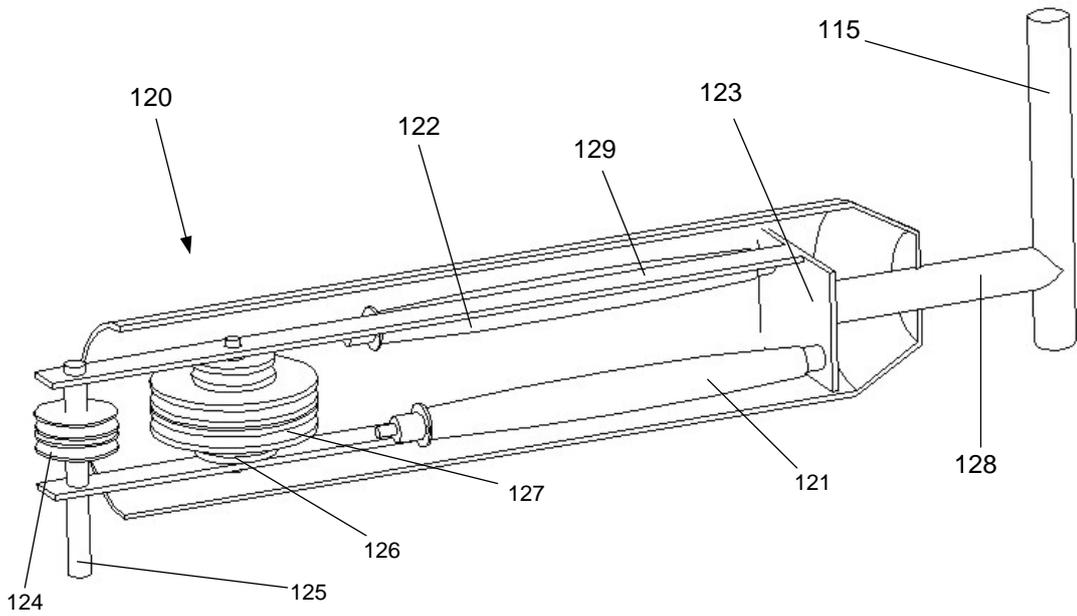


Fig. 8

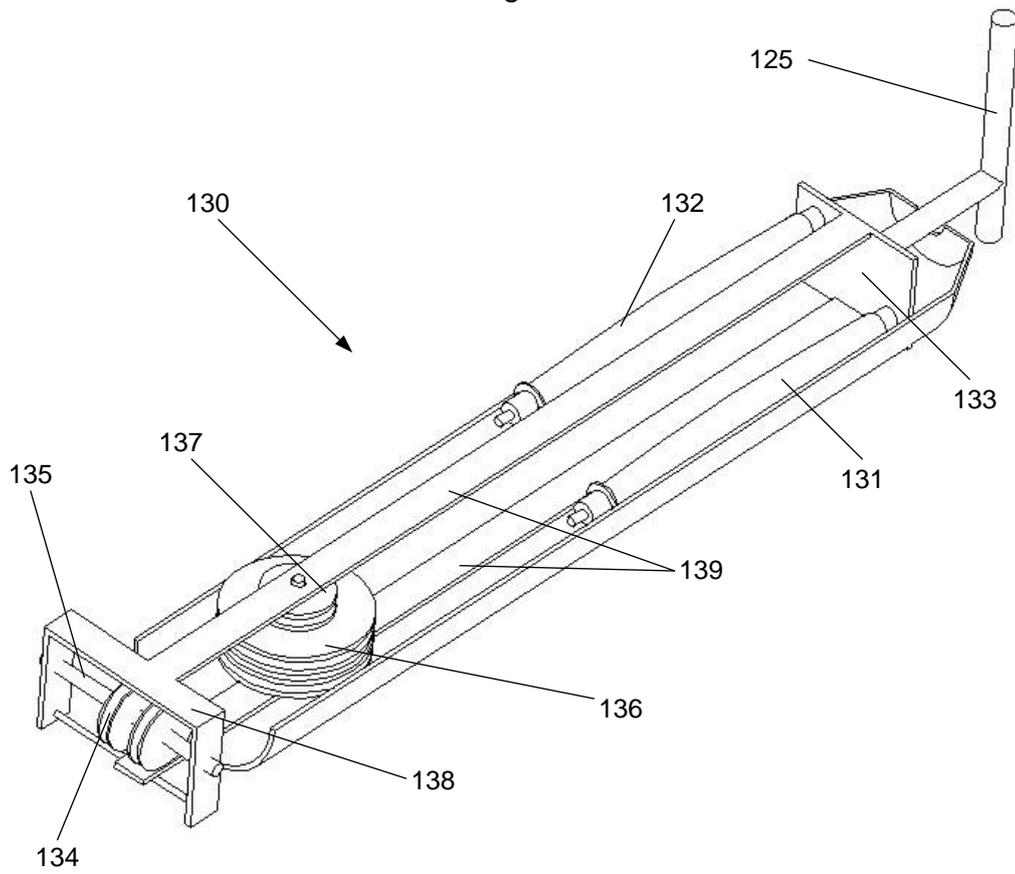


Fig. 9

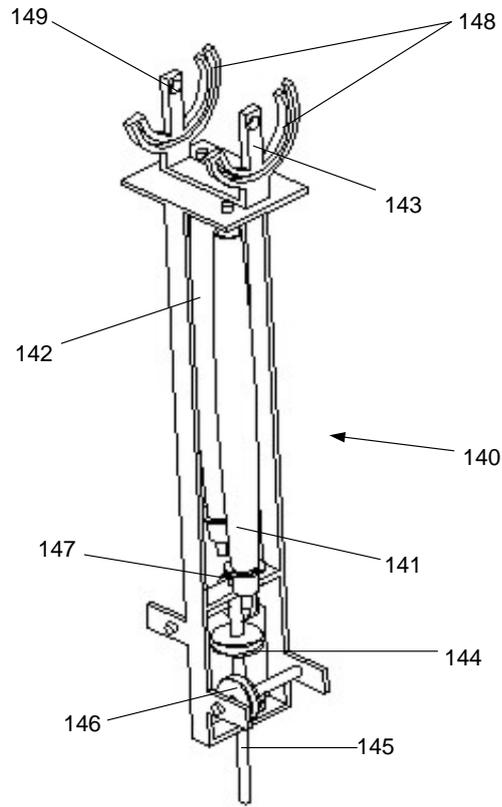


Fig. 10

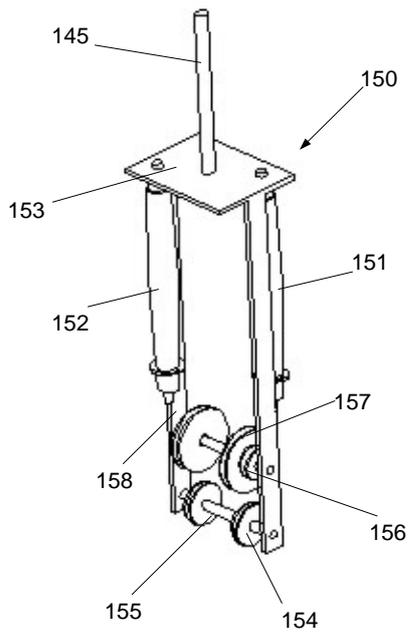


Fig. 11

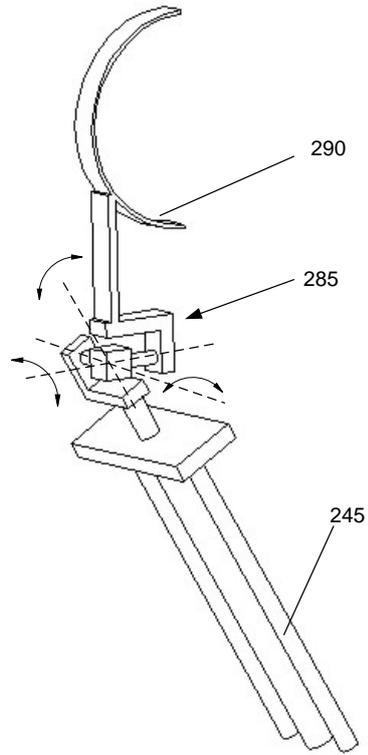


Fig. 15

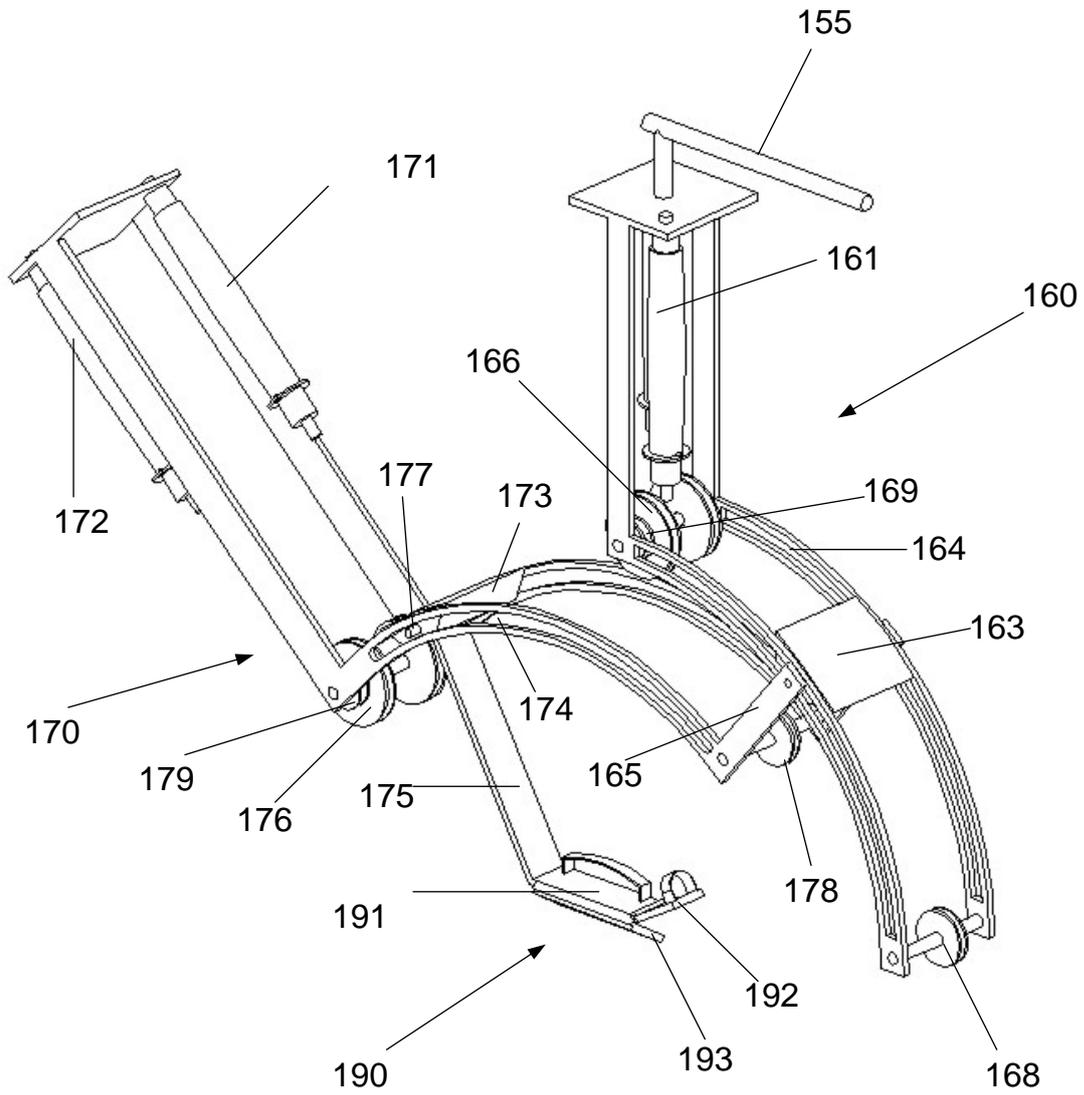


Fig. 12

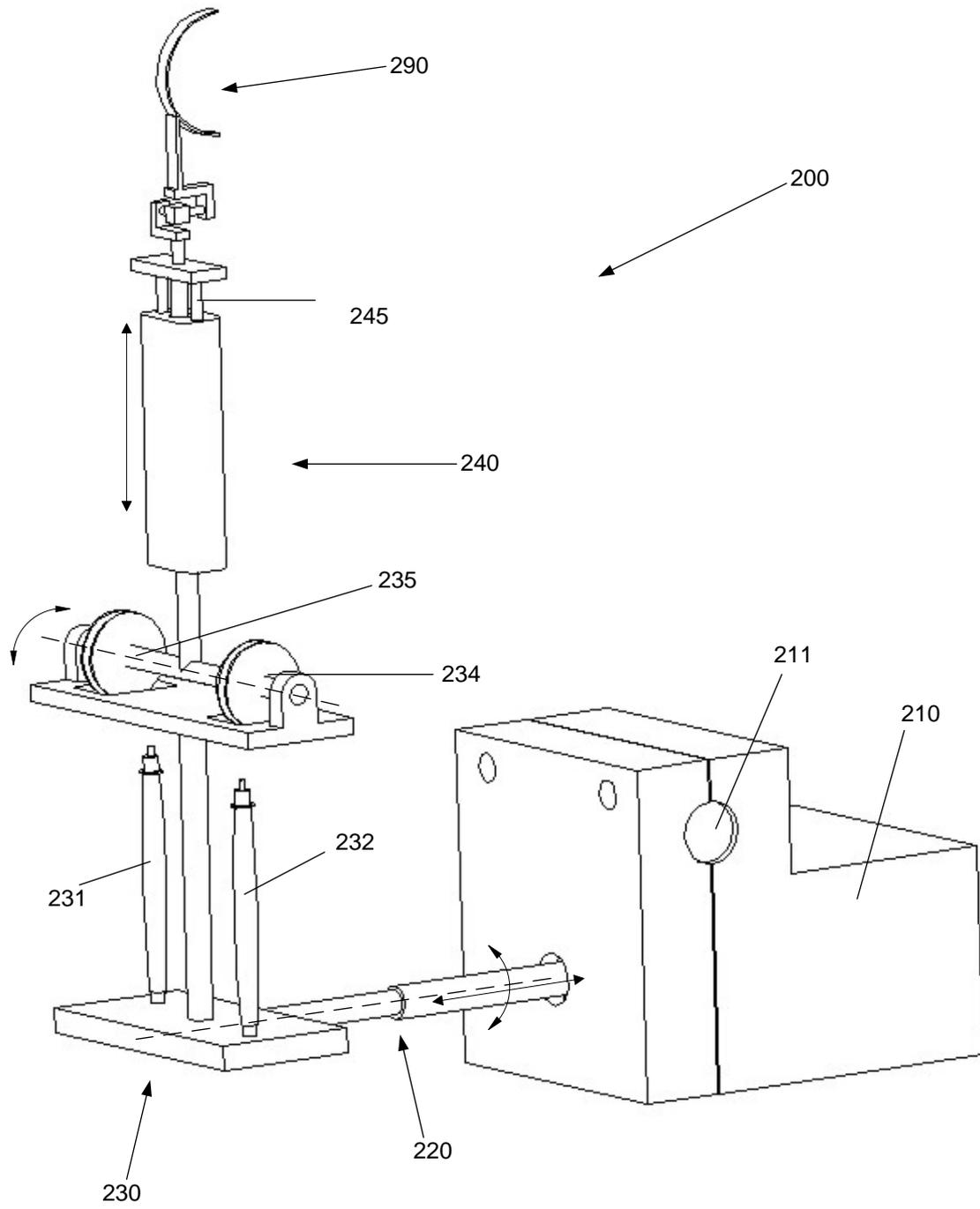


Fig. 13

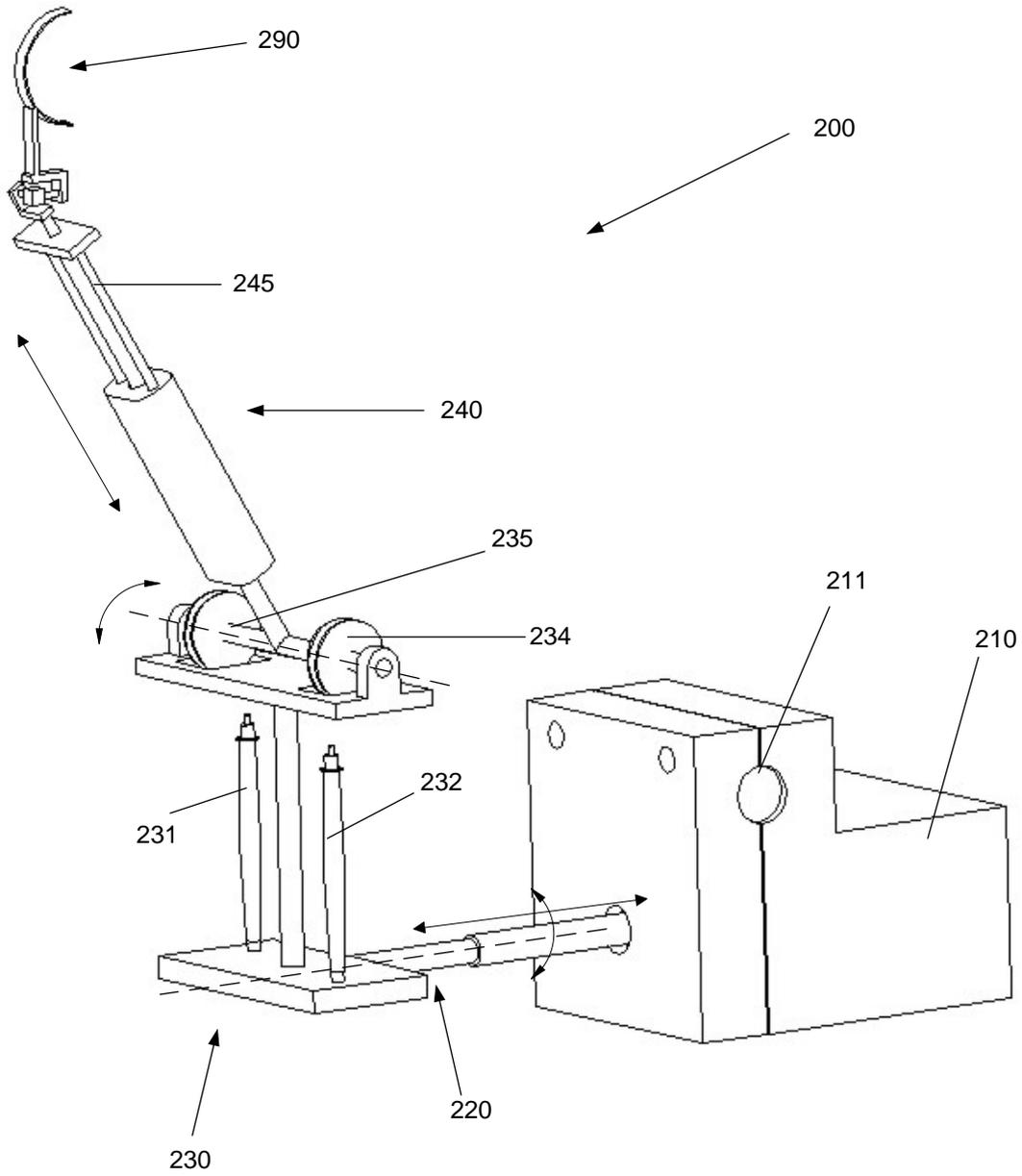


Fig. 14