

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 491 218**

51 Int. Cl.:

A61F 2/74 (2006.01)

B25J 9/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.04.2006** **E 06750299 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.06.2014** **EP 1874239**

54 Título: **Exoesqueleto semimotorizado de las extremidades inferiores**

30 Prioridad:

13.04.2005 US 671348 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
05.09.2014

73 Titular/es:

**THE REGENTS OF THE UNIVERSITY OF
CALIFORNIA (100.0%)
1111 Franklin Street, 12th Floor
Oakland, CA 94607, US**

72 Inventor/es:

**ANGOLD, RUSSDON;
HARDING, NATHAN H. y
KAZEROONI, HOMAYOON**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 491 218 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

Exoesqueleto semimotorizado de las extremidades inferiores

5 ANTECEDENTES

1. Campo

La presente invención versa en general sobre el ámbito de los exoesqueletos de las extremidades inferiores y, más específicamente, sobre el ámbito de los exoesqueletos semimotorizados de las extremidades inferiores.

10 2. Técnica relacionada

En una amplia variedad de situaciones, personas de capacidad normal se sienten a menudo frustradas cuando intentan transportar objetos excesivamente pesados o voluminosos mientras se desplazan por pendientes y escaleras. Algunas personas no pueden tan siquiera transportar su propio peso sin cansarse o lesionarse rápidamente. Por lo tanto, existen oportunidades para proporcionar un dispositivo compacto, fácil de operar, rápido y de uso general para transportar una carga mientras una persona lleva puesto el dispositivo.

El documento US 5 282 460 A da a conocer un dispositivo robótico exoesquelético para complementar el movimiento relativo entre miembros esqueléticos biológicos acoplados en una articulación biológica del portador y que forma secciones completas de un esqueleto que un ser humano ha de llevar puesto. Miembros primero y segundo de estructura para articulaciones mecánicas son fijables al portador adyacentes a la articulación biológica. Las articulaciones mecánicas definen un centro de rotación relativa de los miembros de la estructura en torno al menos a dos, y preferiblemente tres, ejes mutuamente perpendiculares, estando desplazado el centro de rotación relativa de los miembros de la estructura con respecto a las superficies externas de los miembros esqueléticos para que se correspondan en posición con el centro de la articulación biológica. Hay acoplados dispositivos de accionamiento en forma de cilindros hidráulicos entre los miembros primero y segundo de una estructura para hacer girar de forma motorizada los miembros de la estructura bajo el control de un microprocesador que puede ejecutar secuencias almacenadas o aplicar potencia en la misma dirección ejercida por el portador contra sensores de presión acoplados al microprocesador. La articulación mecánica incluye superficies esféricas de guiado que definen una conexión deslizante de los miembros de la estructura, y que tienen un radio que intersecta el centro de la articulación biológica.

SUMARIO

Según un primer aspecto de la presente invención, se proporciona el exoesqueleto de las extremidades inferiores de la reivindicación 1.

Según un segundo aspecto de la presente invención, se proporciona el método de operación del exoesqueleto de las extremidades inferiores de la reivindicación 18.

Las oportunidades descritas en la anterior sección de antecedentes son abordadas en los siguientes ejemplos descritos e ilustrados de un exoesqueleto de las extremidades inferiores que una persona se puede poner. El exoesqueleto de las extremidades inferiores comprende dos soportes para las piernas conectables a las extremidades inferiores de la persona y configurados para reposar sobre el suelo durante su fase de apoyo. Cada uno de los soportes para las piernas comprende una barra articulada para el muslo y una barra articulada para la pantorrilla; una articulación de rodilla configurada para permitir la flexión y la extensión entre la barra para la pantorrilla y la barra para el muslo. El exoesqueleto de las extremidades inferiores comprende, además, un tronco exoesquelético conectable a la parte superior del cuerpo de la persona. El tronco exoesquelético es conectable a las barras para los muslos de los soportes para las piernas, permitiendo la flexión y la extensión entre los soportes para las piernas y el tronco exoesquelético. Hay dos generadores de par acoplados a cada una de las articulaciones de rodilla. Hay un grupo motor, capaz de proporcionar potencia, acoplado a los generadores de par. En funcionamiento, cuando un soporte para las piernas está en una fase de apoyo y subiendo una pendiente o escaleras, el grupo motor inyecta potencia en el respectivo generador de par, extendiendo con ello el respectivo ángulo de rodilla. Cuando un soporte para la pierna está en fase de apoyo y no subiendo una pendiente ni escaleras, el grupo motor no inyecta potencia alguna al respectivo generador de par, pero, sin disipar nada de la potencia almacenada en dicho grupo motor, obliga al generador de par a resistir la flexión de la respectiva articulación de rodilla. Cuando un soporte para la pierna está en una fase de oscilación, el grupo motor no inyecta potencia alguna al respectivo generador de par, pero, sin disipar nada de la potencia almacenada en dicho grupo motor, obliga al generador de par a minimizar su resistencia a la flexión y la extensión de la rodilla.

60 DIBUJOS

Se comprenderán mejor estos y otros aspectos, características y ventajas de la presente invención cuando se lea la siguiente descripción detallada con referencia a los dibujos adjuntos, en los que los mismos caracteres representan partes semejantes en todos los dibujos, en los que:

La Figura 1 es un dibujo en perspectiva de una vista frontal según una realización de la presente invención.

La Figura 2 es un dibujo en perspectiva de una vista posterior de la realización de la Figura 1.
 La Figura 3 es un dibujo en perspectiva según una realización de la presente invención.
 La Figura 4 es un dibujo en perspectiva según una realización de la presente invención.
 La Figura 5 es un dibujo en perspectiva según una realización de la presente invención.
 La Figura 6 es un dibujo en perspectiva según una realización de la presente invención.
 La Figura 7 es un dibujo en perspectiva según una realización de la presente invención.
 La Figura 8 es un dibujo en perspectiva según una realización de la presente invención.
 La Figura 9 es un dibujo en perspectiva según una realización de la presente invención.
 La Figura 10 es una vista parcial de la invención de la realización de la Figura 9.
 La Figura 11 es una vista parcial de la invención de la realización de la Figura 9.
 La Figura 12 es un dibujo en perspectiva según una realización de la presente invención.
 La Figura 13 es un dibujo en perspectiva según una realización de la invención.
 La Figura 14 es un dibujo en perspectiva según una realización del pie exoesquelético.
 La Figura 15 es un dibujo en perspectiva según una realización del pie exoesquelético.
 La Figura 16 es un dibujo en perspectiva según una realización del pie exoesquelético.
 La Figura 17 es un dibujo en perspectiva según una realización del pie exoesquelético.
 La Figura 18 es un dibujo en perspectiva según una realización del pie exoesquelético.
 La Figura 19 es un dibujo en perspectiva según una realización del pie exoesquelético.
 La Figura 20 es un dibujo según una realización de la invención.
 La Figura 21 es un dibujo en perspectiva según una realización de la invención.
 La Figura 22 es un dibujo según una realización del pie exoesquelético.
 La Figura 23 es un dibujo según una realización del pie exoesquelético.
 La Figura 24 es un dibujo según una realización del pie exoesquelético.
 La Figura 25 es un dibujo según una realización del pie exoesquelético.
 La Figura 26 es un dibujo según una realización del pie exoesquelético.
 La Figura 27 es un dibujo en perspectiva según una realización de la invención.
 La Figura 28 es un dibujo que representa una realización del grupo motor del exoesqueleto
 La Figura 29 es un dibujo que representa una realización de la circuitería hidráulica del exoesqueleto.
 La Figura 30 es un dibujo que representa una realización de la circuitería hidráulica del exoesqueleto.
 La Figura 31 es un dibujo que representa una realización de la circuitería hidráulica del exoesqueleto.
 La Figura 32 es un dibujo que representa una realización de la circuitería hidráulica del exoesqueleto.
 La Figura 33 es un dibujo que representa una realización de la circuitería hidráulica del exoesqueleto.
 La Figura 34 es un dibujo que representa una realización de la circuitería hidráulica del exoesqueleto.
 La Figura 35 es un dibujo que representa una realización de la circuitería hidráulica del exoesqueleto.
 La Figura 36 es un dibujo que representa una realización del exoesqueleto guardado en posición vertical cuando el exoesqueleto no está en uso pero necesita ser transportado.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

Según una realización de la presente invención, la **Figura 1** y la **Figura 2** son dibujos en perspectiva que ilustran un exoesqueleto **100** de las extremidades inferiores que una persona **187** puede llevar puesto. El exoesqueleto **100** de las extremidades inferiores comprende dos soportes **101** y **102** para las piernas, que están configurados para ser conectables a las extremidades inferiores de la persona y configurados para reposar sobre el suelo durante su fase de apoyo. Los soportes para las piernas comprenden barras articuladas **103** y **104** para los muslos y barras articuladas **105** y **106** para las pantorrillas. Dos articulaciones **107** y **108** de rodilla están configuradas para permitir la flexión y la extensión entre la pantorrilla y el muslo de los soportes para las piernas (mostrados por las flechas **213** y **214**, respectivamente). El exoesqueleto **100** de las extremidades inferiores comprende, además, un tronco exoesquelético **109**. El tronco exoesquelético **109**, entre otros componentes, comprende un dispositivo **150** de interacción con un ser humano. El tronco exoesquelético **109** es configurable para ser acoplado a la parte superior del cuerpo de la persona mediante el dispositivo **150** de interacción con un ser humano. Parte superior del cuerpo de la persona significa cualquier ubicación por encima de los muslos. El tronco exoesquelético **109** es conectable de forma giratoria a los barras **103** y **104** para los muslos de los soportes **101** y **102** para las piernas en las articulaciones **125** y **126** de flexión-extensión de la cadera, que permiten las rotaciones de flexión y extensión de la cadera (mostradas por las flechas **215** y **216**, respectivamente) de los soportes **101** y **102** para las piernas en torno a los ejes **151** y **152** de flexión-extensión de la cadera, respectivamente.

Hay acoplados dos generadores **110** y **111** de par a las articulaciones **107** y **108** de rodilla. Un grupo motor **201**, capaz de proporcionar potencia, está acoplado a los generadores **110** y **111** de par, y está configurado para operar en al menos dos modos para cada generador **110** y **111** de par. En operación, cuando el grupo motor **201** funciona en su primer modo con respecto al generador **110** de par, el grupo motor **201** inyecta potencia en el generador **110** de par para extender el ángulo de rodilla del soporte **101** para la pierna, que está definido entre el barra **105** para la pantorrilla y la barra **103** para el muslo del soporte **101** para la pierna. Cuando el grupo motor **201** funciona en su segundo modo con respecto al generador **110** de par, la energía requerida para la flexión y la extensión entre la barra **105** para la pantorrilla y la barra **103** para el muslo del soporte **101** para la pierna en un movimiento cíclico de la rodilla es proporcionada por la persona **187**, pero el grupo motor **201** hace que el generador **110** de par resista la flexión. Se aplica la misma operación para el generador **111** de par. Cuando el grupo motor **201** opera en su primer

modo con respecto al generador **111** de par, el grupo motor **201** inyecta potencia en el generador **111** de par para extender el ángulo de rodilla del soporte **102** para la pierna. Cuando el grupo motor **201** opera en su segundo modo con respecto al generador **111** de par, la energía requerida para la flexión y la extensión entre la barra **106** para la pantorrilla y el barra **104** para el muslo del soporte **102** para la pierna en un movimiento cíclico de la rodilla es proporcionada por la persona **187**, pero el grupo motor **201** hace que el generador **111** de par resista la flexión.

Aquí se define un movimiento cíclico de la rodilla como un movimiento en el que las configuraciones mutuas inicial y final de una barra (**105** o **106**) para la pantorrilla y su correspondiente barra (**103** o **104**) para el muslo son casi idénticas entre sí. En particular, cuando un soporte para la pierna está en una fase de oscilación, un movimiento cíclico de rodilla es un movimiento en el que el soporte para la pierna no está en contacto con el suelo y las configuraciones mutuas inicial y final de la barra para la pantorrilla y la barra para el muslo correspondientes son casi idénticas. Asimismo, cuando un soporte para la pierna está en una fase de apoyo, un movimiento cíclico de rodilla es un movimiento en el que el soporte para la pierna está en contacto con el suelo y las configuraciones mutuas inicial y final de la barra para la pantorrilla y de la barra para el muslo correspondientes son casi idénticas.

En algunas realizaciones, el grupo motor **201** opera, además, en un tercer modo para cada uno de los generadores **110** y **111** de par. En funcionamiento, cuando el grupo motor **201** opera en su tercer modo con respecto al generador **110** de par, la energía requerida para la flexión y la extensión entre la barra **105** para la pantorrilla y la barra **103** para el muslo del soporte **101** para la pierna en un movimiento cíclico de la rodilla es proporcionada por la persona **187**, y el grupo motor **201** hace que el generador **110** de par minimice su resistencia a la flexión y a la extensión de la rodilla. De forma similar, cuando el grupo motor **201** opera en su tercer modo con respecto al generador **111** de par, la energía requerida para la flexión y la extensión entre la barra **106** para la pantorrilla y la barra **104** para el muslo del soporte **102** para la pierna en un movimiento cíclico de la rodilla es proporcionada por la persona **187**, y el grupo motor **201** hace que el generador **111** de par minimice su resistencia a la flexión y a la extensión de la rodilla.

En algunas realizaciones, según se muestra en la **Figura 1**, el exoesqueleto **100** de las extremidades inferiores comprende al menos un sensor de pie por cada soporte para la pierna. El soporte **101** para la pierna incluye el sensor **160** de pie, que produce una señal **219** de apoyo que representa la fuerza en la planta del correspondiente pie del usuario. De manera similar, el soporte **102** para la pierna incluye el sensor **161** de pie, que produce una señal **220** de apoyo que representa la fuerza en la planta del otro pie del usuario. El grupo motor **201** controla los generadores **110** y **111** de par en función de las señales **219** y **220** de apoyo. Las señales **219** y **220** de apoyo detectan si la pierna del usuario está en una fase de apoyo o en una fase de oscilación. En algunas realizaciones de sensores de pie, las señales **219** y **220** de apoyo representan la magnitud de la fuerza sobre la planta de los pies del usuario. Durante la fase de oscilación, las señales **219** y **220** de apoyo detectan una magnitud pequeña o nula para la fuerza sobre la planta de los pies del usuario.

En algunas realizaciones, según se muestra en la **Figura 20**, el exoesqueleto **100** de las extremidades inferiores incluye al menos un sensor de ángulo por cada soporte para la pierna. El soporte **101** para la pierna comprende un sensor **243** de ángulo que produce una señal **245** de ángulo que representa el ángulo de la articulación **107** de rodilla. De manera similar, el soporte **102** para la pierna comprende un sensor **244** de ángulo que produce una señal **246** de ángulo que representa el ángulo de la articulación **108** de rodilla. El grupo motor **201** controla los generadores **110** y **111** de par en función de las señales **245** y **246** de ángulo. Las señales **245** y **246** de ángulo detectan si los soportes **101** y **102** para las piernas están en una postura (es decir, doblados) para subir escaleras o una pendiente. En algunas realizaciones de los sensores de ángulo, las señales **245** y **246** de ángulo representan la magnitud de los ángulos de articulación para las articulaciones **107** y **108** de rodilla.

En algunas realizaciones, el grupo motor **201** opera en su primer modo con respecto al generador **110** de par, cuando la señal **219** de apoyo indica la presencia de una fuerza sobre la planta del correspondiente pie humano (es decir, el soporte **101** para la pierna está en una fase de apoyo) y la señal **245** de ángulo indica que el soporte **101** para la pierna está doblado o tiene la postura de subir escaleras o una pendiente. Se aplica lo mismo para el generador **111** de par. El grupo motor **201** opera en su primer modo con respecto al generador **111** de par, cuando la señal **220** de apoyo indica la presencia de una fuerza sobre la planta del correspondiente pie humano (es decir, el soporte **102** para la pierna está en una fase de apoyo) y la señal **246** de ángulo indica que el soporte **102** para la pierna está doblado o tiene la postura de subir escaleras o una pendiente. En toda esta solicitud, la subida de escaleras y pendientes se detecta cuando el ángulo de articulación de rodilla (mostrado como el ángulo "A" para la articulación **108** de rodilla in la **Figura 20**) está doblado o se hace menor que un valor preestablecido al comienzo de la fase de apoyo para una pierna. En una realización, se escogió que el valor preestablecido fuera de 135°. En otra realización, se escogió que el valor preestablecido fuera de 165°.

En algunas realizaciones, el grupo motor **201** opera en el segundo modo con respecto al generador **110** de par, cuando la señal **219** de apoyo indica la presencia de una fuerza sobre la planta del correspondiente pie humano (es decir, el soporte **101** para la pierna está en una fase de apoyo) y el sensor **245** de ángulo detecta que el soporte **101** para la pierna no está doblado ni tiene la postura de subir escaleras ni una pendiente. Se aplica lo mismo para el generador **111** de par. El grupo motor **201** opera en el segundo modo con respecto al generador **111** de par, cuando la señal **220** de apoyo indica la presencia de una fuerza sobre la planta del correspondiente pie humano (es decir, el

soporte **102** para la pierna está en una fase de apoyo) y la señal **246** de ángulo indica que el soporte **102** para la pierna no está doblado ni tiene la postura de subir escaleras o una pendiente.

En algunas realizaciones, el grupo motor **201** opera en el tercer modo con respecto al generador **110** de par, cuando la señal **219** de apoyo detecta que el soporte **101** para la pierna está en una fase de oscilación. Se aplica lo mismo para el generador **111** de par. El grupo motor **201** opera en el tercer modo con respecto al generador **111** de par, cuando la señal **220** de apoyo detecta que el soporte **102** para la pierna está en una fase de oscilación.

En resumen, el grupo motor **201** es configurable para inyectar potencia en los generadores **110** y **111** de par durante la fase de apoyo de los soportes **101** y **102** para las piernas y cuando están doblados o tienen la postura de subir escaleras o pendientes. Para ahorrar energía, durante la fase de apoyo de un soporte para la pierna cuando no está doblado ni tiene la postura de subir escaleras o pendientes, el grupo motor **201** es configurable de tal modo que la energía requerida para la flexión y la extensión entre la barra para la pantorrilla y la barra para el muslo de un soporte para la pierna en un movimiento cíclico de rodilla puede ser proporcionada por la persona. Para ahorrar aún más energía, durante la fase de oscilación de un soporte para la pierna, el grupo motor **201** es configurable de modo que la energía requerida para la flexión y la extensión entre la barra para la pantorrilla y la barra para el muslo de un soporte para la pierna en un movimiento cíclico de rodilla pueda ser proporcionada por la persona. Aunque en toda esta solicitud se hace referencia a "subir escaleras y pendientes" como las actividades en las que el grupo motor **201** inyectaría potencia, está claro para un experto en la técnica que existen otras actividades en las que es ventajosa la ayuda para levantarse (tal como "salir de una posición en cuclillas"). Por lo tanto, se pretende que "subir escaleras y pendientes" incluya cualquier actividad en la que inyectar potencia desde el grupo motor **201** sería ventajoso para el operario.

En funcionamiento, la persona **187** se acopla con (o se pone) el exoesqueleto **100** de las extremidades inferiores acoplándose con el dispositivo **150** de interacción con un ser humano (un simple cinturón en este caso de la **Figura 1**) y acoplándose con los dos soportes **101** y **102** para las piernas. En algunas realizaciones, mostradas en la **Figura 1**, los soportes **101** y **102** para las piernas comprenden dispositivos **137** y **138** de sujeción de las pantorrillas que acoplan la persona **187** a los soportes **101** y **102** para las piernas.

En algunas realizaciones, cada uno de los generadores **110** y **111** de par comprende un generador hidráulico de par. El grupo motor **201** es capaz de proporcionar potencia hidráulica para los generadores **110** y **111** de par y, entre otros componentes, según se muestra en la **Figura 28**, incluye circuitería hidráulica **194** configurada para que sea conectable a los generadores hidráulicos **110** y **111** de par. La circuitería hidráulica **194** del grupo motor **201** modula el flujo de fluido hidráulico hacia los generadores hidráulicos **110** y **111** de par. Los generadores hidráulicos **110** y **111** de par comprenden cualquier generador hidráulico de par o combinación de generadores de par capaz de convertir fluido hidráulico a presión en fuerza o par. Ejemplos de generadores hidráulicos **110** y **111** de par incluyen, sin limitación, cilindros hidráulicos lineales de pistón, accionadores hidráulicos giratorios, accionadores giratorios de tipo piñón y cremallera y accionadores hidráulicos giratorios del tipo de raquetas, en los que el fluido hidráulico a presión, empujando contra superficies móviles, genera fuerza o par. En la **Figura 13** se muestra una ilustración de un exoesqueleto que utiliza sistemas hidráulicos giratorios. Sin embargo, un experto en la técnica se percatará de que es posible construir un exoesqueleto con la funcionalidad de esta invención, en el que los generadores **110** y **111** de par y el grupo motor **201** sean una combinación de dispositivos eléctricos que posiblemente incluya un embrague. Por ejemplo, el generador de par podría ser un husillo de bolas y el grupo motor podría ser una combinación de un embrague (para minimizar la resistencia a la flexión y la extensión durante la oscilación) y un motor eléctrico (para inyectar energía).

La **Figura 29** muestra una realización de la circuitería hidráulica **194**. La circuitería hidráulica **194** comprende una bomba hidráulica **240**. En funcionamiento, cuando el grupo motor **201** opera en su primer modo con respecto al generador **110** de par, el motor **241** hace girar a la bomba hidráulica **240** y la bomba hidráulica **240** inyecta fluido hidráulico en el generador **110** de par, haciendo que se extienda la articulación de rodilla del soporte **101** para la pierna. El grupo motor **201** comprende, además, un componente **238** de almacenamiento de energía (mostrado en la **Figura 28**), tal como baterías y condensadores para proporcionar potencia para el motor **241** y otros componentes tales como sensores y componentes electrónicos. La circuitería hidráulica **194** comprende, además, una válvula **239** de aislamiento de la bomba. En funcionamiento, cuando el grupo motor **201** opera en su primer modo con respecto al generador **110** de par, la válvula **239** de aislamiento de la bomba conecta la bomba hidráulica **240** al generador **110** de par. La circuitería hidráulica **194** comprende, además, una válvula accionada **200** de restricción del flujo.

En algunas realizaciones, cuando el soporte **101** para la pierna está en una fase de apoyo y está doblado o posicionado para subir escaleras o una pendiente, el grupo motor **201** opera en su primer modo con respecto al generador **110** de par. En este primer modo, la válvula accionada **200** de restricción del flujo está cerrada y la válvula **239** de aislamiento de la bomba está abierta. Esto permite que la bomba hidráulica **240** inyecte fluido hidráulico al generador hidráulico **110** de par desde una fuente de fluido hidráulico (por ejemplo, el depósito hidráulico **195** de la **Figura 29**), haciendo que se extienda la articulación **107** de rodilla.

En algunas realizaciones, cuando el soporte **101** para la pierna está en una fase de apoyo, pero no está doblado ni posicionado para subir escaleras o una pendiente, el grupo motor **201** opera en su segundo modo con respecto al generador **110** de par. En este segundo modo, la válvula **239** de aislamiento de la bomba desconecta el flujo de fluido entre la bomba hidráulica **240** y el generador **110** de par y la válvula accionada **200** de restricción del flujo restringe el flujo de fluido desde el generador **110** de par. Esto hace que la articulación **107** de rodilla resista la flexión.

En algunas realizaciones, cuando el soporte **101** para la pierna está en una fase de oscilación, el grupo motor **201** opera en su tercer modo. En este tercer modo, la válvula accionada **200** de restricción del flujo está abierta y permite el flujo de fluido hidráulico de resistencia mínima entre el generador hidráulico **110** de par y una fuente de fluido (por ejemplo, el depósito hidráulico **195**). Esto permite que el soporte **101** para la pierna se mueva con poca resistencia o ninguna.

En las **Figuras 29 a 35**, se usa el depósito hidráulico **195** para representar a la fuente de fluido. Se puede usar un cilindro hidráulico de doble efecto con barras en ambos extremos del pistón en vez de un cilindro hidráulico de efecto simple que elimina el depósito hidráulico **195**. Aunque se muestra mediante el depósito hidráulico **195**, la fuente de fluido se refiere ya sea a un depósito hidráulico o a la otra cámara en un cilindro hidráulico de doble efecto con barras en ambos extremos.

La válvula accionada **200** de restricción del flujo comprende cualquier válvula o combinación de válvulas capaz de llevar a cabo las funciones indicadas. Ejemplos de válvula accionada **200** de restricción del flujo incluyen, sin limitación, válvulas de control del flujo, válvulas de control de la presión, válvulas accionadas de aguja, válvulas de solenoide y válvulas de conexión-desconexión (on-off). El motor **241** comprende cualquier dispositivo o combinación de dispositivos capaz de accionar la bomba hidráulica **240**. Ejemplos de motor **241** incluyen, sin limitación, motores eléctricos, incluyendo, sin limitación, motores de CA (corriente alterna), motores de CC (corriente continua) del tipo de escobillas, motores de CC sin escobillas, motores conmutados electrónicamente (MCE), motores paso a paso y combinaciones de los mismos. En algunas realizaciones, el motor **241** es un dispositivo de combustión interna en el que se quema un combustible para crear movimiento. Aunque se afirma que el motor eléctrico **241** hace girar la bomba hidráulica **240**, un experto en la técnica puede percatarse de que tanto el motor **241** como la bomba hidráulica **240** pueden tener otros tipos de acoplamientos no giratorios, tales como un movimiento lineal de vaivén.

La **Figura 30** representa otra realización de la circuitería hidráulica **194**. Esta realización es similar a la realización de la **Figura 29**, pero se ha añadido una válvula **199** de retención hidráulica (válvula unidireccional) que conecta una fuente de fluido hidráulico (por ejemplo, el depósito hidráulico **195**) al generador **110** de par. Esto permite la libre extensión de la articulación de rodilla del soporte **101** para la pierna cuando el grupo motor **201** opera en los tres modos.

La **Figura 31** representa otra realización de la circuitería hidráulica **194** en la que una válvula **242** de bomba de tres vías conecta el generador hidráulico **110** de par a un depósito hidráulico **195** ya sea a través de una válvula accionada **200** de restricción del flujo o a través de una bomba hidráulica **240**. Cuando el grupo motor **201** opera en su primer modo con respecto al generador **110** de par, la válvula **242** de bomba de tres vías conecta el generador hidráulico **110** de par a la bomba hidráulica **240**; si no, la válvula **242** de bomba de tres vías conecta el generador hidráulico **110** de par a la válvula accionada **200** de restricción del flujo. Por ejemplo, cuando el soporte **101** para la pierna está doblado, o bien en una postura para subir escaleras o una pendiente y está en la fase de apoyo, el grupo motor opera en su primer modo. En este primer modo, la válvula **242** de bomba de tres vías conecta el generador hidráulico **110** de par al depósito hidráulico **195** a través de la bomba hidráulica **240**. Esto permite que la bomba hidráulica **240** inyecte fluido en el generador hidráulico **110** de par procedente del depósito hidráulico **195**, haciendo que se extienda la articulación **107** de rodilla. Cuando el soporte **101** para la pierna no está en una postura para subir escaleras o una pendiente, pero está en una fase de apoyo, el grupo motor **201** opera en su segundo modo. En este segundo modo, la válvula **242** de bomba de tres vías conecta el generador hidráulico **110** de par al depósito hidráulico **195** a través de la válvula accionada **200** de restricción del flujo. La válvula accionada **200** de restricción del flujo restringe el flujo de fluido hidráulico procedente del generador **110** de par, haciendo que la articulación **107** de rodilla resista la flexión. Cuando el soporte **101** para la pierna está en una fase de oscilación, el grupo motor **201** opera en su tercer modo. En este tercer modo, la válvula **242** de bomba de tres vías conecta el generador hidráulico **110** de par al depósito hidráulico **195** a través de la válvula accionada **200** de restricción del flujo y la válvula accionada **200** de restricción del flujo se abre y permite el flujo de fluido hidráulico de resistencia mínima entre el generador hidráulico **110** de par y el depósito hidráulico **195**. Esto permite que el soporte **101** para la pierna se mueva con poca resistencia o ninguna.

La **Figura 32** representa otra realización de la circuitería hidráulica **194**. Esta realización es similar a la realización de la **Figura 31**, pero se ha añadido una válvula **199** de retención para permitir una resistencia mínima a la extensión de la articulación de rodilla del soporte **101** para la pierna en todo momento.

La **Figura 33** representa otra realización de la circuitería hidráulica **194** en la que se ha eliminado la válvula accionada **200** de restricción del flujo. Se ha añadido una válvula hidráulica **198** de tres vías adicional que selecciona

entre una válvula no accionada **196** de restricción del flujo y una tubería **197** de derivación. La válvula no accionada **196** de restricción del flujo puede ser un dispositivo mucho más simple y puede ser o un simple orificio o bien un dispositivo regulable, tal como una válvula de aguja. En funcionamiento, cuando el soporte **101** para la pierna está en una fase de apoyo y está doblado o bien posicionado para subir escaleras o una pendiente, el grupo motor **201** opera en su primer modo. En este primer modo, la válvula **242** de bomba de tres vías conecta el generador hidráulico **110** de par al depósito hidráulico **195** a través de la bomba hidráulica **240**. Esto permite que la bomba hidráulica **240** inyecte fluido en el generador hidráulico **110** de par procedente del depósito hidráulico **195**, haciendo que se extienda la articulación **107** de rodilla. Cuando el soporte **101** para la pierna está en su fase de apoyo, pero no está ni doblado ni posicionado para subir escaleras o una pendiente, el grupo motor **201** opera en su segundo modo. En este segundo modo, la válvula **242** de bomba de tres vías conecta el generador hidráulico **110** de par a la válvula hidráulica **198** de tres vías. La válvula hidráulica **198** de tres vías conecta la válvula **242** de bomba de tres vías al depósito hidráulico **195** a través de la válvula no accionada **196** de restricción del flujo, reduciendo con ello el flujo y aumentando la impedancia del generador hidráulico **110** de par. Esto hace que la articulación **107** de rodilla resista la flexión. Cuando el soporte **101** para la pierna está en la fase de oscilación, el grupo motor **201** opera en su tercer modo. En este tercer modo, la válvula **242** de bomba de tres vías conecta el generador hidráulico **110** de par a la válvula hidráulica **198** de tres vías. La válvula hidráulica **198** de tres vías conecta la válvula **242** de bomba de tres vías al depósito hidráulico **195** a través de la tubería **197** de derivación, aumentando con ello el flujo de fluido y disminuyendo la impedancia del generador hidráulico **110** de par. Esto permite que el soporte **101** para la pierna se mueva con poca resistencia o ninguna.

La **Figura 34** representa otra realización de la circuitería hidráulica **194**. Esta realización es similar a la realización de la **Figura 33**, pero se ha añadido una válvula **199** de retención para permitir una resistencia mínima a la extensión de la rodilla en todo momento.

Es importante hacer notar que hay una plétora de posibles circuitos hidráulicos que podrían usarse para crear el comportamiento que es objeto de esta invención. La inspección de diversas realizaciones de la circuitería hidráulica **194** revela que cada generador de par está acoplado a un subcomponente de inyección de potencia del grupo motor **201**, capaz de inyectar potencia en un generador de par, y a un subcomponente de disipación de potencia del grupo motor **201** capaz de disipar potencia del generador de par. Por ejemplo, el examen de la **Figura 29** muestra que la válvula accionada **200** de restricción del flujo es un subcomponente de disipación de potencia, mientras que la bomba hidráulica **240** es un subcomponente de inyección de potencia. El grupo motor **201** selecciona a qué subcomponente generador de par se conectará.

En algunas realizaciones, según se muestra en la **Figura 28**, el grupo motor **201** comprende, además, un procesador **159** de señales capaz de crear señales de instrucciones para diversos componentes del grupo motor **201** para controlar el grupo motor **201**. El procesador de señales comprende un elemento o una combinación de elementos seleccionados de un grupo consistente en dispositivos analógicos; módulos analógicos de cálculo; dispositivos digitales, incluyendo, sin limitación, circuitos integrados a escala pequeña, mediana y grande, circuitos integrados para aplicaciones específicas, matrices de puertas programables y matrices de lógica programable; y módulos digitales de cálculo, incluyendo, sin limitación, microordenadores, microprocesadores, microcontroladores y controladores lógicos programables. En algunas realizaciones, el procesador **159** de señales comprende un elemento o una combinación de elementos seleccionados de un grupo consistente en relés electromecánicos o conmutadores MOS-FET. El procesador **159** de señales genera señales de instrucciones para dicha circuitería hidráulica a partir de las señales **219** y **220** de apoyo y de las señales **245** y **246** de ángulo o de una combinación de las mismas.

También es importante hacer notar que podría usarse cualquiera de estos circuitos hidráulicos para capturar energía cuando se baja una pendiente o una escalera. Considerando la **Figura 29**, puede verse que si el grupo motor detectó que el operario bajaba una pendiente pronunciada y la pierna estaba en la fase de apoyo, podría abrirse la válvula **239** de aislamiento de la bomba y podría cerrarse la válvula accionada **200** de restricción del flujo. Esto desviaría hacia atrás al fluido bajo presión al interior de la bomba hidráulica **240**, la cual podría comportarse entonces como un motor hidráulico (si se configura debidamente), haciendo que el motor eléctrico **241** girase al revés y generase electricidad. Si el medio de almacenamiento de energía del grupo motor **201** fuera capaz de aceptar tal energía, como una batería, entonces esta energía podría ser capturada y usada más tarde para proporcionar asistencia mientras se sube una pendiente o una escalera. (Obsérvese que el grupo motor **201** puede detectar la condición de bajar una pendiente observando un ángulo de rodilla cercano a 180° al comienzo del apoyo y un ángulo mucho menor al final del apoyo). El sistema podría comportarse como antes durante la oscilación (proporcionando una resistencia mínima a la flexión o la extensión), durante el apoyo mientras se sube (inyectando potencia), y durante el apoyo mientras se anda sobre suelo casi horizontal (disipando energía a través de un dispositivo tal como una válvula de restricción de flujo).

De hecho, si la bomba hidráulica **240** y el motor **241** pudieran ser diseñados para proporcionar la debida cantidad de resistencia a la flexión durante el apoyo y una resistencia mínima durante la oscilación mientras se anda sobre suelo horizontal, la válvula accionada **200** de restricción del flujo podría ser eliminada, y podría usarse el sistema simple mostrado en la **Figura 35**. Sin embargo, esto solo sería económico, desde un punto de vista de consumo de

energía, si el motor **241** consumiese únicamente cantidades insignificantes de energía, o ninguna en absoluto, mientras la pierna estuviera apoyada mientras anduviese sobre suelo horizontal o casi horizontal.

Un experto en la técnica observará que, en todos estos circuitos, el depósito hidráulico **195** de una pierna podría combinarse con el depósito hidráulico de la otra pierna. Además, los motores **241**, la bomba hidráulica **240** y los depósitos **195**, separados, podrían combinarse en forma de un suministro más tradicional de potencia hidráulica consistente en un depósito de baja presión, un solo motor y una sola bomba hidráulica, un depósito de alta presión y algunas válvulas de control que dejaran salir el flujo correcto de fluido hidráulico del depósito de alta presión y al interior de cada uno de los generadores hidráulicos de par. Sin embargo, este diseño no es tan ventajoso como un solo motor por generador hidráulico de par, debido a la gran cantidad de energía desperdiciada por tales válvulas de control.

También se debe hacer observar que todas las válvulas de alivio de la presión han sido omitidas de los diagramas hidráulicos en aras de la claridad.

Explicando adicionalmente la geometría del exoesqueleto mostrado en la **Figura 1**, en algunas realizaciones, según se muestra en la **Figura 1**, el tronco exoesquelético **109** incluye dos barras **114** y **115** para la cadera conectables de forma giratoria a barras **103** y **104** para los muslos en las articulaciones **125** y **126** de flexión-extensión de la cadera, permitiendo la flexión y la extensión de los soportes **101** y **102** para las piernas en torno a los ejes **151** y **152** de flexión-extensión de la cadera, respectivamente. En algunas realizaciones, las barras **114** y **115** para la cadera están conectadas de forma giratoria entre sí en la articulación **113** de abducción-aducción, permitiendo la abducción y/o la aducción de los soportes **101** y **102** para las piernas. La abducción y la aducción de los soportes **101** y **102** para las piernas se muestran con las flechas **217** y **218**, respectivamente.

En algunas realizaciones, la energía requerida para el movimiento de flexión y extensión entre los soportes **101** y **102** para las piernas y el tronco exoesquelético **109** en un movimiento cíclico de cadera es proporcionada por dicha persona. En algunas otras realizaciones, pueden acoplarse generadores de par a las articulaciones **125** y **126** de la cadera.

En algunas realizaciones, el tronco exoesquelético **109** está configurado para aguantar una carga posterior **118** detrás de la persona **187**. En algunas realizaciones, según se muestra en la **Figura 1**, la carga posterior **118** es aguantada por barras **114** y **115** para la cadera. En algunas realizaciones, el tronco exoesquelético **109** comprende, además, estructuras de extensión **119** y **120** configuradas para aguantar una carga frontal **154** delante de la persona **187**. En algunas realizaciones (según se muestra en la **Figura 1**) las estructuras de extensión **119** y **120** son conectables a las barras **114** y **115** para la cadera. Ejemplos de carga posterior **118** y carga frontal **154** incluyen, sin limitación, una mochila, un portabebés, recipientes de alimentos, sacos, jarras de agua, cajas de herramientas, barriles, municiones, armamento, ropa de cama, suministros de primeros auxilios, bolsas de golf, sacas de correo, una cámara, un aventador de hojarasca, un compresor, maquinarias electromecánicas y combinaciones de los mismos. En algunas realizaciones, la carga posterior **118** y/o la carga frontal **154** son otra persona que está siendo transportada por la persona **187**. En algunas realizaciones, el tronco exoesquelético **109** soporta una porción del peso de la persona **187** mediante el dispositivo **150** de interacción con el ser humano.

La **Figura 3** muestra otra realización de la invención en la que el tronco exoesquelético **109** comprende, además, un elemento elástico **116** de cadera configurado para aplicar par entre las barras **114** y **115** para la cadera. Ejemplos de un elemento elástico de cadera incluyen, sin limitación, resorte de tracción, resorte de compresión, resorte de lámina, resorte de gas, resorte neumático, caucho, elastómero, tubo quirúrgico, cuerda elástica y combinaciones de los mismos. La rigidez del elemento elástico **116** de cadera puede ser escogida de modo que su fuerza soporte generalmente el peso de los soportes **101** o **102** para las piernas durante la fase de oscilación.

Algunas realizaciones, según se muestra en la **Figura 3**, también pueden incluir un tope **211** de abducción de la cadera que limite o impida que las barras **114** y **115** para la cadera se abduzcan entre sí. En la realización particular mostrada en la **Figura 3**, se crea el tope **211** de abducción usando un cable de acero. El cable **211** de acero impide que se produzca la abducción de los soportes **101** y **102** para las piernas, pero permite la aducción de los soportes **101** y **102** para las piernas.

Según otra realización de la invención, la **Figura 4** es un dibujo en perspectiva en el que el tronco exoesquelético **109** incluye dos barras **114** y **115** para la cadera conectables de forma giratoria a las barras **103** y **104** para los muslos, que permiten la flexión y la extensión de los soportes **101** y **102** para las piernas con respecto al tronco exoesquelético **109**, en el que las barras **114** y **115** para la cadera están conectadas entre sí de forma flexible, permitiendo la abducción y/o la aducción de los soportes **101** y **102** para las piernas. En el ejemplo mostrado en la **Figura 4**, esto se logra mediante el muelle **153** de lámina.

Según otra realización de la invención, la **Figura 5** es un dibujo en perspectiva en el que el tronco exoesquelético **109** comprende, además, una ménsula **117** de conexión configurada para transferir el peso de la carga posterior **118** al tronco exoesquelético **109**. El tronco exoesquelético **109** comprende, además, dos barras **114** y **115** para la

cadera conectables de forma giratoria a las barras para los muslos que permiten la flexión y la extensión de los soportes **101** y **102** para las piernas con respecto al tronco exoesquelético **109**. Las barras **114** y **115** para la cadera están conectadas de forma giratoria a la ménsula **117** de conexión mediante dos articulaciones **176** y **177** de abducción-aducción de la cadera y giran en torno a dos ejes **178** y **179** de abducción-aducción de la cadera. En algunas realizaciones, los ejes **178** y **179** de abducción-aducción de la cadera son generalmente paralelos entre sí. En algunas realizaciones, las articulaciones **176** y **177** de abducción-aducción de la cadera coinciden entre sí. Además, en algunas realizaciones, como se muestra en la **Figura 6**, las articulaciones **176** y **177** de abducción-aducción de la cadera coinciden entre sí formando la articulación **113** de abducción-aducción de la cadera, y los ejes **178** y **179** de abducción-aducción de la cadera se convierten en un único eje **112** de abducción-aducción de la cadera.

En algunas realizaciones, según se muestra en la **Figura 6**, el tronco exoesquelético **109** comprende, además, elementos elásticos **121** y **122** de abducción-aducción de la cadera configurados para aplicar pares entre las barras **114** y **115** para la cadera y el soporte **117** de conexión. Ejemplos de elementos elásticos de abducción-aducción de la cadera incluyen, sin limitación, resorte de tracción, resorte de compresión, resorte de gas, resorte neumático, caucho, tubo quirúrgico, resortes de lámina, cuerda elástica y combinaciones de los mismos. La rigidez de los elementos elásticos **121** y **122** de abducción-aducción de la cadera puede ser escogida de modo que su fuerza aguante generalmente el peso de los soportes **101** o **102** para las piernas durante la fase de oscilación y ayude a la persona a mantener la carga orientada verticalmente mientras camina. En algunas realizaciones, según se muestra en la **Figura 7**, la ménsula **117** de conexión comprende, además, estructuras de extensión **119** y **120** configuradas para aguantar la carga frontal **154** delante de la persona **187**.

En algunas realizaciones, según se muestra en las **Figuras 1, 5, 6 y 7**, el tronco exoesquelético **109** comprende un dispositivo **150** de interacción con el ser humano, capaz de acoplar la persona **187** al exoesqueleto **100** de las extremidades inferiores. Ejemplos de dispositivo **150** de interacción con el ser humano comprenden un elemento o una combinación de elementos que incluyen, sin limitación, chalecos, cinturones, correas, tirantes de bandolera, bandas torácicas, un molde corporal, un arnés y cinturones. En algunas realizaciones, el dispositivo **150** de interacción con el ser humano transfiere una porción del peso de la persona **187** al tronco exoesquelético **109**. La **Figura 13** muestra una realización en la que el dispositivo **150** de interacción con el ser humano comprende un arnés **229** diseñado especialmente para amoldarse al cuerpo de la persona **187**. El arnés **229** transfiere una porción del peso de la persona **187** al tronco exoesquelético **109**.

En algunas realizaciones, según se muestra en la **Figura 8**, las barras **114** y **115** para la cadera están conectadas de forma flexible a la ménsula **117** de conexión. En la realización mostrada en la **Figura 8**, esto se logra por medio de un miembro elástico **153** de cadera, que, en este caso, es un muelle de lámina.

En algunas realizaciones, según se muestra en la **Figura 8**, el tronco exoesquelético **109** comprende una estructura **180** para mochilas que permite acoplar una mochila al exoesqueleto **100** de las extremidades inferiores. En algunas realizaciones, la estructura **180** para mochilas se conecta a la ménsula **117** de conexión. En esta figura se han omitido los dispositivos **150** de interacción con un ser humano (tales como un cinturón y tirantes de bandolera) en aras de la claridad.

Según otra realización, la **Figura 9** es un dibujo en perspectiva en el que los soportes **101** y **102** para las piernas incluyen, además, las articulaciones **123** y **124** de abducción-aducción del muslo configuradas para permitir la abducción y/o la aducción de los soportes **101** y **102** para las piernas en torno a los ejes **202** y **203**, respectivamente. En algunas realizaciones, las articulaciones **123** y **124** de abducción-aducción del muslo están situadas por debajo de las articulaciones **125** y **126** de flexión-extensión de la cadera. Estas articulaciones se muestran con mayor detalle en la **Figura 10**, que es una vista parcial de la misma realización de la **Figura 9**.

En algunas realizaciones, según se muestra en la **Figura 10**, los soportes **101** y **102** para las piernas comprenden un tope **185** de aducción del muslo que limita o impide que las barras para los muslos se abduzcan en las articulaciones **123** y **124**. Se muestran la abducción y la aducción del soporte **101** para la pierna mediante las flechas **227** y **228**, respectivamente. En la realización particular mostrada en la **Figura 10**, la articulación **123** de abducción-aducción del muslo incluye un tope **185** de aducción del muslo que se apoya en una superficie **186** de tope del muslo. El tope **185** de aducción del muslo limita la aducción de la articulación **123** de abducción-aducción del muslo. La aducción sin restricciones de la articulación **123** de abducción-aducción del muslo, durante la fase de apoyo, haría que la barra **114** para la cadera bajase siguiendo la flecha **204** durante el apoyo, reduciendo (disminuyendo) con ello la carga. Tales articulaciones de solo abducción para las articulaciones **123** y **124** son útiles para permitir que la persona se ponga en cuclillas de forma natural. En algunas realizaciones como la mostrada en las **Figuras 9 y 10**, tales articulaciones de abducción están generalmente situadas por debajo de las articulaciones **125** y **126** de flexión-extensión de la cadera.

En algunas realizaciones, según se muestra en las **Figuras 9 y 10**, los soportes **101** y **102** para las piernas incluyen, además, articulaciones **127** y **128** de rotación de los muslos configuradas para permitir la rotación de los soportes **101** y **102** para las piernas. Las articulaciones **127** y **128** de rotación están generalmente situadas por encima de las

articulaciones **107** y **108** de rodilla. Las líneas **164** y **165** representan los ejes de rotación de las articulaciones **127** y **128** de rotación. En las **Figuras 10** y **11**, esto se consigue proporcionando un contacto deslizante entre el eje **166** de giro de la cadera y el muñón **168** de giro de la cadera. Las partes incluidas en la articulación que le impiden separarse han sido omitidas en aras de la simplicidad, pero un experto en la técnica se percatará de que hay muchas maneras de retener tales ejes en tales muñones.

En algunas realizaciones, según se muestra en la **Figura 11**, las articulaciones **127** y **128** de rotación comprenden, además, un elemento elástico **129** de rotación. Este elemento elástico de rotación actúa como un resorte de torsión y proporciona un par antagonista que generalmente devuelve el soporte para la pierna a la posición neutral mostrada en la **Figura 9**. El elemento elástico **129** de rotación puede ser construido de muchas maneras, siendo ventajosa la particular sección transversal mostrada en la **Figura 11** cuando se usa un material elastómero para construir el elemento. El elemento elástico **129** de rotación es mostrado parcialmente desviado con fines ilustrativos.

Además, en algunas realizaciones, según se muestra en la **Figura 10** y la **Figura 11**, los soportes **101** y **102** para las piernas comprenden, además, mecanismos **131** y **132** de compresión-elongación configurados para cambiar la distancia entre el tronco exoesquelético **109** y la respectiva articulación **107** y **108** de flexión-extensión de la rodilla. En algunas realizaciones, los mecanismos **131** y **132** de compresión-elongación permiten cambios en la distancia entre las articulaciones **125** y **126** de flexión-extensión de la cadera y la respectiva articulación **107** y **108** de flexión-extensión de la rodilla. Los mecanismos de compresión-elongación se contraen porque el eje **166** de giro de la cadera se desliza más hacia el interior del muñón **168** de giro de la cadera (mostrado únicamente para la pierna **101**). Se permite que el elemento elástico **129** de rotación de la pierna se deslice al interior de una cavidad vacía **170**. En algunas realizaciones, los mecanismos **131** y **132** de compresión-elongación comprenden, además, un elemento elástico **133** de compresión-elongación de la pierna. Este elemento elástico de compresión-elongación de la pierna actúa como un resorte y proporciona una fuerza de recuperación que generalmente devuelve el soporte para la pierna a una configuración neutral. Esto se ilustra en la realización de la **Figura 11** mediante un muelle helicoidal de compresión.

En algunas realizaciones, según se muestra en la **Figura 12**, el exoesqueleto **100** de las extremidades inferiores comprende, además, dos elementos elásticos de oscilación configurados para aplicar par entre las barras para los muslos y el tronco exoesquelético **109**. En operación, el elemento elástico **221** de oscilación empuja el soporte **101** para la pierna hacia delante siguiendo a las flechas **222** durante la fase de oscilación. Esto permite que la persona oscile las barras para los muslos hacia delante con menos esfuerzo. En algunas realizaciones, el elemento elástico **221** de oscilación es un muelle de gas. El muelle **221** de gas incluye un pistón **223** de muelle de gas y un cilindro **224** de muelle de gas. En operación, la fuerza del gas comprimido **225** del cilindro **224** de muelle de gas fuerza al pistón **223** del muelle de gas contra la leva **226**, empujando con ello al soporte **101** para la pierna siguiendo la flecha **222**. Ejemplos de un elemento elástico **221** de oscilación incluyen, sin limitación, un resorte de tracción, un resorte de compresión, un muelle de lámina, un muelle de gas, un muelle neumático, caucho, elastómero, tubo quirúrgico, cuerda elástica y combinaciones de los mismos. La rigidez del elemento elástico **221** de oscilación puede ser escogida de modo que dé un nivel apropiado de comodidad.

En algunas realizaciones, según se muestra en la **Figura 9**, la cubierta **171** del tronco exoesquelético puede cubrir algunos componentes del tronco exoesquelético **109**, incluyendo partes de las barras **114** y **115** para la cadera. La operación del tronco exoesquelético es igual que en las **Figuras 3** o **6**, dependiendo de la elección preferida del elemento elástico **116** de cadera o de los elementos elásticos **121** y **122** de abducción-aducción de la cadera.

En algunas realizaciones, según se muestra en la **Figura 9**, las barras para los muslos comprenden dispositivos **135** y **136** de sujeción de los muslos configurados para permitir que la persona **187** se acople a los soportes **101** y **102** para las piernas. Cada dispositivo **135** o **136** de sujeción de los muslos comprende un elemento o una combinación de elementos que incluyen, sin limitación, correas, barras, ménsulas con forma de C, un molde corporal y elastómeros. En algunas realizaciones, según se muestra en la **Figura 1**, las barras **105** y **106** para las pantorrillas incluyen o comprenden los dispositivos **137** y **138** de sujeción configurados para permitir que la persona **187** se acople a los soportes **101** y **102** para las piernas. Cada dispositivo **137** y **138** de sujeción de la pantorrilla comprende un elemento o una combinación de elementos que incluyen, sin limitación, correas, barras, ménsulas con forma de C, un molde corporal y elastómeros.

En algunas realizaciones, según se muestra en la **Figura 9**, los soportes **101** y **102** para las piernas comprenden, además, pies exoesqueléticos **139** y **140** acoplados a las barras **105** y **106** para las pantorrillas, respectivamente, que permiten la transferencia de fuerzas de las barras **105** y **106** para las pantorrillas al suelo. En operación, los pies exoesqueléticos **139** y **140** son configurables para ser acoplados a los pies de la persona **187**. En algunas realizaciones, según se muestra en la **Figura 9**, se logra el acoplamiento de los pies de la persona usando fijaciones **205** y **206** de tipo abatible (concha de almeja) a veces encontradas en raquetas modernas de nieve. Sin embargo, hay muchos métodos para efectuar tal conexión, como puede verse en diferentes tipos de esquís para la nieve, en tablas de nieve, en raquetas de nieve y otros dispositivos de ese tipo. En algunas realizaciones, según se muestra en la **Figura 14**, los pies exoesqueléticos **139** y **140** comprenden zapatos exoesqueléticos **188** y **189** que puede llevar puestos la persona **187**, permitiendo con ello que los pies exoesqueléticos **139** y **140** se acoplen con los pies

de la persona **187**. En algunas realizaciones, según se muestra en la **Figura 15**, los pies exoesqueléticos **139** y **140** comprenden plantillas exoesqueléticas **157** y **158** insertables en los zapatos de la persona, lo que permite que los pies exoesqueléticos **139** y **140** se acoplen con los pies de la persona **187**. Las plantillas **157** y **158** son flexibles y, por lo tanto, pueden doblarse para coincidir con la curvatura del pie humano durante maniobras tales como ponerse en cuclillas. Además, los soportes laterales **212** de las plantillas son flexibles o están configurados de modo que incluyan grados de libertad para imitar el movimiento del tobillo humano.

En algunas realizaciones, según se muestra en la **Figura 9**, los pies exoesqueléticos **139** y **140** están acoplados de forma flexible a las barras **105** y **106** para las pantorrillas. Esto se logra usando elementos elásticos **181** y **182** de tobillo. La **Figura 16** muestra una vista en primer plano de unos pies exoesqueléticos **139**. En este ejemplo, los elementos elásticos **181** (y **182**) de tobillo están contruidos cada uno de una articulación metálica **231** de rótula esférica rodeada por un elemento elastómero **230** con forma tórica, lo que crea flexibilidad en todas las direcciones de las rotaciones.

En algunas realizaciones, los pies exoesqueléticos **139** y **140** giran en torno a dos ejes de flexión dorsiplantar con respecto a las barras **105** y **106** para las pantorrillas. La **Figura 17** muestra una realización de este tipo de exoesqueleto en el que el eje **172** de flexión dorsiplantar del tobillo es generalmente paralelo al eje de flexión dorsiplantar del tobillo humano. En algunas realizaciones, cada soporte para la pierna comprende, además, al menos un elemento elástico **141** de flexión dorsiplantar del tobillo que resiste la rotación del respectivo pie exoesquelético en torno al eje **172** de flexión dorsiplantar del tobillo.

En algunas realizaciones, según se muestra en la **Figura 18**, los pies exoesqueléticos **139** y **140** giran en torno a dos ejes **174** de abducción-aducción del tobillo con respecto a las barras **105** y **106** para las pantorrillas. La **Figura 18** muestra una realización de este tipo de exoesqueleto en la que el eje **174** de abducción-aducción del tobillo es generalmente paralelo al eje de abducción-aducción del tobillo humano. En algunas realizaciones, cada soporte para la pierna comprende, además, al menos un elemento elástico **142** de abducción-aducción del tobillo que resiste la rotación del pie exoesquelético **139** en torno al eje **174** de abducción-aducción del tobillo.

En algunas realizaciones, según se muestra en la **Figura 19**, los pies exoesqueléticos **139** and **140** giran en torno a dos ejes **147** y **148** de rotación del tobillo con respecto a las barras **105** y **106** para las pantorrillas. En algunos casos, esto se logra usando una articulación **207** de rotación de la pantorrilla, que funciona de forma similar a la articulación **127** de rotación de la pierna. La **Figura 19** muestra una realización de este tipo de exoesqueleto en el que el eje **147** de rotación del tobillo es generalmente paralelo al eje de rotación del tobillo humano. En algunas realizaciones, pueden incluirse elementos elásticos en el tobillo para resistir la rotación del pie exoesquelético **139** en torno al eje **147** de rotación del tobillo.

En algunas realizaciones, según se muestra en la **Figura 22**, hay integrados sensores **160** de pie en los pies exoesqueléticos **139** y **140**. En algunas realizaciones, según se muestra en la **Figura 22**, el sensor **160** de pie es un sensor de presión que mide la presión en un medio **191** atrapado en una cavidad **192** del sensor de pie dentro del pie exoesquelético **139**. La **Figura 16** muestra una realización en la que se usa un tubo como cavidad **192** del sensor de pie. El sensor **160** de presión mide la presión en un medio **191** atrapado en una cavidad **192** del sensor de pie. En algunos casos, la señal **219** de apoyo puede adoptar la forma del propio medio **191** portado en un tubito desde la cavidad **192** al procesador **159** de señales.

La **Figura 23** muestra otra realización en la que el sensor **160** de pie es un sensor de fuerza conectable al pie exoesquelético **139**. En algunas realizaciones, según se muestra en la **Figura 24**, el sensor **160** de pie está situado dentro del zapato humano como una plantilla y su señal de salida representa la fuerza en la planta del pie humano. Este tipo sería particularmente útil en realizaciones de la invención como las mostradas en las **Figuras 14** o **15**. En algunas realizaciones, según se muestra en la **Figura 25**, el sensor **160** de pie está conectado a la suela del zapato humano y detecta la fuerza en la planta del pie humano. En algunas realizaciones, según se muestra en la **Figura 26**, el sensor **160** de pie está situado dentro de la suela de un zapato humano y detecta la fuerza en la planta del pie humano.

El sensor **160** de pie comprende cualquier sensor o combinación de sensores capaces de llevar a cabo las funciones indicadas. Ejemplos de sensor **160** de pie incluyen, sin limitación, sensores de fuerza, sensores de fuerza basados en medidor de deformación, sensores de fuerza piezoeléctricos, resistencias detectoras de fuerza, sensores de presión, interruptores, interruptores de cinta y combinaciones de los mismos. En algunas realizaciones, el sensor **160** de pie es un interruptor que representa la existencia de una fuerza mayor que cierta fuerza umbral en la planta del pie de la persona **187**.

En algunas realizaciones, el exoesqueleto **100** de las extremidades inferiores incluye, además, dos elementos flexibles que conectan las barras para los muslos al tronco exoesquelético **109**, ayudando al operario a hacer oscilar la pierna hacia delante. Esto permite que el operario oscile las barras para los muslos hacia delante con menos esfuerzo. La **Figura 27** muestra una realización de la invención en la que el resorte de tracción **233** conecta la barra **103** para el muslo a la barras **114** para la cadera por medio de la estructura ajustable **119**. De manera similar, el

resorte de tracción **234** conecta la barra **104** para el muslo a la barra **115** para la cadera por medio de la estructura ajustable **120**.

En la **Figura 21** también se muestra una articulación adicional **235** de abducción-aducción del muslo que se incluye para permitir que la pierna sea guardada en posición vertical cuando el exoesqueleto no está en uso pero necesita ser transportado. El soporte **101** para la pierna puede abducirse a lo largo del eje **237**. Esto puede ser deseable si el operario ya no tiene que llevar una carga muy pesada pero necesita transportar el exoesqueleto **100** de las extremidades inferiores. En ese caso, el operario puede soltar el soporte **101** para la pierna derecha del exoesqueleto y hacer oscilar la pierna hacia fuera desde su propio cuerpo hasta que el pie exoesquelético **139** derecho esté en el aire sobre la cabeza del operario. A continuación, doblando la articulación **107** de la rodilla derecha y/o girando la articulación **127** de rotación de la pierna derecha, la pierna puede ser colocada de modo que se guarde detrás del operario, según se muestra en la **Figura 36**. Esto es posible porque la articulación **123** de abducción-aducción del muslo derecho y la articulación adicional **235** de abducción-aducción del muslo derecho permiten a cada una hacer una rotación de aproximadamente noventa grados en torno al eje **202** de abducción-aducción del muslo derecho y al eje adicional **237** de abducción-aducción del muslo derecho, respectivamente. Por lo tanto, la abducción total posible es de más de 180 grados. Esto podría lograrse con una articulación de abducción-aducción del muslo que tenga 180 grados de recorrido, pero diseñar tal articulación obligaría al diseñador a mover el centro de giro de la articulación muy hacia fuera del operario, lo que daría como resultado el diseño de un exoesqueleto más ancho. Esto es poco deseable, pero es un diseño alternativo viable.

Aunque se han descrito diversas realizaciones ejemplares, las personas expertas en la técnica apreciarán que pueden realizarse numerosas variaciones y/o modificaciones al dispositivo descrito según es mostrado aquí de manera específica sin apartarse del alcance de la invención según se define en las reivindicaciones. Por lo tanto, ha de considerarse que los diversos ejemplos son, en todos los aspectos, ilustrativos y no restrictivos.

REIVINDICACIONES

1. Un exoesqueleto (100) de las extremidades inferiores, configurable para ser acoplado a una persona (187), comprendiendo dicho exoesqueleto de las extremidades inferiores:

dos soportes (101, 102) para las piernas configurables para ser acoplados a las extremidades inferiores de dicha persona y configurados para reposar sobre el suelo durante sus fases de apoyo al lado de los pies de dicha persona, que reposan sobre el suelo, comprendiendo cada uno de dichos soportes para las piernas una barra articulada (103, 104) para el muslo y una barra articulada (105, 106) para la pantorrilla, y estando dispuestos dichos dos soportes para las piernas, durante sus fases de apoyo, para transferir fuerzas desde sus barras para las pantorrillas al suelo;

dos articulaciones (107, 108) de rodilla, configurada cada una para permitir la flexión y la extensión entre la respectiva barra para la pantorrilla y la respectiva barra para el muslo; y

un tronco exoesquelético (109) configurable para ser acoplado a la parte superior del cuerpo de dicha persona, conectable de forma giratoria a dichas barras para los muslos de dichos soportes para las piernas, permitiendo la flexión y la extensión entre dichos soportes para las piernas y dicho tronco exoesquelético;

dos generadores (110, 111) de par acoplados a dichas articulaciones de rodilla; y

un grupo motor (201) capaz de proporcionar potencia, acoplado a dichos generadores de par, estando configurado el grupo motor para operar en al menos dos modos para cada generador de par, incluyendo dicho grupo motor un subcomponente (240) de inyección de potencia, capaz de inyectar potencia al generador de par, y un subcomponente (200) de disipación de potencia, capaz de disipar potencia del generador de par, en el que: cuando dicho grupo motor opera en su primer modo con respecto a uno de dichos generadores de par, dicho grupo motor inyecta potencia en uno de dichos generadores de par para extender un respectivo ángulo de rodilla definido entre la respectiva barra para la pantorrilla y la respectiva barra para el muslo, y cuando dicho grupo motor opera en su segundo modo con respecto a uno de dichos generadores de par, la energía requerida para dicha flexión y dicha extensión entre la respectiva barra para la pantorrilla y la respectiva barra para el muslo de dicho correspondiente soporte para la pierna, en un movimiento cíclico de rodilla, es proporcionada por dicha persona, pero dicho grupo motor hace que uno de dichos generadores de par resista la flexión.

2. El dispositivo de la reivindicación 1, en el que dicho grupo motor opera, además, en un tercer modo con respecto a un generador de par, en el que: cuando dicho grupo motor opera en dicho tercer modo con respecto a uno de dichos generadores de par, la energía requerida para dicha flexión y dicha extensión entre la barra para la pantorrilla y la respectiva barra para el muslo de dicho correspondiente soporte para la pierna, en un movimiento cíclico de rodilla, es proporcionada por dicha persona, y en el que se minimiza la resistencia del generador de par a la flexión y la extensión de la rodilla.

3. El dispositivo de la reivindicación 1, en el que la energía requerida para el movimiento de flexión y extensión entre una barra para el muslo y dicho tronco exoesquelético, en un movimiento cíclico de cadera, es proporcionada por dicha persona.

4. El exoesqueleto de las extremidades inferiores de la reivindicación 2, comprendiendo dicho exoesqueleto de las extremidades inferiores al menos un sensor de pie por cada uno de dichos soportes para las piernas, que produce una señal de apoyo que representa la fuerza sobre la planta de cada pie de la persona, y en el que dicho grupo motor controla dichos generadores de par en función de dichas señales de apoyo.

5. El exoesqueleto de las extremidades inferiores de la reivindicación 4, comprendiendo dicho exoesqueleto de las extremidades inferiores, además, al menos un sensor de ángulo por cada uno de dichos soportes para las piernas que produce una señal de ángulo que representa el ángulo de rodilla, controlando dicho grupo motor a dichos generadores de par en función de dichas señales de ángulo.

6. El dispositivo de la reivindicación 5, en el que dicho grupo motor opera en dicho primer modo con respecto a uno de dichos generadores de par cuando dicha correspondiente señal de apoyo indica la presencia de una fuerza en la planta del correspondiente pie humano y dicho correspondiente sensor de ángulo detecta que dicho correspondiente soporte para la pierna está ya sea doblado o en una postura para subir escaleras o una pendiente.

7. El dispositivo de la reivindicación 5, en el que dicho grupo motor opera en dicho segundo modo con respecto a uno de dichos generadores de par cuando dicha correspondiente señal de apoyo indica la presencia de una fuerza en la planta del correspondiente pie humano y dicha correspondiente señal de ángulo indica que dicho correspondiente soporte para la pierna no está ni doblado ni en una postura para subir escaleras o una pendiente.

8. El dispositivo de la reivindicación 4, en el que dicho grupo motor opera en dicho tercer modo con respecto a uno de dichos generadores de par cuando dicha correspondiente señal de apoyo detecta que un soporte para la pierna está en una fase de oscilación.

9. El dispositivo de la reivindicación 1, en el que dicho generador de par comprende un generador hidráulico de par, y en el que dicho grupo motor, capaz de proporcionar potencia hidráulica, incluye una circuitería hidráulica conectable a dichos generadores hidráulicos de par, estando configurada dicha circuitería hidráulica para controlar dichos generadores hidráulicos de par modulando el flujo de fluido hidráulico dirigido a dichos generadores hidráulicos de par y procedente de los mismos.

10. El dispositivo de la reivindicación 9, en el que dicha circuitería hidráulica comprende una bomba hidráulica acoplada a un motor, en el que cuando dicho grupo motor opera en dicho primer modo con respecto a uno de dichos generadores de par, dicha bomba hidráulica inyecta fluido hidráulico en ese generador de par que hace que se extienda la articulación de rodilla de dicho correspondiente soporte para la pierna.

11. El dispositivo de la reivindicación 10, en el que dicha circuitería hidráulica comprende, además, una válvula accionada de restricción del flujo, en el que cuando dicho grupo motor opera en dicho segundo modo con respecto a uno de dichos generadores de par, dicha válvula accionada de restricción del flujo restringe el flujo de fluido procedente de ese generador de par.

12. El dispositivo de la reivindicación 11, en el que cuando dicho grupo motor opera en un tercer modo con respecto a uno de dichos generadores de par, dicha válvula accionada de restricción del flujo se abre y permite un flujo de fluido hidráulico de mínima resistencia entre ese generador de par y una fuente de fluido hidráulico.

13. El dispositivo de la reivindicación 10, en el que dicho motor es un motor eléctrico, en el que cuando dicho grupo motor opera en un modo de regeneración de potencia con respecto a uno de dichos generadores de par, ese generador de par inyecta fluido hidráulico en dicha bomba hidráulica, que entonces actúa como un motor hidráulico, haciendo que dicho motor eléctrico, que entonces actúa como generador eléctrico, genere electricidad.

14. El dispositivo de la reivindicación 1, en el que dicho tronco exoesquelético está configurado para aguantar una carga posterior detrás de dicha persona cuando dicho tronco exoesquelético está acoplado a la parte superior del cuerpo de dicha persona.

15. El dispositivo de la reivindicación 1, en el que dicha barra para el muslo de cada uno de dichos soportes para las piernas incluye, además, una articulación de abducción-aducción del muslo configurada para permitir la abducción de dicho respectivo soporte para la pierna.

16. El dispositivo de la reivindicación 1, que, además, comprende dos elementos elásticos de oscilación configurados para aplicar un par entre dichas barras para los muslos y dicho tronco exoesquelético.

17. El dispositivo de la reivindicación 1, en el que cada uno de dichos soportes para las piernas comprende, además, un pie exoesquelético configurado para ser acoplado al respectivo pie de dicha persona y acoplado a dicha respectiva barra para la pantorrilla para permitir la transferencia de fuerzas desde dicha barra para la pantorrilla al suelo.

18. Un método de operación de un exoesqueleto (100) de las extremidades inferiores según la reivindicación 1, comprendiendo dicho método: acoplar una persona a dicho exoesqueleto; operar automáticamente el grupo motor (201) para permitir la flexión de dicha respectiva articulación de rodilla durante una fase de oscilación que ha de ser accionada por la pierna humana; operar automáticamente el grupo motor para que deje de inyectar potencia en un respectivo generador de par y que resista la flexión de dicha respectiva articulación de rodilla durante la fase de apoyo del respectivo soporte para la pierna cuando una señal indique que dicho soporte para la pierna no está en una postura para subir escaleras o una pendiente; y operar automáticamente el grupo motor para que resista la flexión de dicha respectiva articulación de rodilla e inyecte potencia en el respectivo generador de par durante la fase de apoyo para que se extienda un respectivo ángulo de rodilla cuando una señal indique que dicho soporte para la pierna está en una postura para subir escaleras o una pendiente.

19. El método de la reivindicación 18, que comprende el uso de dicho exoesqueleto de las extremidades inferiores para transportar un objeto, y comprendiendo dicho método, además, acoplar dicho objeto a dicho exoesqueleto.

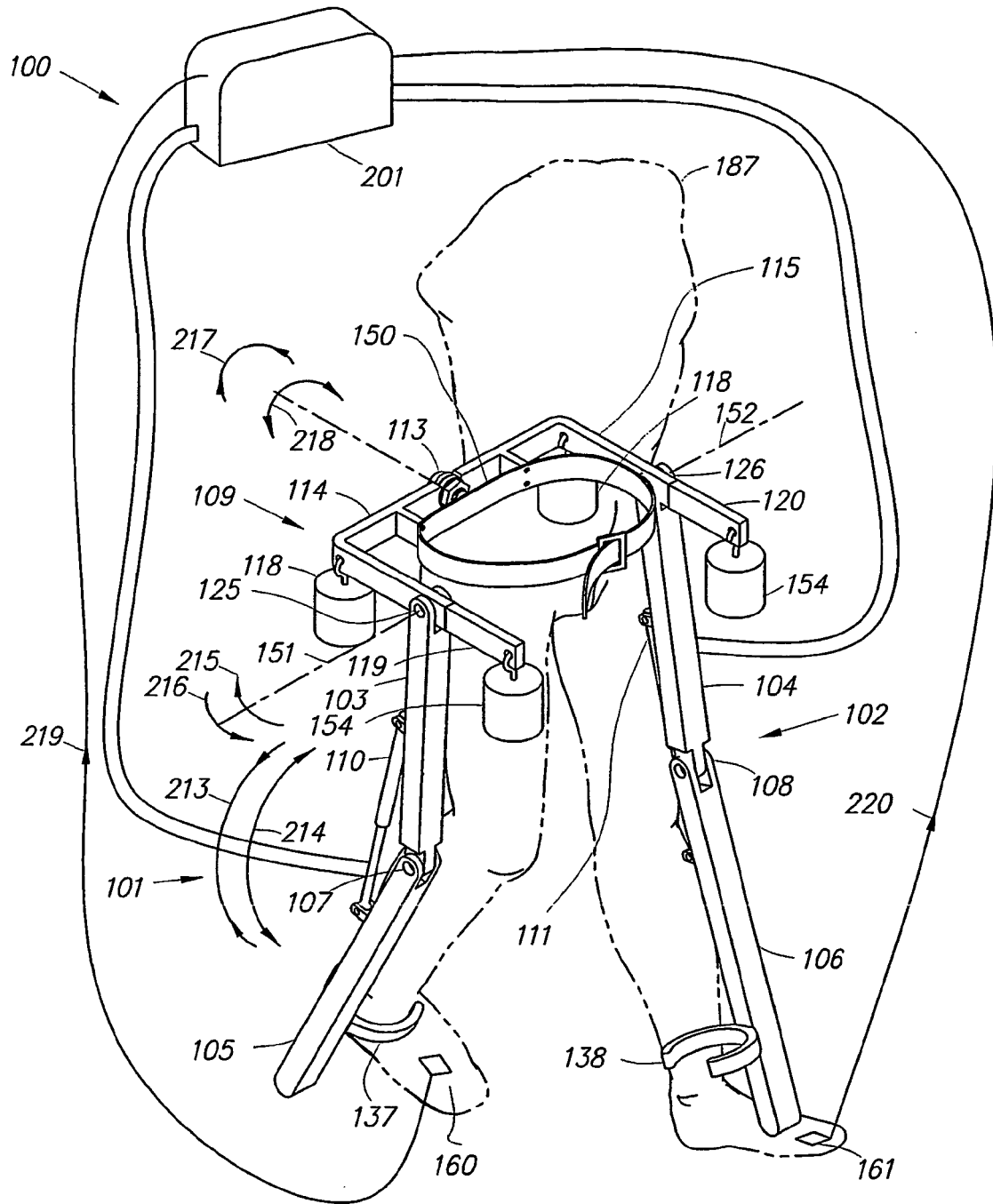


Fig. 1

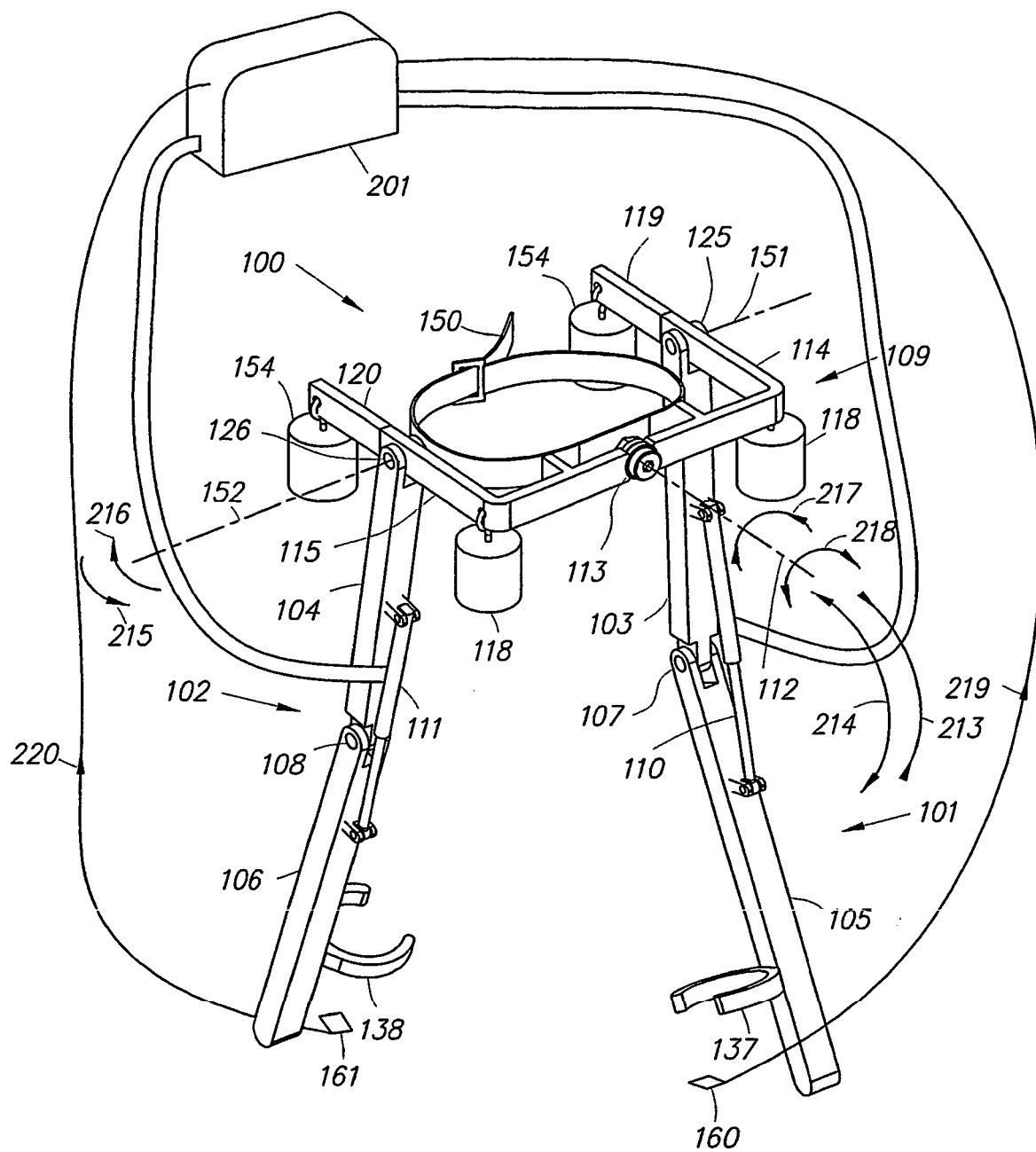


Fig. 2

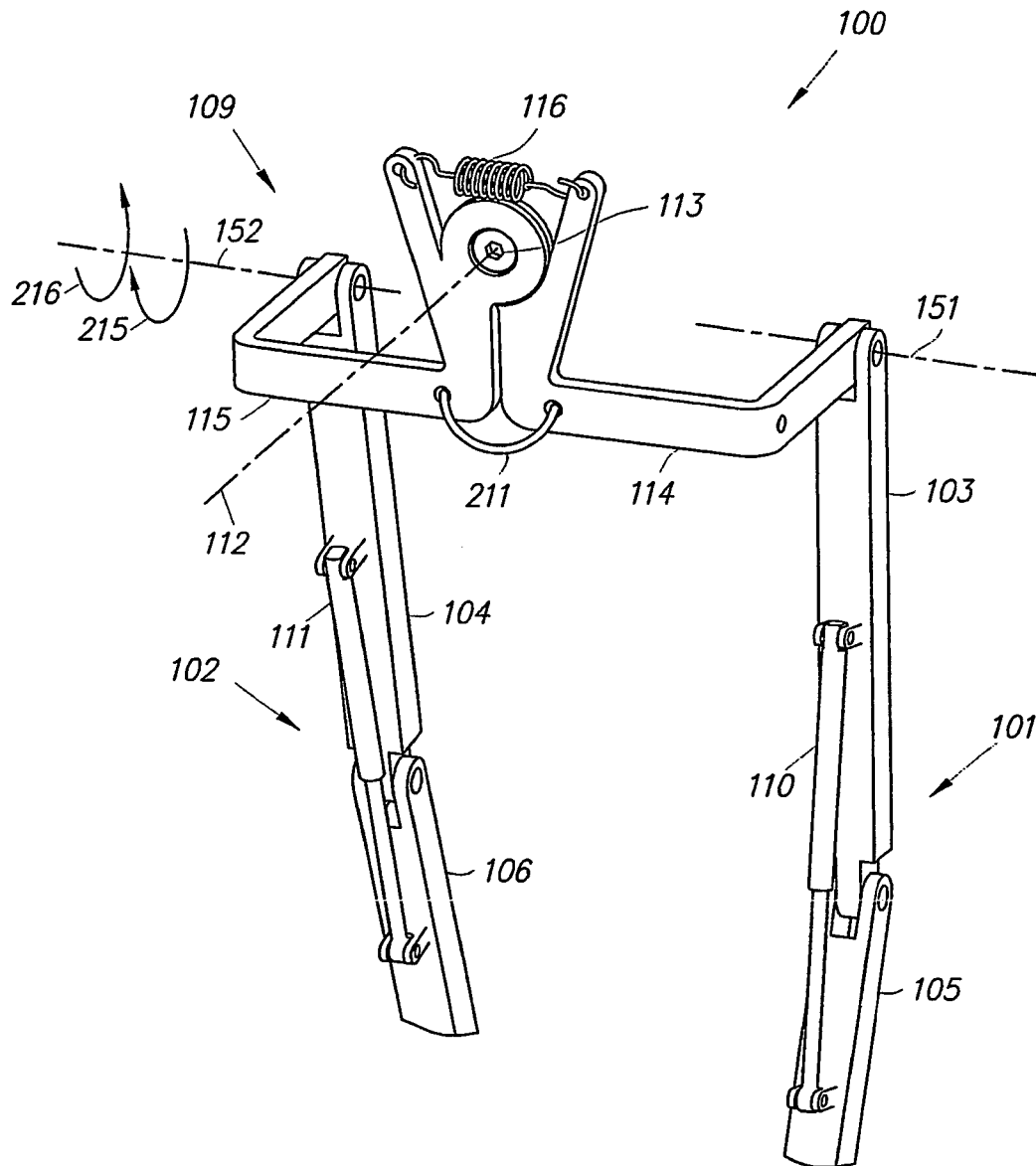


Fig. 3

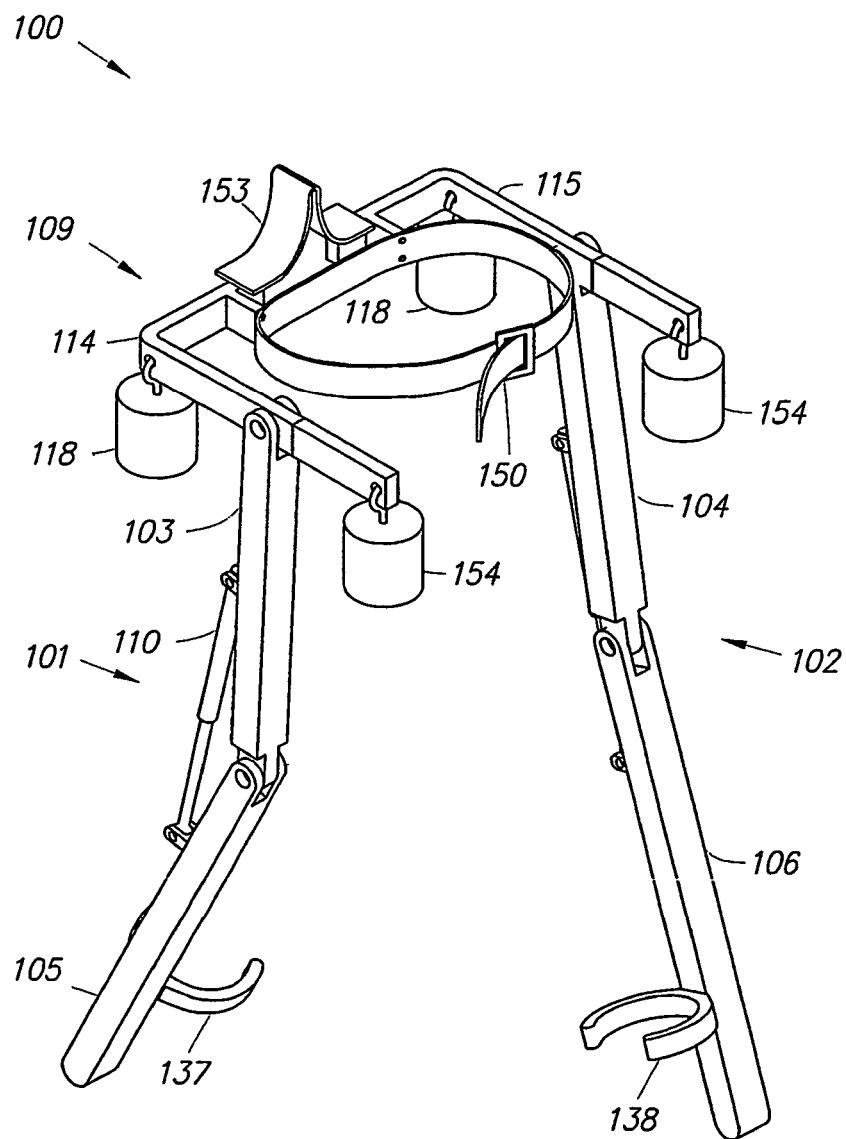


Fig. 4

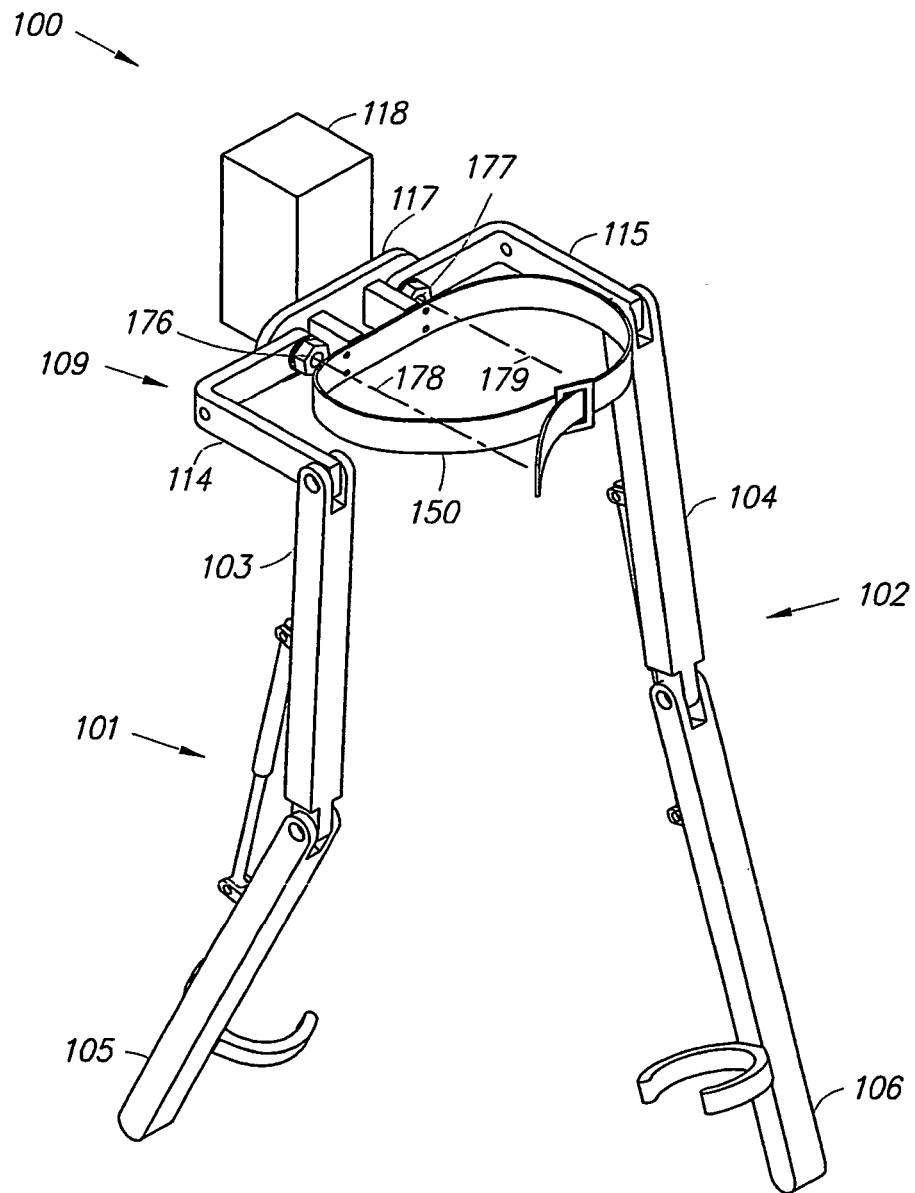


Fig. 5

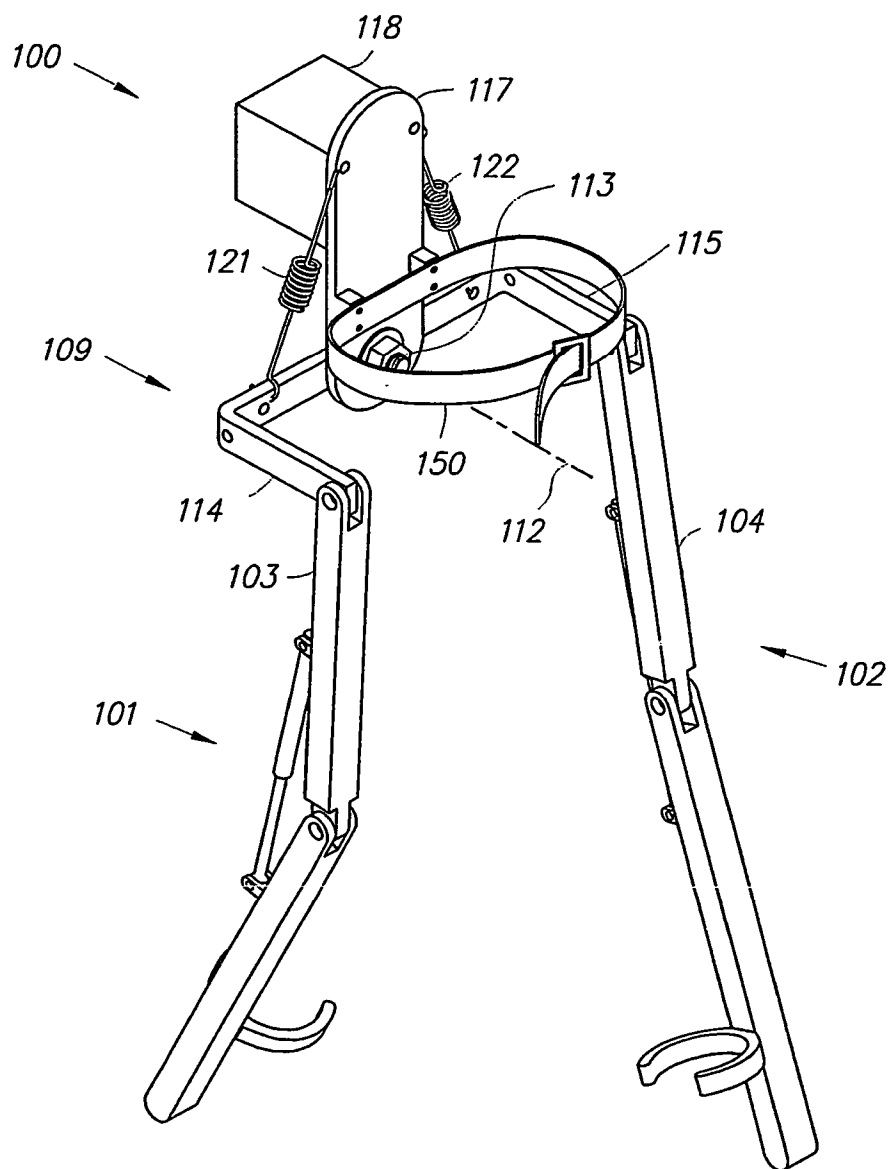


Fig. 6

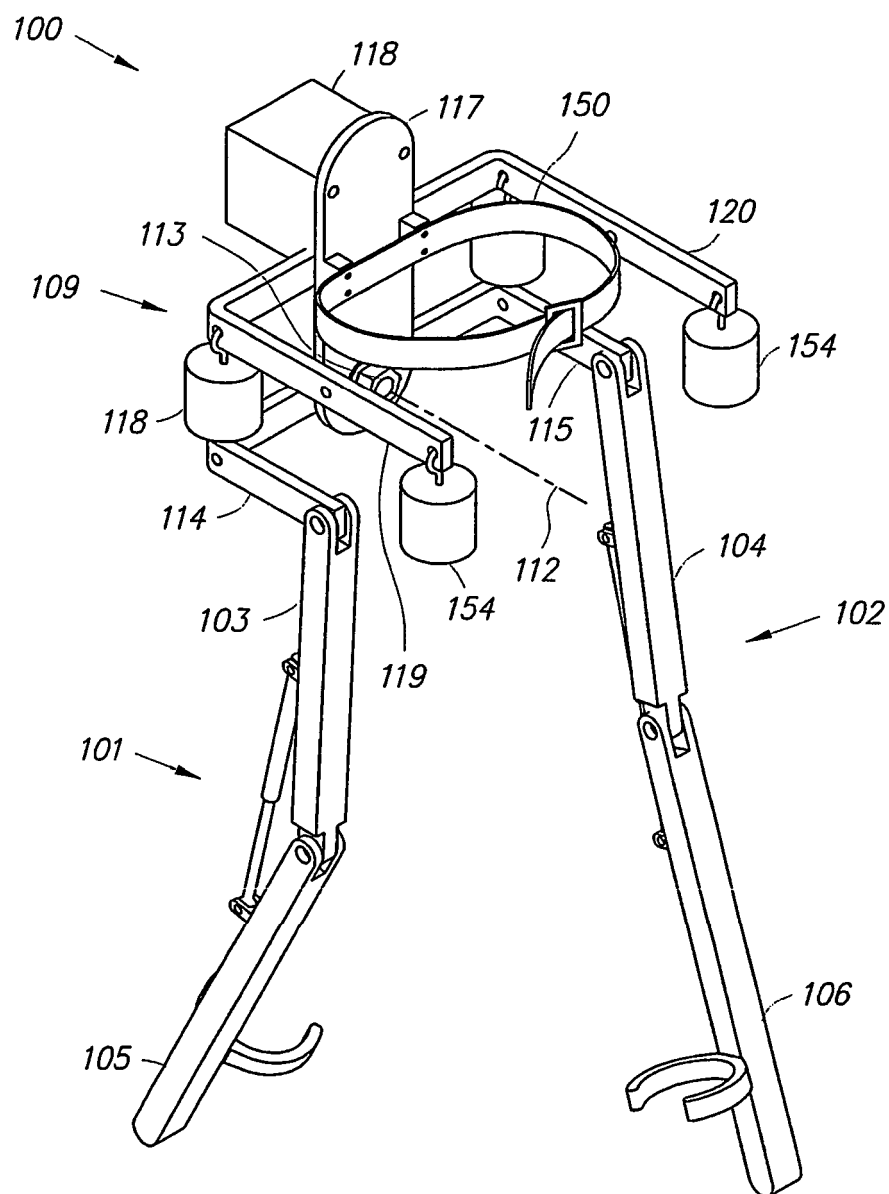


Fig. 7

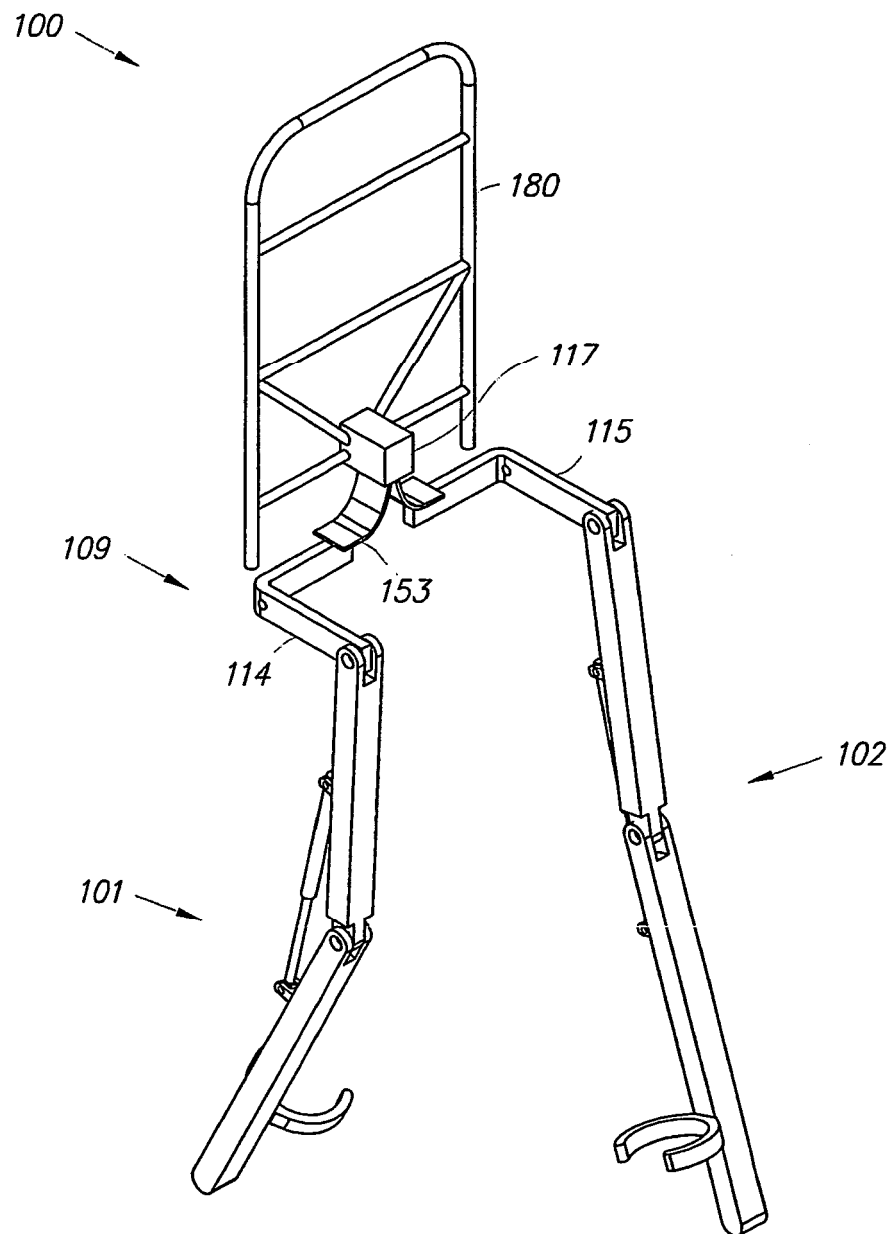


Fig. 8

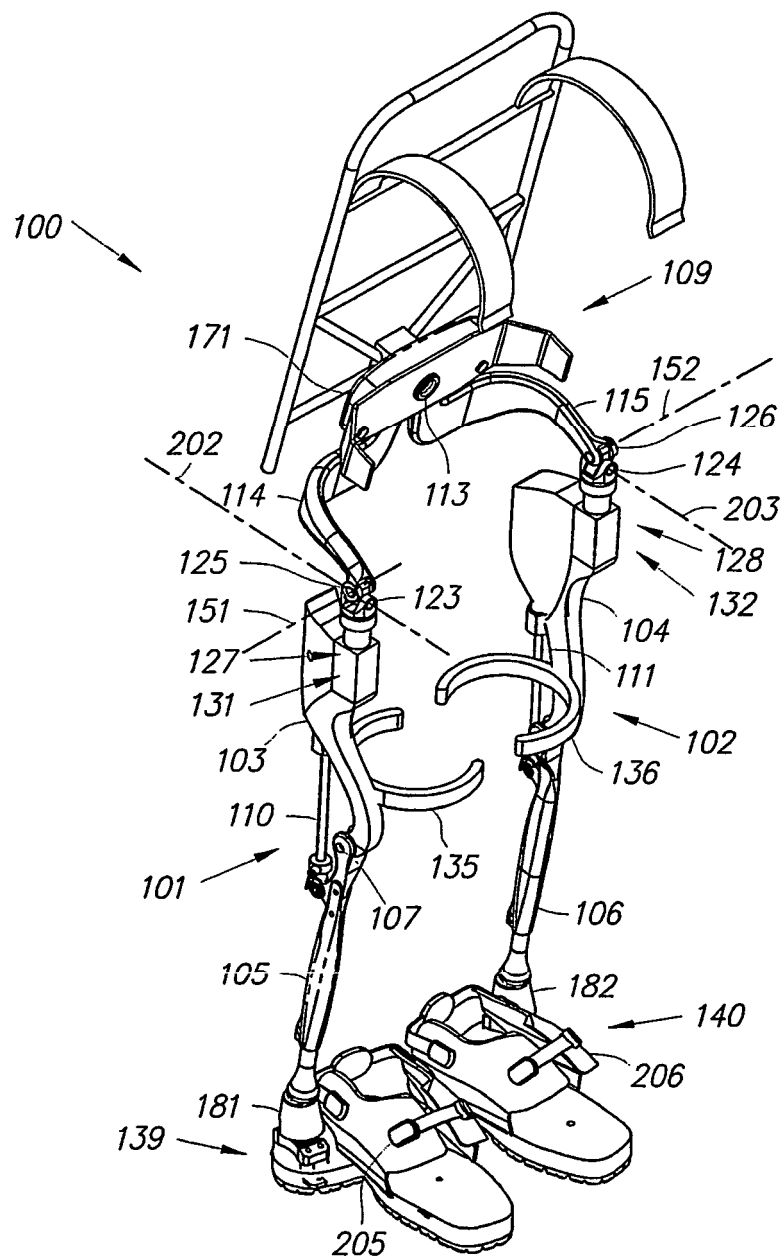


Fig. 9

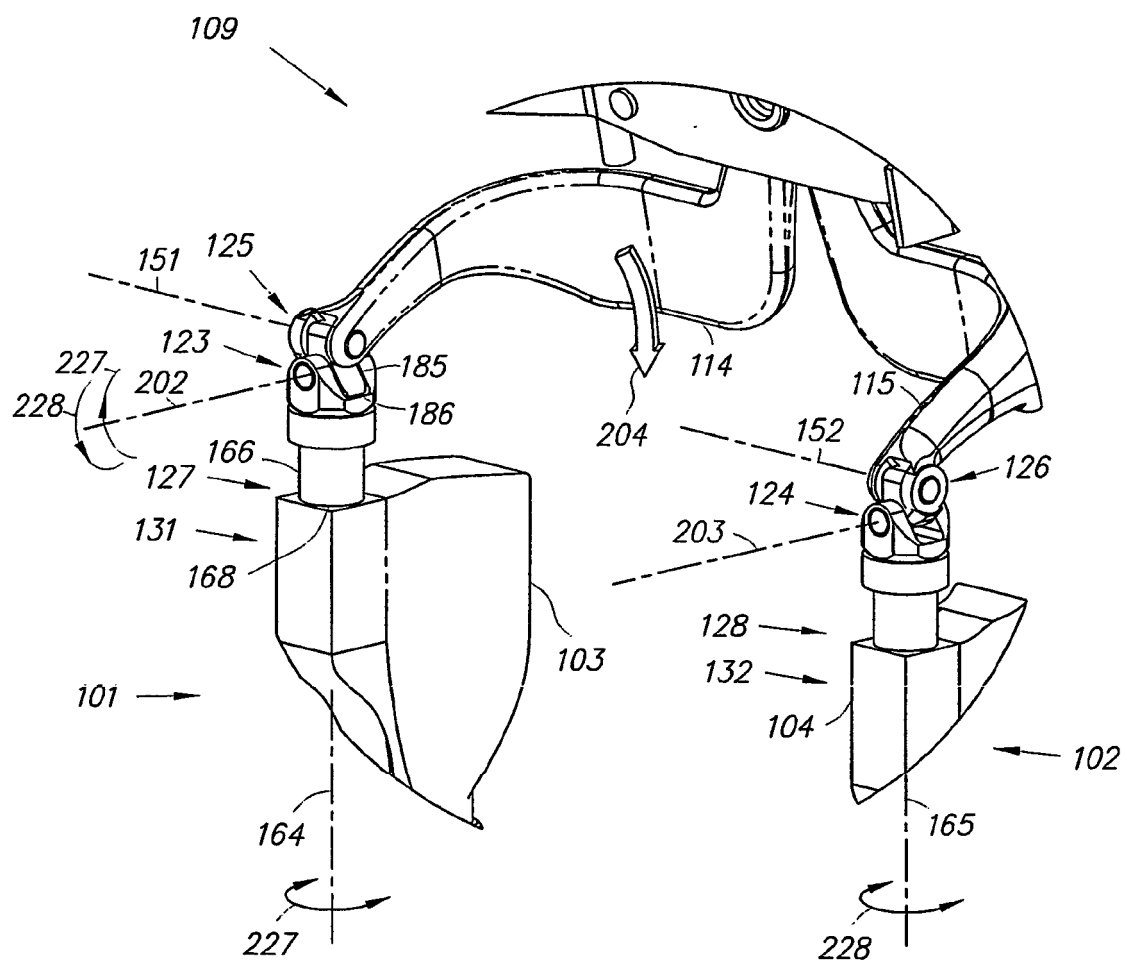


Fig. 10

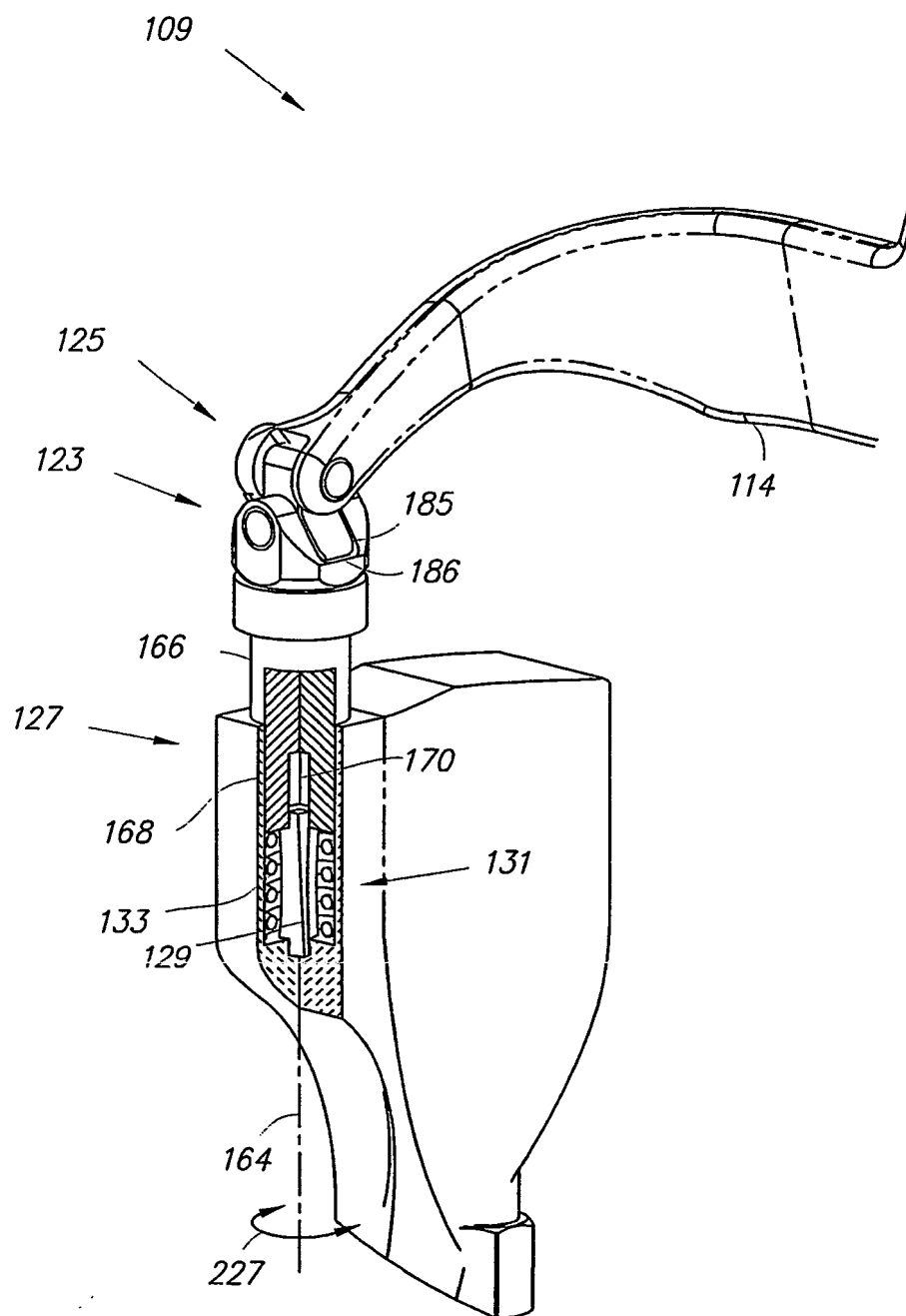


Fig. 11

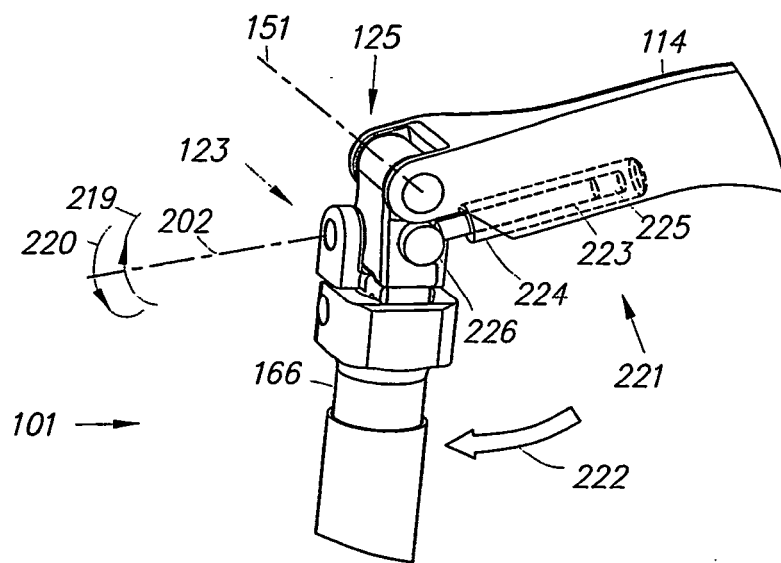


Fig. 12

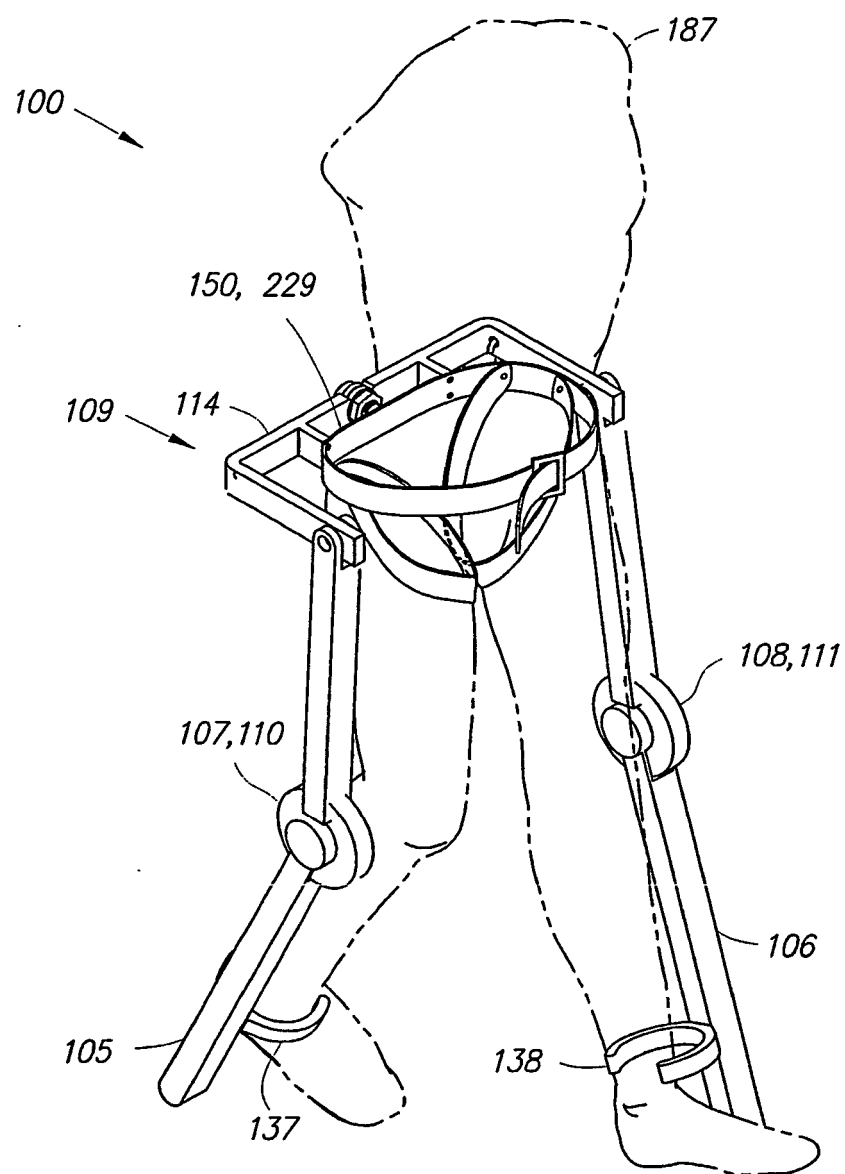


Fig. 13

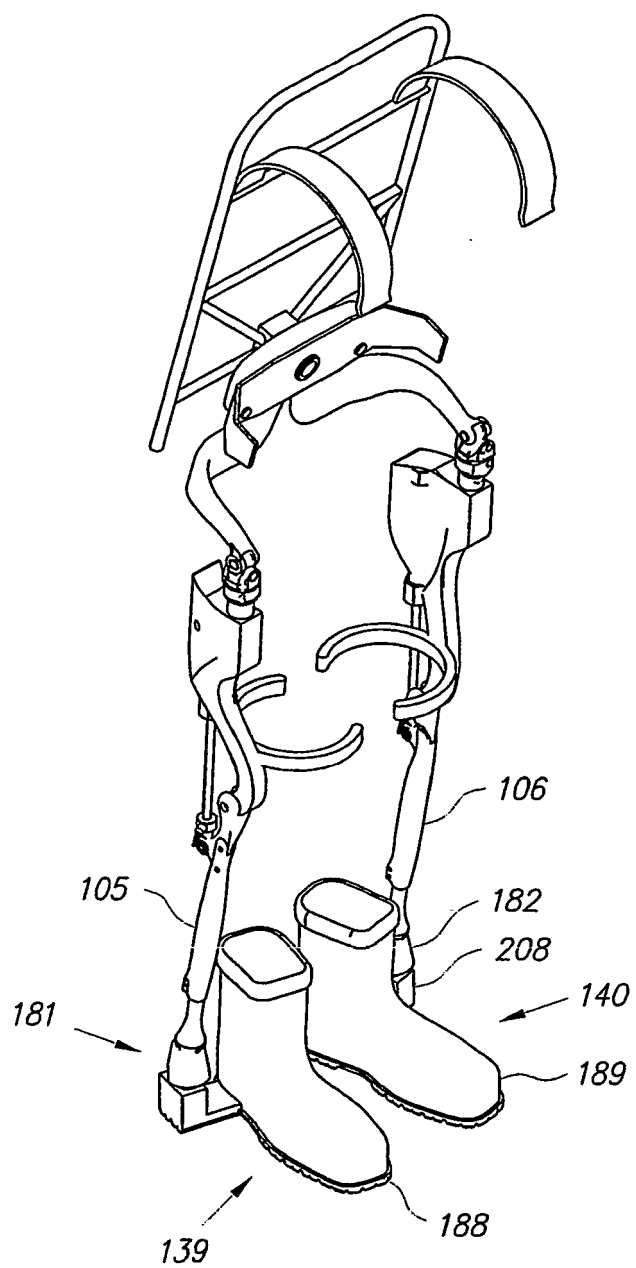


Fig. 14

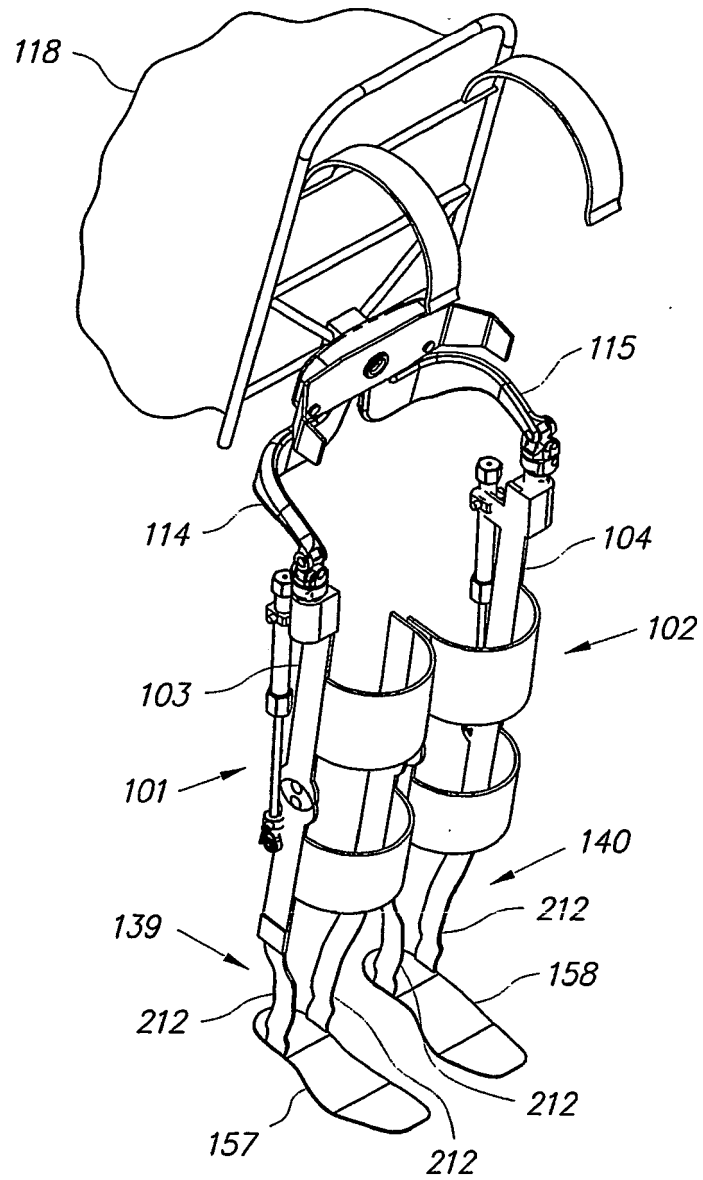


Fig. 15

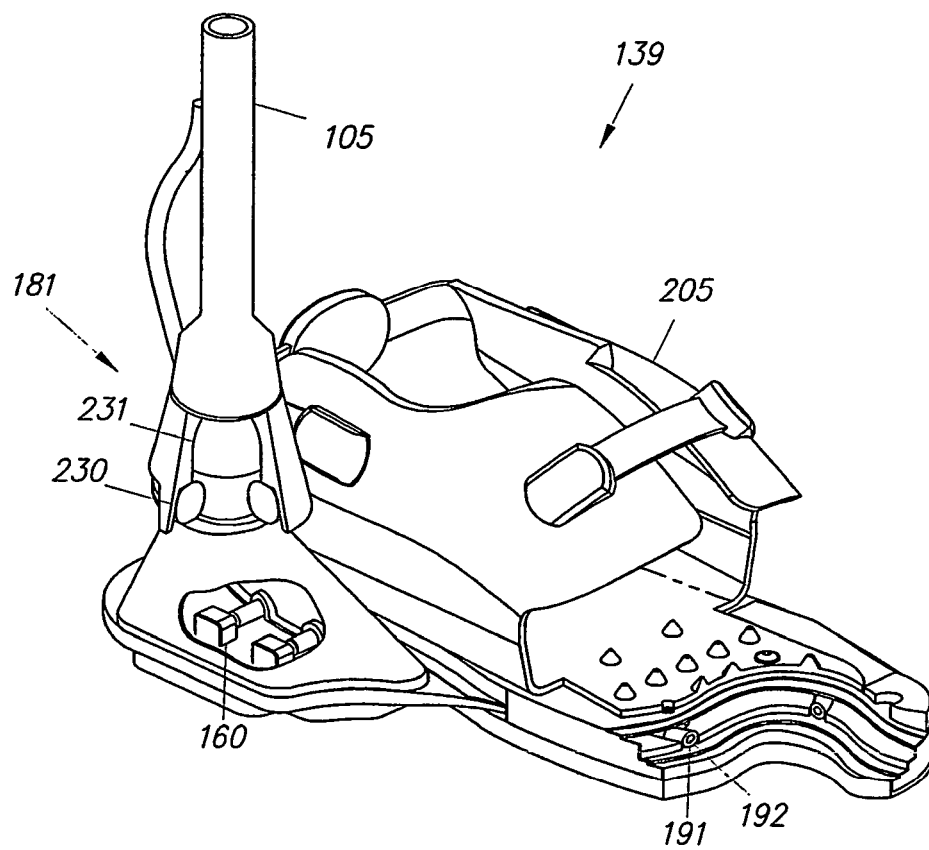


Fig. 16

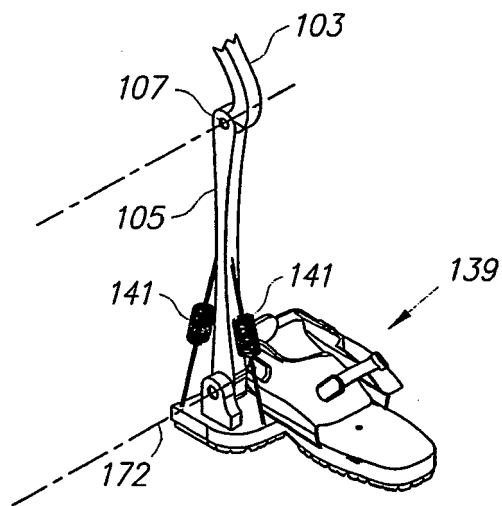


Fig. 17

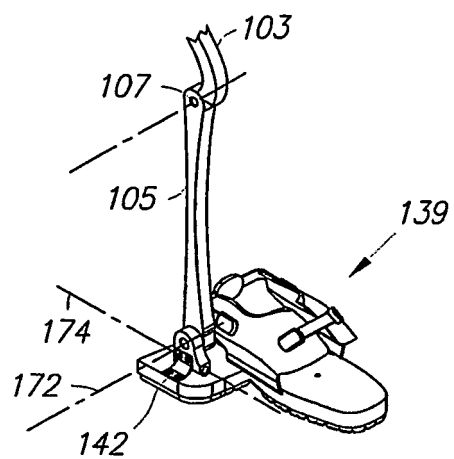


Fig. 18

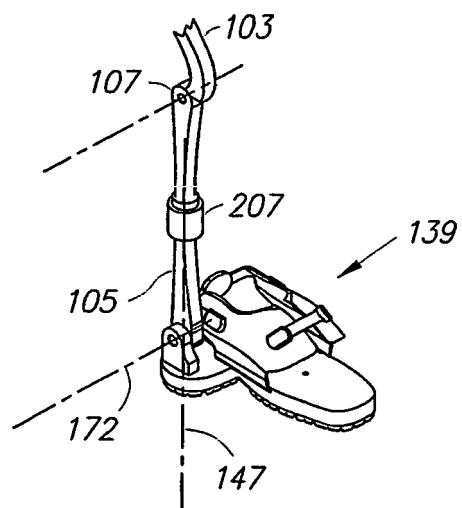


Fig. 19

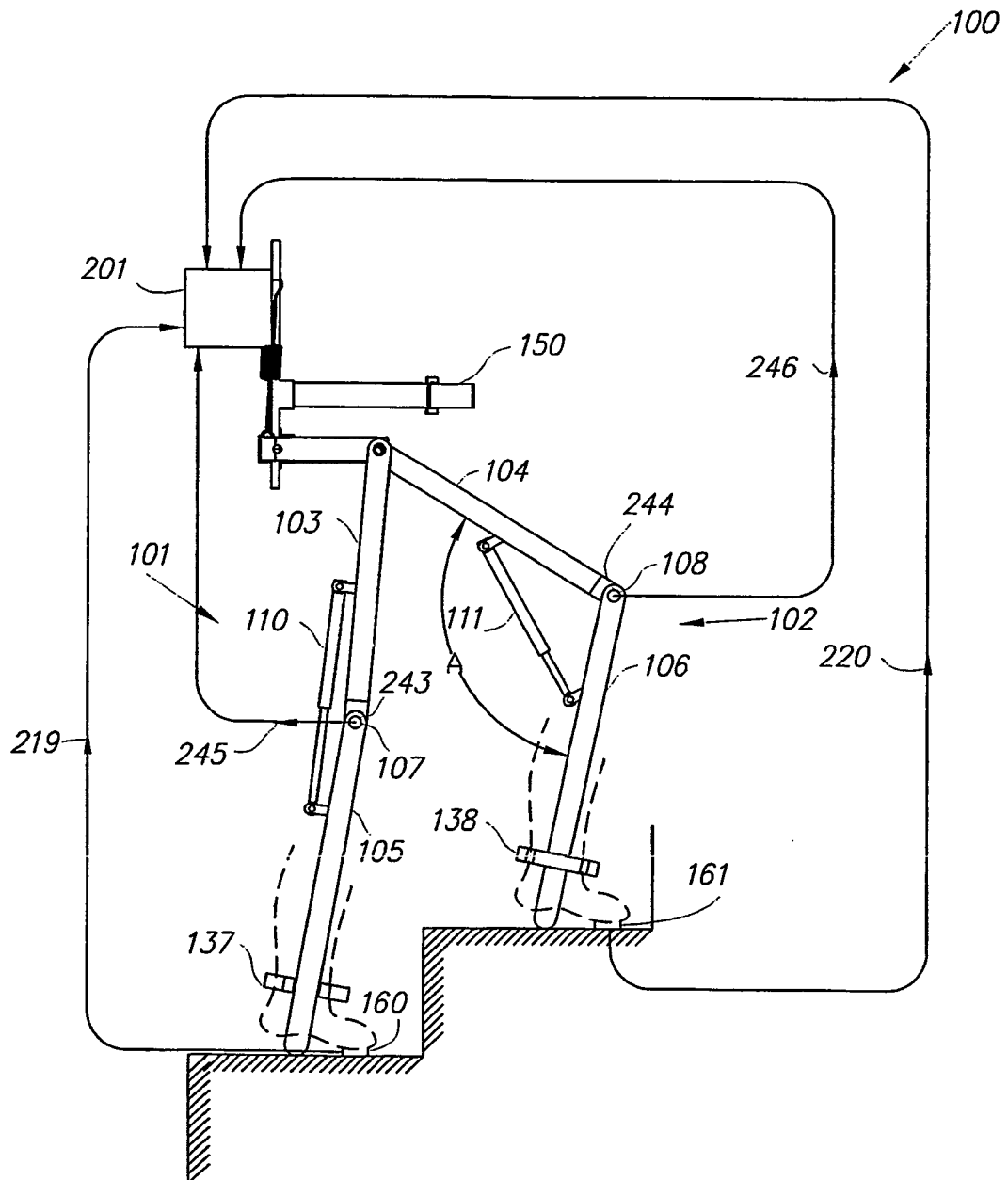


Fig. 20

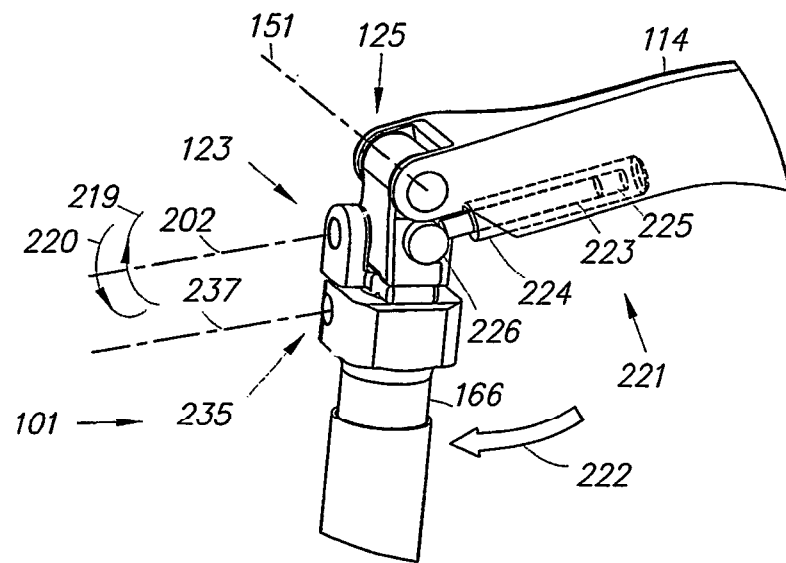


Fig. 21

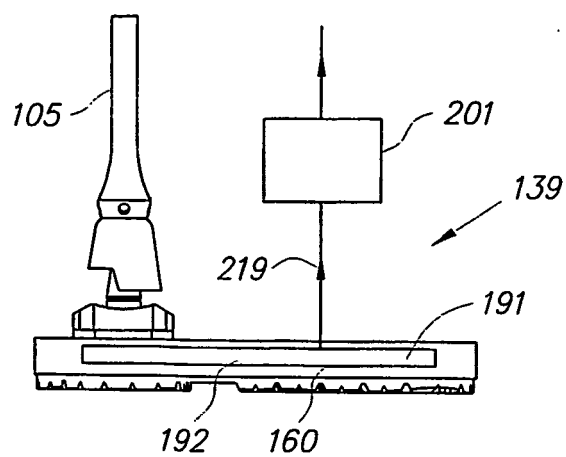


Fig. 22

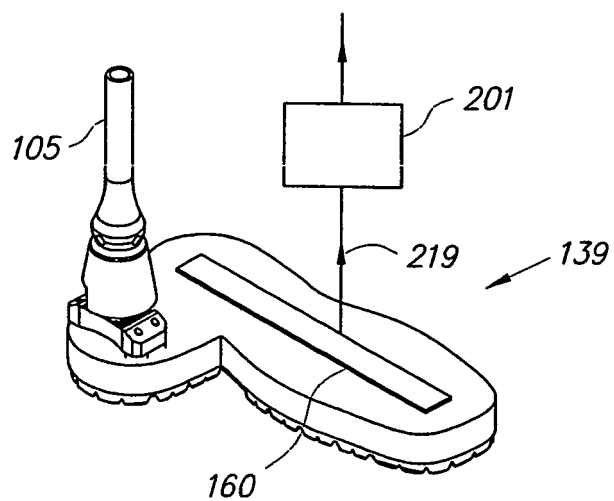


Fig. 23

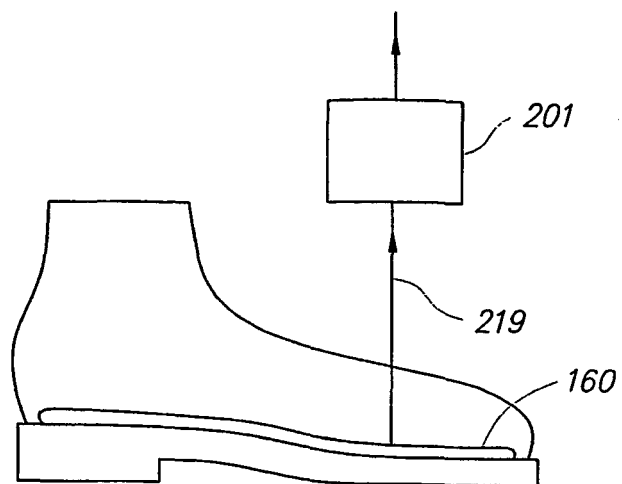


Fig. 24

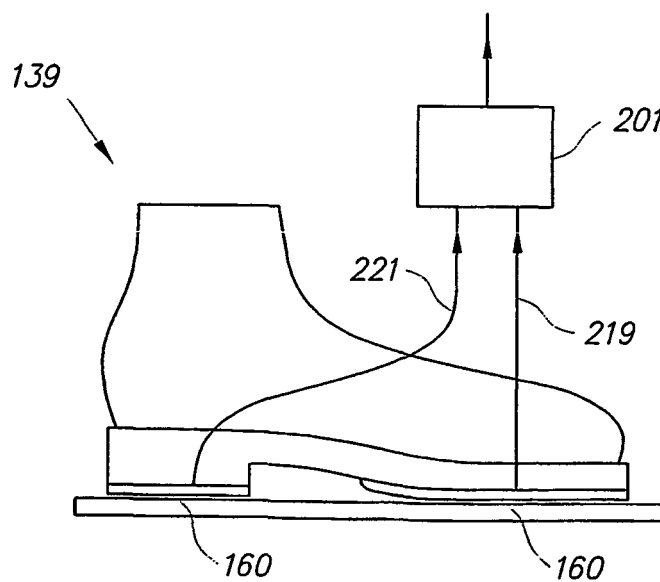


Fig. 25

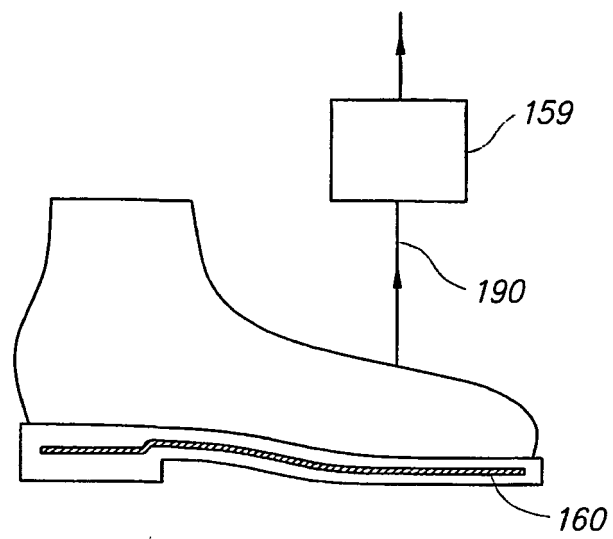


Fig. 26

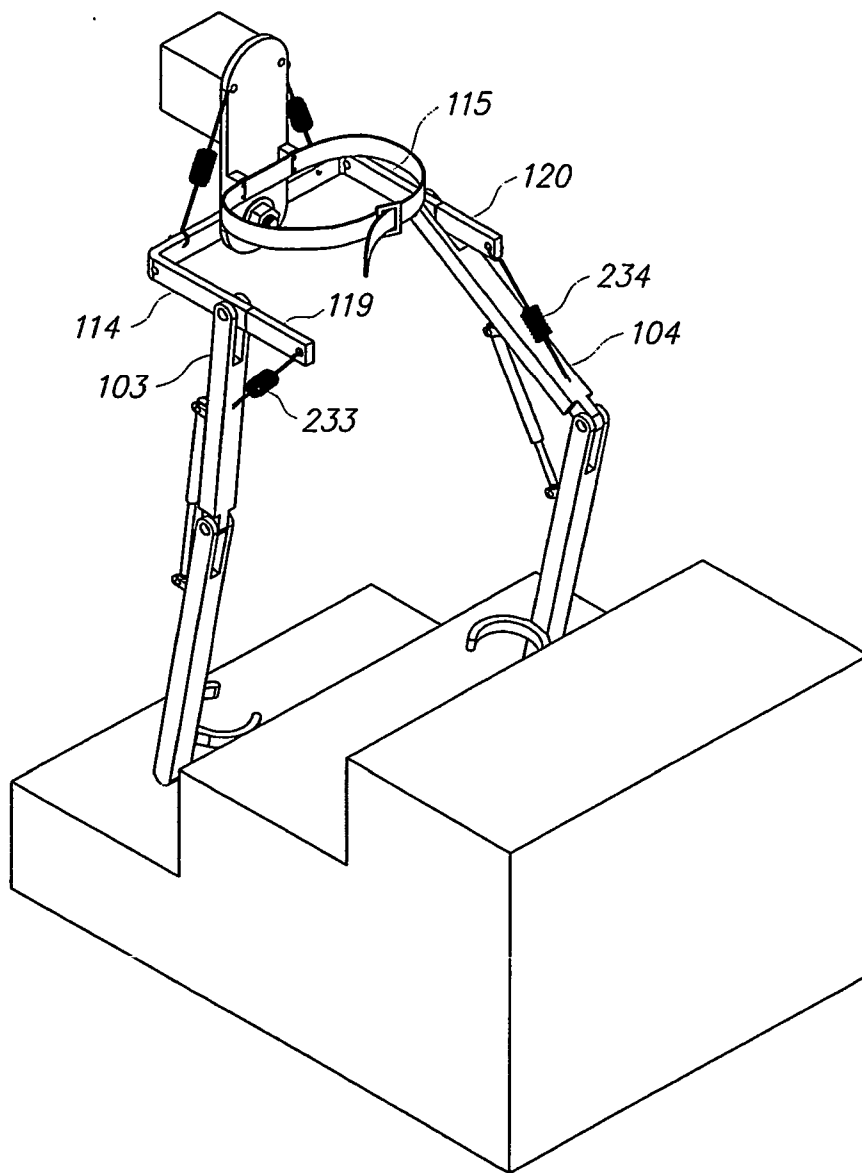


Fig. 27

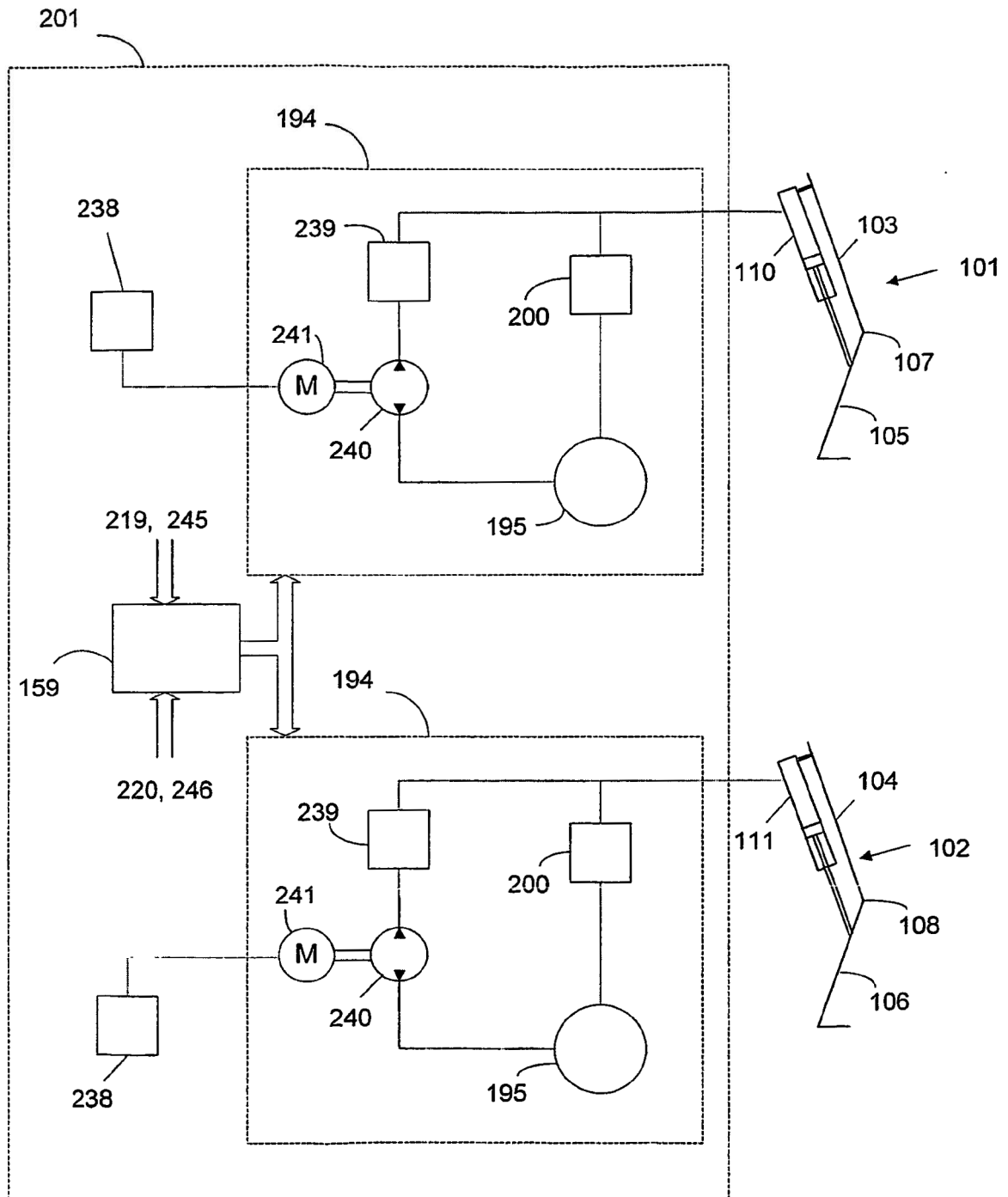


Figura 28

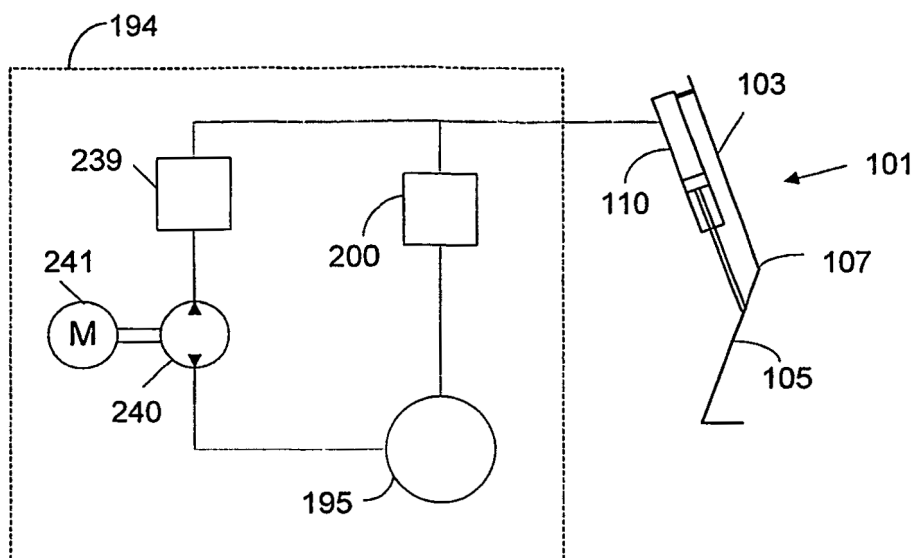


Figura 29

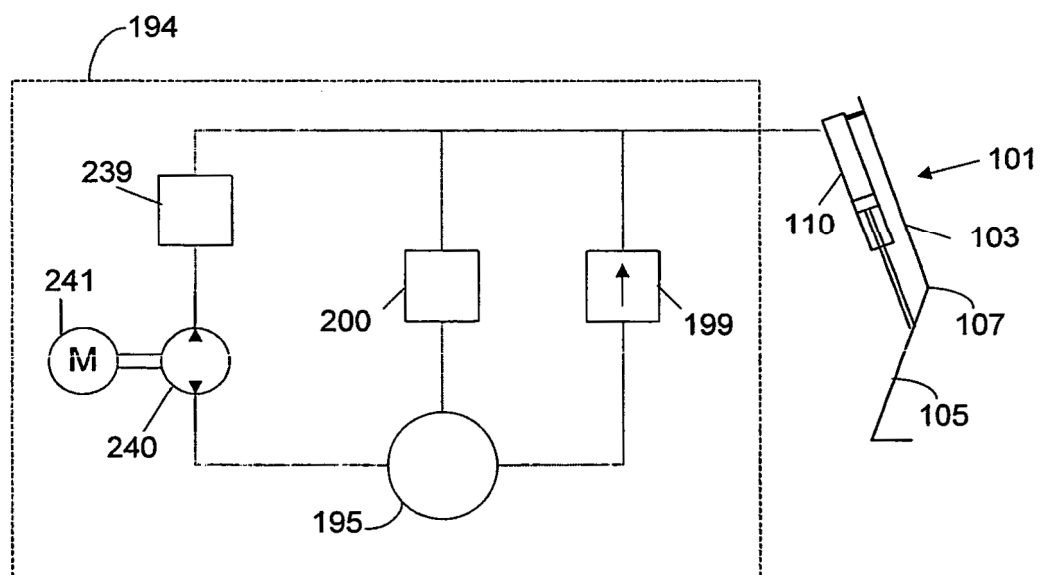


Figura 30

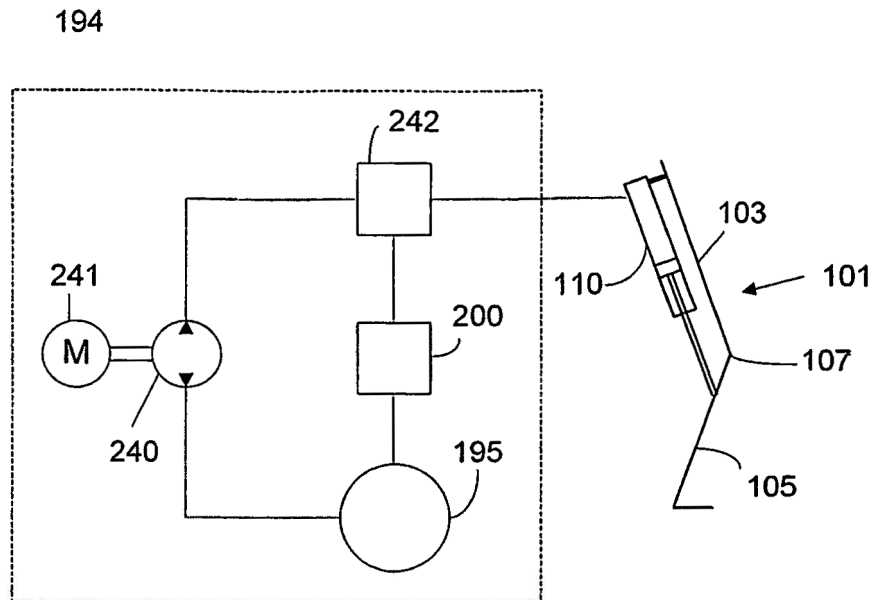


Figura 31

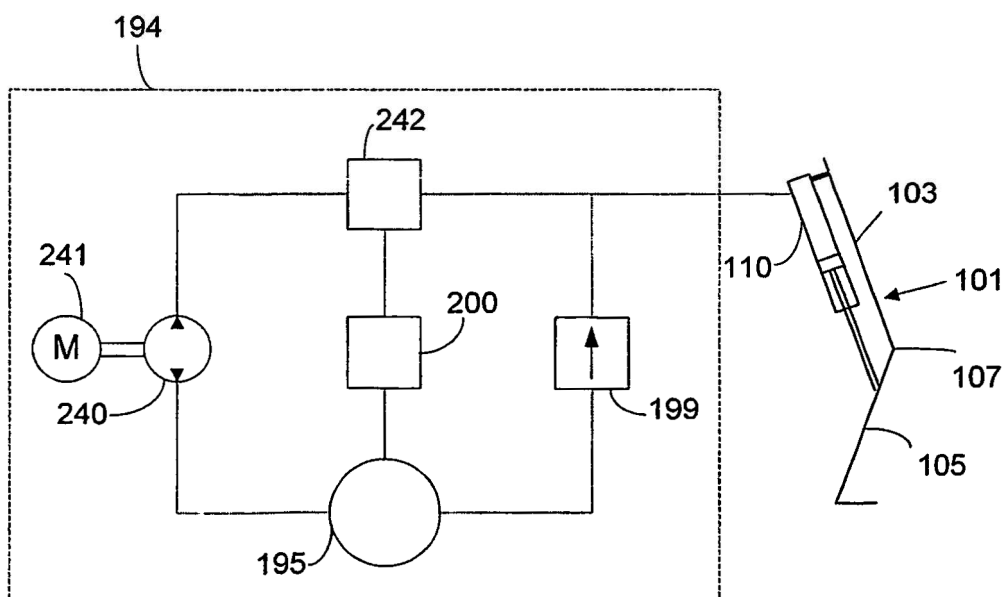


Figura 32

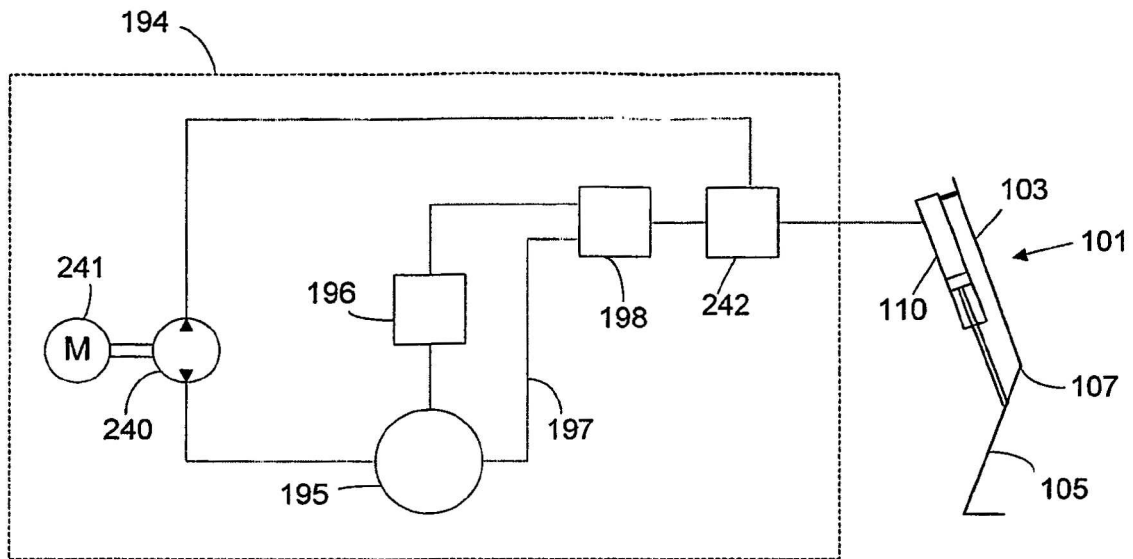


Figura 33

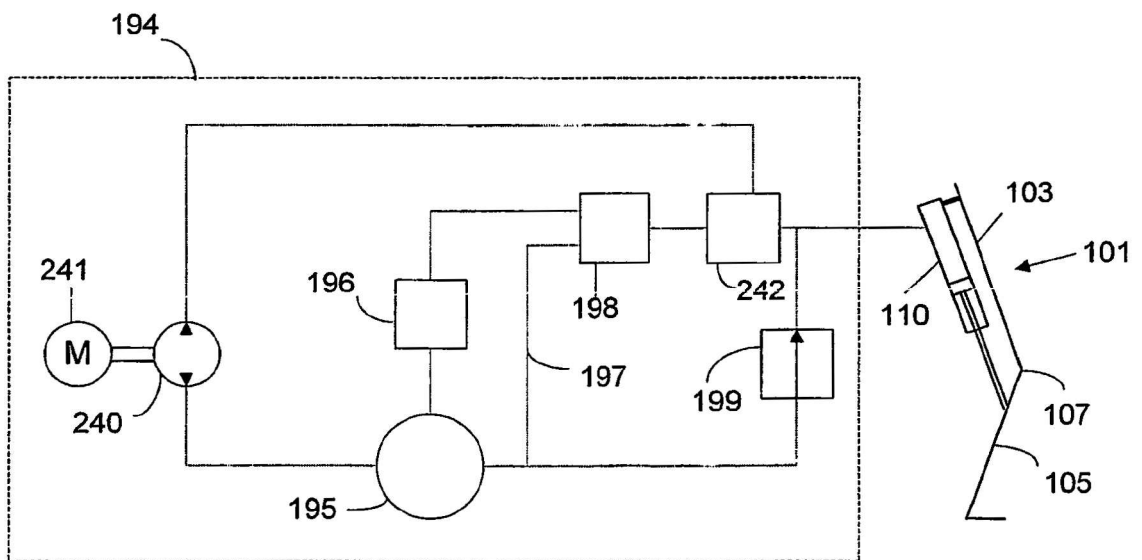


Figura 34

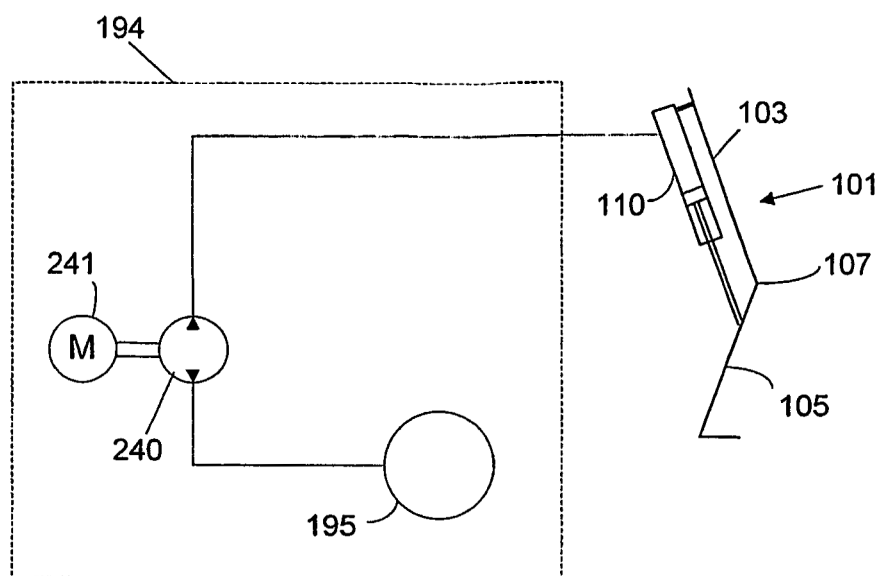


Figura 35

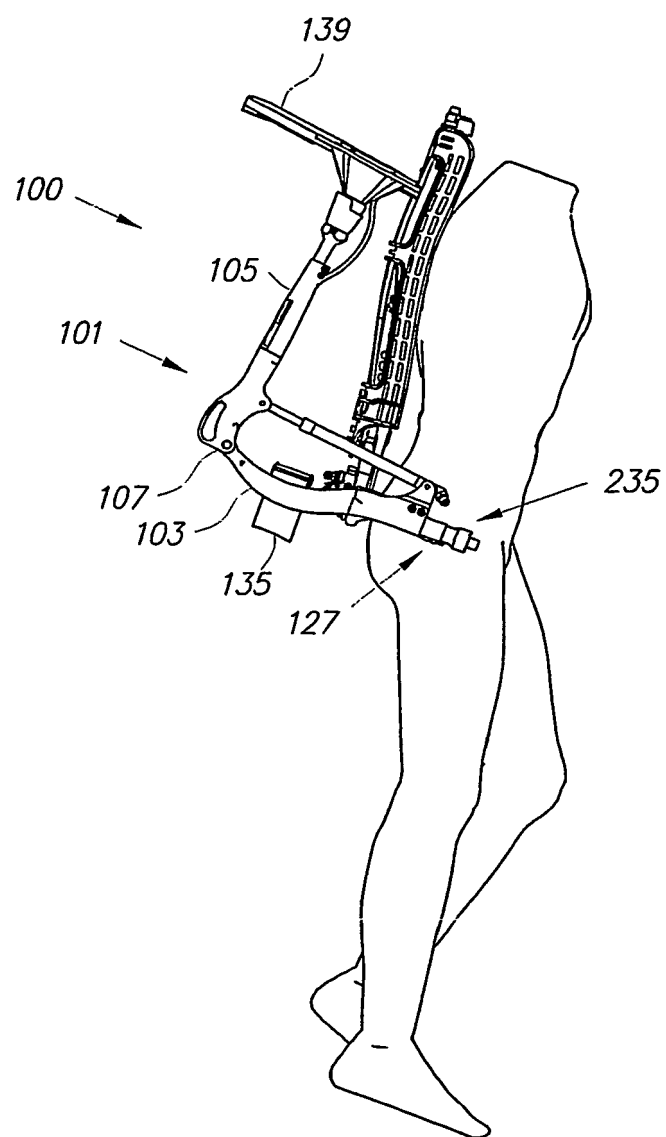


Fig. 36