

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 869 862**

51 Int. Cl.:

**G16H 50/50** (2008.01)

**A61B 5/11** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.12.2015 PCT/IB2015/060000**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.07.2016 WO16108168**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.12.2015 E 15837096 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.02.2021 EP 3241133**

54 Título: **Sistema y método para identificar alteraciones en un sistema musculoesquelético de un sujeto específico**

30 Prioridad:

**29.12.2014 IT MI20142266**

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

**26.10.2021**

73 Titular/es:

**NCS LAB S.R.L. (100.0%)  
Via Pola Esterna 4/12  
41012 Carpi (Modena), IT**

72 Inventor/es:

**MANTOVANI, MATTEO y  
GAROFALO, PIETRO**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

ES 2 869 862 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**

Sistema y método para identificar alteraciones en un sistema musculoesquelético de un sujeto específico

5 Campo de aplicación

La presente invención se refiere a un método y un sistema para procesar datos representativos de un estado de un sujeto específico.

10 En particular, la presente invención se refiere a un método y un sistema para procesar cantidades físicas representativas del estado de un sujeto.

De manera más específica, la invención se refiere a un método para identificar alteraciones en el sistema musculoesquelético de un sujeto.

15 La siguiente descripción se da haciendo referencia a las cantidades físicas medidas en un entorno clínico y en la medicina deportiva, únicamente con el fin de simplificar su divulgación.

20 Técnica anterior

Los sistemas automatizados para detectar el movimiento de un cuerpo humano están disponibles en el mercado; estos incluyen sistemas electromecánicos, sistemas basados en grabaciones de cámara, sistemas inalámbricos aplicados al cuerpo humano y sistemas de rehabilitación basados en videojuegos.

25 Todos estos sistemas tienen como objetivo proporcionar información sobre la cinemática del movimiento de un cuerpo humano combinando datos de sensores que se originan en un hardware específico y datos que se originan en el procesamiento de software.

30 Al generar un modelo biomecánico que describe la cinemática del cuerpo humano, dichos sistemas proporcionan al usuario información gráfica relacionada con los segmentos y las articulaciones del cuerpo humano.

Un primer grupo de tales sistemas permite a un usuario generar informes de datos que incluyen información cinética y cinemática basada en el movimiento del cuerpo humano que está monitorizándose.

35 Sin embargo, los parámetros procesados por programas de software conocidos son normalmente difíciles de interpretar para un usuario que no es experto en los instrumentos/técnica y/o el método/algoritmo de medición.

40 Esto se debe principalmente al hecho de que los instrumentos y técnicas o la integración de los mismos se usan actualmente en entornos clínicos o en medicina deportiva y proporcionan un gran conjunto de datos sobre el movimiento de múltiples segmentos/articulaciones corporales sin que exista ninguna posibilidad de aplicar una selección optimizada de estos datos.

45 Las competencias del usuario final de dichos instrumentos destinados a monitorizar el cuerpo humano o diagnosticar una alteración están en general lejos de ser técnicas o tecnológicas.

50 La interpretación de los datos se vuelve aún más compleja cuando se usan diversos sensores de detección (por ejemplo, sensores de movimiento y sensores de actividad muscular), aumentando exponencialmente la lista de datos que deben interpretarse por el usuario final; esto evita concretamente la identificación de las alteraciones que se producen en el sistema musculoesquelético, en lugar de facilitar su identificación.

En otras palabras, con los sistemas para generar informes de datos, el usuario final tiene dificultades concretas para usar los productos de la técnica anterior debido a la excesiva complejidad de la información generada.

55 Un segundo grupo de sistemas está representado por los sistemas de rehabilitación destinados a proporcionar retroalimentación visual directa al sujeto/paciente mediante un entorno virtual/videojuego que proporciona puntuaciones simples de acuerdo con la cantidad de objetos recolectados o movidos o el número de veces que un determinado cuerpo el segmento se mueve en una determinada dirección.

60 Sin embargo, estas puntuaciones no están directamente relacionadas con la manera en que se ha realizado el movimiento y, por lo tanto, no son significativos desde el punto de vista de la funcionalidad lograda.

65 Al mismo tiempo, el movimiento de una articulación primaria en relación con el movimiento de una articulación secundaria no se analiza por un software de procesamiento conocido. Además, la retroalimentación visual mencionada anteriormente requiere una optimización de los datos para que sean realistas en la representación del cuerpo. Sin embargo, con estos sistemas, el usuario final tiene información imprecisa, incompleta y poco significativa.

Es bien sabido que el movimiento del cuerpo humano tiene lugar de acuerdo con unos modelos específicos controlados por el sistema nervioso central y unos mecanismos de aprendizaje que funcionan de tal manera que durante una etapa específica de un movimiento actúa un músculo determinado, ya sea en sinergia o no con un músculo secundario, de tal manera que una articulación rota un cierto número de grados.

Desventajosamente, las evaluaciones actuales realizadas por los sistemas de la técnica anterior en la parte superior del cuerpo no toman en consideración el movimiento de segmentación durante las etapas principales del mismo (hacia delante y hacia atrás durante la elevación de un brazo, por ejemplo), en el que se produce una sinergia entre múltiples segmentos y articulaciones.

Esto, desventajosamente, implica que no puede haber interpretación de una etapa de movimiento específico, cuando se calculan los parámetros.

En general, la falta de métodos para interpretar automáticamente los datos cinemáticos o cinéticos limita la capacidad de los sistemas de la técnica anterior mostrados (y no) para identificar alteraciones, aplicar programas de rehabilitación específicos y planificar programas deportivos o de prevención de lesiones laborales.

La variabilidad en las características de un cuerpo humano de una persona a otra se reconoce como un factor limitante cuando se interpretan los datos de detección de movimiento con fines clínicos; de hecho, los métodos implementados en los sistemas y productos de la técnica anterior para describir el cuerpo humano desde un punto de vista biomecánico se basan en general en un análisis estadístico básico, donde la variabilidad intra e interindividual no se tiene en cuenta cuando se usan datos de referencia estándares.

La variabilidad debida al modelo de medida o protocolo biomecánico usado para describir el cuerpo humano es también un factor limitante cuando los grados de alteración debidos a una determinada patología son del mismo orden de magnitud que las alteraciones debidas a la imprecisión en el protocolo/modelo biomecánico (Kontaxis *et al.*).

Una vez más, por lo tanto, existe una evidente incapacidad de los sistemas/productos de la técnica anterior para identificar alteraciones, aplicar programas de rehabilitación específicos y planificar programas deportivos y de prevención de lesiones en el lugar de trabajo.

El documento US 2010/0191088 desvela unos métodos y sistemas para realizar un procedimiento quirúrgico usando sensores implantables. Los métodos incluyen proporcionar uno o más sensores implantables, donde cada sensor está configurado para implantarse en partes anatómicas de un sujeto.

Los métodos/sistemas descritos son invasivos.

El objeto de la presente invención es proporcionar un método/sistema eficiente para identificar alteraciones en el sistema musculoesquelético de un sujeto específico.

Un objeto específico de la presente invención es proporcionar un método/sistema para identificar alteraciones en el sistema musculoesquelético de un sujeto específico que garantice una identificación precisa de la alteración.

Otro objeto específico de la presente invención es proporcionar un método/sistema para identificar alteraciones en el sistema musculoesquelético de un sujeto que también sea fácil de entender y usar para el personal no especializado.

Otro objeto de la presente invención es proporcionar un método/sistema para identificar alteraciones en el sistema musculoesquelético de un sujeto que no implique ningún sufrimiento físico para el sujeto.

Sumario de la invención

El alcance de la invención está determinado por la reivindicación 1 independiente adjunta. Las realizaciones preferidas están determinadas por las reivindicaciones dependientes adjuntas.

Resumiendo, el método/sistema de la presente invención logra al menos los siguientes efectos técnicos:

- es eficiente, ya que detecta alteraciones en el sistema musculoesquelético de un sujeto específico;
- es preciso en identificar la alteración;
- también es fácil de entender y usar para el personal no especializado;
- no provoca sufrimiento físico al sujeto ya que no es invasivo.

Los efectos/ventajas técnicas mencionados y otros efectos/ventajas técnicas surgirán con más detalle a partir de la descripción, dada a continuación, de una realización de ejemplo ilustrada a modo de ejemplo no limitativo haciendo referencia a los dibujos adjuntos.

65

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es un diagrama de bloques del sistema de la invención que muestra componentes capaces de implementar el método de la invención.

Las figuras 2a y 2b y 3 son vistas detalladas de los bloques de la figura 1.

5

Descripción detallada

Haciendo referencia específica a los dibujos, la figura 1 muestra un sistema para identificar alteraciones en el sistema musculoesquelético de un sujeto, en donde el sistema comprende unos medios de detección  $R_i$  asociados con el sujeto 1 y capaces de detectar cantidades físicas  $Q_i$  representativas de un estado  $St$  del sujeto 1, una unidad de detección 10 configurada para detectar las cantidades físicas  $Q_i$  a través de los medios de detección  $R_i$ , una unidad de identificación 20 configurada para identificar un modelo biomecánico  $MB_i$  para dicho sujeto 1, una unidad de determinación 30 configurada para determinar los movimientos combinados  $MC_{ij}$  de los músculos  $M_i$  y los huesos  $O_j$  en función de las cantidades físicas detectadas  $Q_i$  y del modelo biomecánico identificado  $MB_i$ , una unidad de visualización 31 configurada para visualizar los movimientos combinados  $MC_{ij}$  de los músculos  $M_i$  y los huesos  $O_j$  en una vista combinada general, una unidad de conversión 40 configurada para convertir los movimientos combinados  $MC_{ij}$  en una pluralidad de etapas de movimiento  $Fk_z$  de segmentos  $SE_k$  y articulaciones  $AT_z$ , una unidad de procesamiento 60 que comprende un módulo de cálculo 61 configurado para calcular unos parámetros  $PAL_i$  representativos de las alteraciones  $AL$ , un módulo de comparación 62 configurado para comparar los parámetros calculados  $PAL_i$  con valores de referencia predefinidos  $P_{REF_i}$ , un módulo de identificación 63 configurado para identificar las alteraciones  $AL$  en función de una coincidencia fallida entre los parámetros calculados  $PAL_i$  y los valores de referencia predefinidos  $P_{REF_i}$ , y un módulo de clasificación 64 configurado para determinar la pertenencia de la alteración identificada  $AL$  a uno o más grupos de patologías musculoesqueléticas en función de la alteración  $AL$  identificada.

10

15

20

25

En una primera realización preferida, la invención se aplica a los movimientos musculoesqueléticos de un lanzador de béisbol.

30

Unos medios de detección  $R_i$  capaces de detectar cantidades físicas  $Q_i$  representativas de un estado  $St$  del sujeto están asociados con el lanzador.

En particular, dichos medios de detección  $R_i$  se asocian con el sujeto 1 colocando los mismos en dicho sujeto 1 y/o aplicándolos a dicho sujeto 1.

35

Preferentemente, los medios de detección  $R_i$  comprenden unas plataformas basadas en sensores  $R_1$ , preferentemente sincronizadas entre sí a través de una conexión Wi-Fi o Bluetooth.

40

Preferentemente, las plataformas se aplican al cuerpo del sujeto usando unas correas de extracción específicas o material adhesivo para la piel o los tejidos, fijado con unos sensores, que incorporan las plataformas para detectar las cantidades físicas  $Q_i$  representativas de un estado  $St$  del sujeto.

45

De manera alternativa, o por otro lado, los medios de detección  $R_i$  comprenden unas sondas electromiográficas  $R_2$  que miden, preferentemente detectando actividad eléctrica, las contracciones musculares monitorizadas por los pares de electrodos colocados en la superficie del músculo y conectados a las sondas  $R_2$ .

50

Una unidad de detección 10 está configurada para detectar las cantidades físicas  $Q_i$  a través de los medios de detección  $R_i$ .

La unidad de detección 10 opera en tiempo real y recopila la información, es decir, las cantidades físicas  $Q_i$  procedentes de los medios de detección mencionados  $R_i$  o unos similares, alineándolos en el tiempo, y envía esta información a una interfaz gráfica de usuario de bajo nivel, en particular una unidad de identificación 20.

La unidad de identificación 20 está configurada para identificar un modelo biomecánico  $MB_i$  para el sujeto 1.

55

La invención comprende un procedimiento de instrucción para el usuario que guía al usuario en todas las etapas del método de la invención.

60

En otras palabras, la invención comprende un "asistente" específico que ayuda al usuario a identificar y tomar decisiones sobre estrategias, hacer correcciones, comunicarse con el sujeto sometido a examen o con otro operario y generar informes digitales.

El efecto técnico logrado es hacer que el proceso de la invención también sea fácil de entender y usar para el personal no especializado.

65

El procedimiento de instrucción de usuario comprende una interfaz gráfica 21 configurada para realizar una o más de las etapas de:

- controlar la detección de las cantidades físicas  $Q_i$ ;
  - cambiar el método de visualización;
  - mostrar cómo colocar los medios de detección  $R_i$ ;
  - mostrar cómo activar los medios de detección  $R_i$ ;
  - mostrar al sujeto 1 cómo colocarse para un análisis correcto;
  - mostrar la configuración/integración de datos al usuario final.
- 5
- La generación del modelo biomecánico MBI del sujeto 1 tiene lugar en función de la ejecución de una o más de las etapas anteriores.
- 10
- El efecto técnico logrado es una generación de una representación virtual de la información clínica para un usuario que no es experto en el protocolo de medición, los algoritmos de procesamiento y la tecnología aplicados.
- 15
- En otras palabras, la interfaz gráfica 21 está provista de botones y controles que guían al usuario a través de un procedimiento etapa a etapa controlado por la unidad de identificación 20.
- Una primera pantalla muestra el procedimiento para activar los medios de detección  $R_i$ , la conexión con los medios de detección  $R_i$  y la selección del tipo de movimiento que se le pedirá al sujeto 1 que realice, si existe o no la necesidad de mantener un seguimiento de la información de más de un medio de detección  $R_i$ , y el tipo de visualización necesaria.
- 20
- La conexión con los medios de detección se activa y mantiene automáticamente hasta que el usuario decide detener el análisis por medio de un pulsador dedicado.
- 25
- En una segunda pantalla se explica al usuario cómo colocar los medios de detección  $R_i$  ya conectados en el cuerpo del sujeto 1. Preferentemente, las instrucciones se proporcionan en la forma de un vídeo integrado en la pantalla.
- En una tercera pantalla, la unidad de identificación 20 activa los medios de detección a través de la unidad de detección 10 y le pide al usuario que espere un tiempo predefinido, por ejemplo, 10 segundos, antes de pasar a la siguiente etapa con el fin de permitir que la unidad de detección 10 establezca los transitorios de salida.
- 30
- La tercera pantalla también muestra los movimientos que el sujeto puede realizar en este período y una solicitud posterior al mismo sujeto 1 para mantener una postura estacionaria o realizar movimientos dinámicos específicos para una detección confiable basada en los protocolos de medición validados.
- 35
- Preferentemente, las instrucciones se proporcionan en la forma de vídeo integrado en la pantalla, como en la etapa anterior.
- 40
- Al final de esta etapa, la unidad de identificación 20 genera una descripción biomecánica MBI de los segmentos del cuerpo humano implicados en el análisis con los medios de detección identificados.
- El efecto técnico logrado es el mantenimiento de una relación constante entre los medios de detección  $R_i$  y los segmentos anatómicos del cuerpo tales como el torso, la escápula y el húmero, de la parte analizada del sujeto.
- 45
- En otras palabras, y en sumario, la identificación del modelo biomecánico MBI para el sujeto 1 comprende las etapas de:
- pedir al usuario unas medidas específicas ( $M_i$ ) con el fin de calibrar el sistema en función del escenario, entorno y/o número de medios de detección  $R_i$  aplicados al sujeto 1;
  - pedir al usuario que realice un procedimiento específico de colocación anatómica basado en la descripción biomecánica de los segmentos y las articulaciones del cuerpo humano.
- 50
- El efecto técnico logrado es un análisis de múltiples segmentos y múltiples articulaciones optimizado y específico en el sujeto que garantiza una limitación de la variabilidad entre análisis posteriores del mismo sujeto o análisis similares de diferentes sujetos debido a errores tanto en el modelo biomecánico como en los componentes de hardware.
- 55
- Además, se mejora la fiabilidad de los datos generados y en general del sistema en su conjunto.
- 60
- Al final del análisis, la unidad de identificación 20 proporciona retroalimentación al usuario para confirmar la conclusión satisfactoria de la generación de la descripción biomecánica MBI de los segmentos del cuerpo humano implicados en el análisis. Si esta generación no se concluye con éxito, la unidad de identificación 20 invita al usuario a repetir de nuevo las etapas anteriores.
- 65
- La invención comprende una unidad de determinación 30.
- La unidad de determinación 30 está configurada para determinar los movimientos combinados  $MC_{ij}$  de los músculos

Mi y los huesos Oj en función de las cantidades físicas detectadas Qi y del modelo biomecánico identificado MBi.

Los músculos Mi y los huesos Oj se muestran respectivamente en las figuras 2a y 2b.

- 5 En una cuarta pantalla, la unidad de determinación 30 usa el modelo biomecánico MBi de la etapa anterior y lo combina con un método para extraer ángulos de rotación articulares con el fin de calcular la cinemática articular en tiempo real para cada muestra de datos.
- 10 En particular, los ángulos articulares incluyen ángulos de rotación 3D de las articulaciones *humerotorácica* glenohumeral y escapulotorácica.
- Para cada muestra de datos, estos valores expresados en grados se transfieren al método de visualización anteriormente seleccionado por el usuario con el fin de monitorizar las articulaciones virtuales en el entorno 3D.
- 15 Una parte específica de la unidad de determinación 30 comprueba la forma en que se convierten los valores con el fin de generar el movimiento 3D, es decir, el movimiento combinado MCij.
- Haciendo referencia a la figura 2b, el movimiento combinado 3D se visualiza en la forma de esqueleto humano, que incluye el torso, cabeza, escápula, húmero, antebrazo y mano para tanto las extremidades izquierdas como derechas representadas por los huesos en un entorno 3D virtual.
- 20 Un módulo de visualización 31 de la unidad de determinación 30 está configurado para visualizar los músculos Mi y los huesos Oj en una vista combinada, preferentemente tridimensional.
- 25 La conversión tiene lugar transformando los grados articulares expresados en el sistema de coordenadas integral con la articulación en grados de movimiento del hueso distal a la articulación alrededor de los respectivos ejes pertenecientes al sistema de coordenadas integral con el esqueleto. La conversión se realiza de tal manera que la relación entre el valor en grados usado y los grados correspondientes del movimiento óseo sea de 1:1 en cada instante de la medición.
- 30 El entorno virtual puede comprender avatares virtuales superpuestos en el esqueleto, de sexo masculino o femenino y de diferentes tamaños o estatuas, basándose en las características del sujeto 1. Los avatares siguen integralmente los movimientos del esqueleto sobre la base de una conversión directa entre avatar y esqueleto.
- 35 Para cada par de huesos del esqueleto de la figura 2b, los tendones y los músculos superficiales de la extremidad superior se representan en la figura 2a usando texturas que representan los músculos de las extremidades superiores humanas.
- 40 Las longitudes de los tendones y el color de las texturas se controlan dinámicamente basándose en el valor de la señal eléctrica (mV) procedente de las sondas EMG en tiempo real. El usuario selecciona un conjunto de umbrales en una sección de configuración del software. Estos umbrales ( $\mu\text{V}$ ) se usan para modular el color de las texturas de cada músculo basándose en función el valor de la señal de cada músculo.
- 45 El efecto técnico logrado es permitir una rápida comprensión simplificada de la actividad muscular en correlación con el movimiento.
- Una serie de controles de reproducción y grabación se identifican mediante pulsadores convencionales que permiten que la pantalla se inicie, interrumpa y grabe.
- 50 La invención comprende una unidad de conversión 40 (figura 1) configurada para convertir dichos movimientos combinados (MCij) en una pluralidad de etapas de movimiento (Fkz) de los segmentos (SEK) y las articulaciones (ATz).
- En otras palabras, la unidad de conversión 40 realiza una segmentación del proceso anteriormente grabado, que identifica las etapas del movimiento.
- 55 En otras palabras, las etapas de movimiento Fkz se calculan en función de: los primeros parámetros articulares (Pz) de una primera articulación (ATz) y al menos un segundo parámetro articular (Pz+1) calculados en función de las segundas articulaciones (ATz+1) afectadas por el movimiento de la primera articulación (ATz).
- 60 El efecto técnico logrado por la segmentación del movimiento en sus etapas principales es permitir la identificación de alteraciones en el sistema musculoesquelético basándose en el comportamiento de una pluralidad de partes del cuerpo durante el movimiento; esto contribuye a una comprensión del programa de rehabilitación correcto para el segmento/articulación/músculo específico.
- 65 Las etapas de movimiento identificadas se muestran en una segunda parte de la cuarta pantalla que comprende paneles dedicados que muestran un plano cartesiano XY que se actualiza punto por punto usando los valores

angulares calculados para cada muestra de datos.

5 Mediante un pulsador de control específico, el usuario puede elegir si desea o no reproducir un fondo específico del plano cartesiano visible de tal manera que muestre los valores anteriormente grabados del mismo tipo usado para la visualización en tiempo real.

El tipo de datos visualizados en el plano cartesiano se selecciona de acuerdo con el sujeto sometido a examen.

10 Ya que el sujeto es un atleta de béisbol y se está examinando su desempeño como lanzador, el eje X muestra la rotación en abducción de su húmero (valores en grados) y el eje Y muestra la rotación axial de la escápula (valores en grados).

15 Cuando el usuario presiona el pulsador de parada, es decir, interrumpe la simulación, una unidad de memoria 80 (figura 1) memoriza el movimiento 3D virtual y la sesión gráfica en un archivo, preferentemente propietario.

La invención comprende una unidad de procesamiento 60 para procesar datos de alteración.

20 La unidad de procesamiento 60 comprende un módulo de cálculo 61 configurado para calcular los parámetros PALi representativos de las alteraciones AL en función de uno o más entre:

- las etapas de movimiento Fkz;
- los parámetros de articulación (Pz; Pz+1);
- el modelo biomecánico (MBi);

25 El efecto técnico logrado es la obtención de números fáciles de interpretar, memorizar, comparar y compartir.

30 En otras palabras, una quinta pantalla muestra el resultado de la memorización de la unidad de memoria 80 y del módulo de cálculo 61 por medio de los números paramétricos específicos PALi en lo que se refiere al lanzamiento de béisbol.

Para cada etapa identificada, la relación entre los valores máximos en grados de rotación de la escápula a 20°, 40°, 60°, 80°, 100° y 120° grados de abducción del húmero se habían calculado anteriormente, proporcionando de este modo un total de 6 números en una representación gráfica de barras (figura 3).

35 La unidad de procesamiento 60 comprende además un módulo de comparación 62 configurado para comparar:

- los parámetros calculados PALi y
- los valores de referencia predefinidos P<sub>REFi</sub> representativos de los umbrales de alteración S<sub>AL</sub> en dicho sistema musculoesquelético;

40 En otras palabras, si el usuario ha seleccionado anteriormente los datos de referencia o los datos remotos que se habían cargado en segundo plano, las representaciones gráficas de barras visualizarán automáticamente las representaciones gráficas de barras secundarias además de las primarias, con un color diferente al anterior.

45 La unidad de procesamiento 60 comprende además un módulo de identificación 63 configurado para identificar las alteraciones AL en función de una coincidencia fallida entre los parámetros calculados PALi y los valores de referencia predefinidos P<sub>REFi</sub>.

50 Los valores comparativos, en particular de las relaciones, se representan al final como "puntuaciones clínicas" y se presenta al usuario una puntuación global que resume todos los valores anteriores (siendo un promedio de los valores de la relación).

55 Cada "puntuación clínica" se calcula en función de los parámetros articulares Pz de una o más articulaciones ATz afectadas por el movimiento o en función de otra puntuación clínica.

60 El efecto técnico logrado es la ponderación de una puntuación obtenida a partir de uno o más efectos positivos de un movimiento articular o contracción muscular en comparación con uno o más efectos negativos de un movimiento articular o una contracción muscular (por ejemplo, efectos compensatorios), al mismo tiempo que aumenta la precisión y robustez en la identificación de la alteración.

La invención comprende un módulo de clasificación 64 para determinar la pertenencia de una alteración a uno o más grupos de patologías musculoesqueléticas de las extremidades superiores, en función de las alteraciones identificadas AL y, en particular, también de las etapas de movimiento Fkz a las que corresponden.

65 Para este fin, la invención comprende una unidad de visualización 70 configurada para visualizar las alteraciones identificadas AL.

Para cada etapa identificada, la misma pantalla visualiza la información secundaria de la representación gráfica de barras en relación con las cantidades calculadas sobre la base de las señales EMG.

5 Se proporciona un pulsador de control específico en la pantalla para imprimir todos los detalles del informe en un archivo PDF específico.

10 En una segunda realización preferida de la invención, la invención se aplica a un escenario de una intervención quirúrgica en un paciente, donde un cirujano opera una rodilla lesionada del paciente usando un procedimiento invasivo abierto para reemplazar una articulación con una prótesis.

El paciente, es decir, el sujeto 1, tiene asociado con el mismo unos medios de detección Ri capaces de detectar cantidades físicas Qi representativas de su estado St.

15 En particular, los medios de detección Ri están asociados con el sujeto 1 en el esternón y el muslo y la tibia adyacentes a la rodilla lesionada.

20 Preferentemente, los medios de detección Ri comprenden unas plataformas basadas en sensores R1, preferentemente sincronizadas entre sí a través de una conexión Wi-Fi o Bluetooth.

Preferentemente, las plataformas se aplican al cuerpo del sujeto usando correas de extracción específicas o material adhesivo para la piel de tal manera que puedan fijarse rígidamente a los segmentos con el fin de detectar las cantidades físicas Qi representativas de un estado St del sujeto.

25 Una unidad de detección 10 está configurada para detectar las cantidades físicas Qi a través de los medios de detección Ri.

30 La unidad de detección 10 opera en tiempo real y recopila la información, es decir, las cantidades físicas Qi procedentes de los medios de detección mencionados Ri o unos similares, alineándolos en el tiempo, y envía esta información a una interfaz gráfica de usuario de bajo nivel, en particular una unidad de identificación 20.

La unidad de identificación 20 está configurada para identificar un modelo biomecánico MBi para el sujeto 1.

35 La invención comprende un procedimiento de instrucción para el usuario que guía al usuario en todas las etapas del método de la invención.

40 En otras palabras, la invención comprende un "asistente" específico que ayuda al usuario a identificar y tomar decisiones sobre estrategias, hacer correcciones, comunicarse con el sujeto sometido a examen o con otro operario y generar informes digitales.

El efecto técnico logrado es hacer que el proceso de la invención también sea fácil de entender y usar para el personal no especializado.

45 El procedimiento de instrucción de usuario comprende una interfaz gráfica 21 configurada para realizar una o más de las etapas de:

- comprobar la detección de las cantidades físicas Qi;
- cambiar el método de visualización;
- mostrar cómo colocar los medios de detección Ri;
- mostrar cómo activar los medios de detección Ri;
- mostrar a los operadores cómo colocar al sujeto 1 para un análisis correcto;

55 La generación del modelo biomecánico MBi del sujeto 1 tiene lugar en función de la ejecución de una o más de las etapas anteriores.

El efecto técnico logrado es una generación de una representación virtual de la información clínica para el usuario que no es experto en el protocolo de medición, los algoritmos de procesamiento de datos y la tecnología aplicados.

60 En otras palabras, la interfaz gráfica 21 está provista de pulsadores y controles que guían al usuario a través de un procedimiento etapa a etapa controlado por la unidad de identificación 20.

Una primera pantalla muestra el procedimiento para activar los medios de detección Ri, la conexión con los medios de detección Ri y la selección del tipo de operación/escenario quirúrgico, y el tipo de visualización solicitada.

65 La conexión con los medios de detección se activa automáticamente y se mantiene hasta que el usuario decide detener el análisis a través de un pulsador dedicado.

- 5 En una segunda pantalla, se explica al usuario cómo colocar los medios de detección Ri ya conectados en el cuerpo del sujeto 1, seguido de una espera para que el usuario continúe con el procedimiento etapa a etapa. Preferentemente, las instrucciones se proporcionan en la forma de un vídeo integrado en la pantalla.
- 10 En la segunda pantalla, la unidad de identificación 20 pide al usuario que espere un tiempo predefinido, por ejemplo, 10 segundos, antes de continuar con la siguiente etapa con el fin de permitir que la unidad de detección 10 estabilice las salidas de sensor.
- 15 La segunda pantalla también muestra los movimientos permitidos a la rodilla y al usuario en este período. Preferentemente, las instrucciones se proporcionan en la forma de un vídeo integrado en la pantalla.
- En una tercera pantalla, la unidad de identificación 20 explica al usuario cómo colocar al sujeto 1 en una posición supina, con la rodilla lesionada totalmente extendida. La pantalla proporciona instrucciones sobre la cantidad de segundos que el sujeto debe mantenerse en esta posición.
- 20 Posteriormente, la retroalimentación visual se proporciona con el método de visualización anteriormente seleccionado por el usuario en un entorno de representación 3D del fémur y la tibia alineados durante la posición supina, proporcionando retroalimentación visual sobre la calidad de esta alineación. A continuación, la pantalla espera a que el usuario continúe con el procedimiento etapa a etapa.
- 25 En una cuarta pantalla, la unidad de identificación 20 pide al usuario que mantenga el muslo erguido hasta alcanzar un cierto umbral de flexión de la rodilla.
- 30 Cuando se alcanza el umbral, se proporciona una señal de audio al usuario. Se invita al usuario a doblar la rodilla manualmente dentro de un intervalo de movimiento limitado. En esta situación, se evalúa el eje de rotación mecánico real descrito por la rodilla. Se proporciona retroalimentación visual al usuario si la calibración es exitosa; de lo contrario, se pide al usuario que repita el procedimiento.
- 35 Si el procedimiento es exitoso, la unidad de identificación 20 muestra, en una quinta pantalla, una descripción biomecánica BMi de los segmentos del cuerpo humano implicados en el análisis con los medios de detección identificados.
- El efecto técnico logrado es el mantenimiento de una relación constante entre los medios de detección Ri y los segmentos anatómicos del cuerpo tales como el torso, muslo y tibia adyacentes a la rodilla sometidos a examen.
- En otras palabras, y resumiendo, la identificación de un modelo biomecánico MBI para el sujeto 1 comprende las etapas de:
- 40 - pedir al usuario unas medidas específicas MISi para calibrar el sistema en función del escenario, entorno y número de medios de detección Ri aplicados al sujeto 1;
- pedir al usuario que realice un procedimiento específico de colocación anatómica, basándose en la descripción biomecánica de los segmentos y articulaciones del cuerpo humano.
- 45 El efecto técnico logrado es un análisis de múltiples segmentos y múltiples articulaciones optimizado y específico en el sujeto que garantiza una limitación de la variabilidad entre análisis posteriores del mismo sujeto o análisis similares de diferentes sujetos debido a errores tanto en el modelo biomecánico como en los componentes de hardware. Esto mejora la fiabilidad de los datos generados y en general del sistema de la invención.
- 50 Al final del análisis, la unidad de identificación 20 proporciona retroalimentación al usuario para confirmar la conclusión correcta de la generación de la descripción biomecánica de los segmentos del cuerpo humano implicados en el análisis. Si esta generación no se concluye con éxito, la unidad de identificación 20 invita al usuario a repetir de nuevo las etapas anteriores.
- 55 El entorno 3D proporciona una representación visual en tiempo real del fémur y la tibia que reflejan la orientación actual en el espacio del muslo y la pierna del sujeto.
- 60 La unidad de determinación 30 está configurada para determinar los movimientos combinados MCij de los músculos Mi y los huesos Oj en función de las cantidades físicas Qi detectadas y del modelo biomecánico identificado MBI.
- Los músculos Mi y los huesos Oj se muestran respectivamente en la figura 2a y 2b.
- 65 En una cuarta pantalla, la unidad de determinación 30 usa el modelo biomecánico MBI de la etapa anterior y lo combina con un método para extraer ángulos de rotación articulares con el fin de calcular la cinemática articular en tiempo real para cada muestra de datos. Los ángulos articulares incluyen ángulos de rotación de flexión-extensión de rodilla en 3D, abducción-aducción de rodilla y rotación de rodilla interna-externa.

Un módulo de visualización 31 de la unidad de determinación 30 está configurado para visualizar los músculos Mi y los huesos Oj en una vista combinada, preferentemente tridimensional.

5 Para cada muestra de datos, los valores en grados se transfieren al método de visualización anteriormente seleccionado por el usuario con el fin de monitorizar las articulaciones virtuales en el entorno 3D.

Una parte específica de la unidad de determinación 30 controla la forma en que estos valores se convierten para generar el movimiento 3D, es decir, el movimiento combinado MCij.

10 Haciendo referencia a la figura 2b, el movimiento combinado 3D se visualiza en la forma de esqueleto humano, que incluye el fémur y la tibia de la extremidad operada, representada por los huesos en un entorno virtual 3D.

15 La invención comprende una unidad de conversión 40 (figura 1) configurada para convertir dichos movimientos combinados MCij en una pluralidad de etapas de movimiento Fkz de los segmentos SEk y las articulaciones ATz.

En otras palabras, la unidad de conversión 40 realiza una segmentación del proceso anteriormente grabado, que identifica las etapas del movimiento.

20 Las etapas de movimiento identificadas se visualizan en una segunda parte de la quinta pantalla, que comprende unos paneles dedicados que muestran un plano cartesiano XY que se actualiza punto por punto usando los valores angulares calculados para cada muestra de datos.

25 Ya que el sujeto de examen es una rodilla, el eje X representa el tiempo (en segundos) y el eje Y muestra el ángulo de extensión-flexión de la rodilla (valores en grados).

Se proporcionan representaciones gráficas similares para la abducción-aducción de la rodilla y la rotación interna-externa de la rodilla.

30 Mediante un pulsador de control específico, el usuario puede elegir si desea o no reproducir un fondo específico del plano cartesiano visible de tal manera que muestre los valores anteriormente grabados del mismo tipo usado para la visualización en tiempo real.

35 En otras palabras, la pantalla mantenida activa para el usuario durante la operación quirúrgica permite una verificación 3D en tiempo real de las rotaciones de la rodilla en comparación con la referencia, tanto en posición supina como durante la flexión o extensión pasiva de la rodilla, con el fin de insertar correctamente un espaciador de rodilla y conectar el fémur a la tibia o identificar cualquier exceso que pueda obstruir el movimiento.

40 Cuando el usuario presiona el pulsador de parada, es decir, interrumpe la simulación, una unidad de memoria 80 (figura 1) memoriza el movimiento 3D virtual y la sesión gráfica en un archivo, preferentemente propietario.

La invención comprende una unidad de procesamiento 60 para procesar datos de alteración.

45 La unidad de procesamiento 60 comprende un módulo de cálculo 61 configurado para calcular los parámetros PALi representativos de las alteraciones AL en función de uno o ambos:

- las etapas de movimiento Fkz;
- el modelo biomecánico (MBi);

50 El efecto técnico logrado es la obtención en tiempo real de números fáciles de interpretar, memorizar, comparar y compartir, tanto durante la operación con el fin de introducir modificaciones en la alineación de las extremidades a la articulación y posteriormente, a efectos de documentación.

55 En otras palabras, una sexta pantalla visualiza el resultado de la memorización de la unidad de memoria 80 y del módulo de cálculo 61 por medio de los números paramétricos específicos PALi respecto al intervalo de un movimiento posible obtenido después de un reposicionamiento de la rodilla en movimientos pasivos.

La unidad de procesamiento 60 comprende además un módulo de comparación 62 configurado para comparar:

60 • los parámetros calculados PALi y  
• los valores de referencia predefinidos P<sub>REFi</sub> representativos de los umbrales de alteración S<sub>AL</sub> en dicho sistema musculoesquelético;

65 En otras palabras, si el usuario ha seleccionado anteriormente los datos de referencia o los datos remotos que se habían cargado en segundo plano, el sistema visualizará automáticamente las representaciones de gráficas de barras secundarias además de las primarias, con un color diferente al anterior.

La unidad de procesamiento 60 comprende además un módulo de identificación 63 configurado para identificar dichas alteraciones AL en función de una coincidencia fallida entre dichos parámetros calculados PALi y dichos valores de referencia predefinidos P<sub>REFi</sub>.

5 Se representan los valores de las relaciones, finalmente, como "puntuaciones clínicas" y se presenta al usuario una puntuación global que resume todos los valores anteriores (siendo un promedio de los valores de la relación).

10 Cada "puntuación clínica" se calcula en función de los parámetros articulares (Pz) o en función de otra puntuación clínica.

15 El efecto técnico logrado es la ponderación de una puntuación obtenida a partir de uno o más efectos positivos de un movimiento articular de la rodilla o una contracción muscular en comparación con uno o más efectos negativos de un movimiento articular de la rodilla o una contracción muscular (por ejemplo, efectos compensatorios), al mismo tiempo que aumenta la precisión y la robustez en la identificación de la alteración.

Para este fin, la invención comprende una unidad de visualización 70 configurada para visualizar las alteraciones identificadas AL.

20 Un pulsador de control específico está disponible en la pantalla para imprimir todos los detalles del informe en un archivo específico, por ejemplo, en el formato PDF.

La presente invención, en general, logra los siguientes efectos técnicos:

- 25
- detección eficiente de alteraciones en el sistema musculoesquelético de un sujeto específico;
  - precisión en identificar la alteración;
  - facilidad de comprensión y uso también para personal no especializado.

30 La unidad de procesamiento 60 y en general las otras unidades de cálculo en la presente descripción y en las reivindicaciones posteriores pueden presentarse divididas en distintos módulos funcionales (módulos de memoria o módulos de operación) con el único fin de describir sus funciones de manera clara y completa.

35 En realidad, las unidades pueden consistir en un solo dispositivo electrónico, adecuadamente programado para realizar las funciones descritas, y los diversos módulos pueden corresponder a entidades de hardware y/o software de rutina pertenecientes al dispositivo programado.

De manera alternativa o adicional, tales funciones pueden realizarse por una pluralidad de dispositivos electrónicos sobre los que pueden distribuirse los módulos funcionales mencionados anteriormente.

40 Las unidades pueden depender además de uno o más procesadores para la ejecución de las instrucciones contenidas en los módulos de memoria.

45 Además, las unidades y los módulos funcionales mencionados anteriormente pueden distribuirse entre diferentes ordenadores locales o remotos basándose en la arquitectura de la red en donde residen.

**REIVINDICACIONES**

1. Método implementado por ordenador para identificar alteraciones (AL) en un sistema musculoesquelético de un sujeto (1), en donde el método comprende las etapas de:

5           • asociar, con dicho sujeto, medios de detección no invasivos (Ri) capaces de detectar cantidades físicas (Qi) representativas de un estado (St) de dicho sujeto (1), en donde dicha etapa de asociación comprende las dos etapas de:

10           ◦ colocar dichos medios de detección (Ri) en dicho sujeto (1); y  
           ◦ aplicar dichos medios de detección (Ri) en dicho sujeto (1);

15           • detectar dichas cantidades físicas (Qi) a través de dichos medios de detección (Ri);  
           • identificar un modelo biomecánico (MBi) para dicho sujeto (1) mediante una unidad de identificación (20);  
           • determinar unos movimientos combinados (MCij) de músculos (Mi) y huesos (Oj) en función de dichas cantidades físicas detectadas (Qi) y dicho modelo biomecánico identificado (MBi);  
           • convertir dichos movimientos combinados (MCij) en una pluralidad de etapas de movimiento (Fkz) de segmentos (SEk) y articulaciones (ATz),  
           en donde, en dicha etapa de conversión, dichas etapas de movimiento (Fkz) se calculan en función de:

20           unos primeros parámetros articulares (Pz) de una primera articulación (ATz) y  
           al menos un segundo parámetro articular (Pz+1) calculado en función de unas segundas articulaciones (ATz+1) afectadas por el movimiento de la primera articulación (ATz);

25           en donde, en dicha etapa de conversión, dichas segundas articulaciones (ATz+1) se mueven en relación con dicha primera articulación (ATz) en una condición entre:

30           un movimiento en sinergia con dicha primera articulación (ATz);  
           un movimiento que compensa el movimiento producido por dicha primera articulación (ATz);

35           • proporcionar una unidad de procesamiento (60) para procesar datos de alteración;  
           • calcular unos parámetros (PALi) representativos de dichas alteraciones (AL) en función de:

40           ◦ dichas etapas de movimiento (Fkz) calculadas en dicha etapa de conversión y  
           ◦ dicho modelo biomecánico (MBi) identificado por dicha unidad de identificación (20), y  
           ◦ dichos parámetros articulares (Pz; Pz+1)

45           en donde el cálculo se realiza mediante un módulo de cálculo (61) de dicha unidad de procesamiento (60);  
           • comparar dichos parámetros calculados (PALi) y valores de referencia predefinidos (P<sub>REFi</sub>) representativos de los umbrales de alteración (S<sub>AL</sub>) en dicho sistema musculoesquelético,  
           en donde la comparación se realiza mediante un módulo de comparación (62) de dicha unidad de procesamiento (60);

50           • identificar dichas alteraciones (AL) en función de una coincidencia fallida entre dichos parámetros calculados (PALi) y dichos valores de referencia predefinidos (P<sub>REFi</sub>),  
           en donde la identificación se realiza mediante un módulo de identificación (63) de dicha unidad de procesamiento (60);

55           • determinar una pertenencia de una alteración a uno o más grupos de patologías musculoesqueléticas en función de dicha alteración identificada (AL), en donde la determinación se realiza mediante un módulo de clasificación (64) de dicha unidad de procesamiento (60).

2. Método para identificar alteraciones (AL) de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende una etapa de visualizar dichas alteraciones identificadas (AL) en tiempo real.

3. Método para identificar alteraciones (AL) de acuerdo con la reivindicación 2, que comprende la etapa de usar el modelo biomecánico (MBi) y combinarlo con un método para extraer ángulos de rotación articulares con el fin de calcular la cinemática articular en tiempo real para cada muestra de datos, en donde los ángulos articulares incluyen ángulos de rotación 3D de las articulaciones humerotorácica, glenohumeral y escapulotorácica.

4. Método para identificar alteraciones (AL) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde dicha etapa de determinar dichos movimientos combinados (MCij) de músculos (Mi) y huesos (Oj) comprende la etapa de visualizar dichos músculos (Mi) y huesos (Oi) en una vista combinada, preferentemente en una representación tridimensional.

5. Método para identificar alteraciones (AL) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde dicha etapa de identificar dicho modelo biomecánico (MBi) para dicho sujeto (1) comprende las etapas de:

- pedir al usuario unas medidas específicas (Mi) con el fin de calibrar el sistema en función de un:
    - escenario;
    - entorno;
    - número de medios de detección (Ri) aplicados al sujeto (1);
  - pedir al usuario que realice un procedimiento específico de colocación anatómica basado en una descripción biomecánica de los segmentos (SEk) y las articulaciones (ATz) del cuerpo humano, por medio de un protocolo de medición validado.
6. Método para identificar alteraciones (AL) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde dichos parámetros articulares (Pz; Pz+1) son parámetros numéricos.
7. Sistema para identificar alteraciones (AL) en un sistema musculoesquelético de un sujeto (1), en donde el sistema comprende:
- medios de detección no invasivos (Ri), asociados con dicho sujeto (1), y capaces de detectar cantidades físicas (Qi) representativas de un estado (St) de dicho sujeto (1), en donde dichos medios de detección (Ri) se colocan en dicho sujeto (1) y se aplican a dicho sujeto (1);
  - una unidad de detección (10) configurada para detectar dichas cantidades físicas (Qi) a través de dichos medios de detección (Ri);
  - una unidad de identificación (20) configurada para identificar un modelo biomecánico (MBi) para dicho sujeto (1);
  - una unidad de determinación (30) configurada para determinar unos movimientos combinados (MCij) de músculos (Mi) y huesos (Oj) en función de dichas cantidades físicas detectadas (Qi) y dicho modelo biomecánico identificado (MBi);
  - una unidad de conversión (40) configurada para convertir dichos movimientos combinados biomecánicos (MCij) en una pluralidad de etapas de movimiento (Fkz) de segmentos (SEk) y articulaciones (ATz), en donde dichas etapas de movimiento (Fkz) se calculan en función de:
    - unos primeros parámetros articulares (Pz) de una primera articulación (ATz) y
    - al menos un segundo parámetro articular (Pz+1) calculado en función de unas segundas articulaciones (ATz+1) afectadas por el movimiento de la primera articulación (ATz);
- en donde dichas segundas articulaciones (ATz+1) están configuradas para moverse en relación con dicha primera articulación (ATz) en una condición entre:
- un movimiento en sinergia con dicha primera articulación (ATz);
  - un movimiento que compensa el movimiento producido por dicha primera articulación (ATz);
- una unidad de procesamiento (60) para procesar datos de alteración que comprende:
    - un módulo de cálculo (61) configurado para calcular unos parámetros (PALi) representativos de dichas alteraciones (AL) en función de una o más de:
      - dichas etapas de movimiento (Fkz) calculadas en dicha unidad de conversión (40); y
      - dicho modelo biomecánico (MBi) identificado por dicha unidad de identificación (20); y
      - dichos parámetros articulares (Pz; Pz+1);
    - un módulo de comparación (62) configurado para comparar:
      - dichos parámetros calculados (PALi) y
      - unos valores de referencia predefinidos (PREFi) representativos de los umbrales de alteración (SAL) en dicho sistema musculoesquelético;
    - un módulo de identificación (63) configurado para identificar dichas alteraciones (AL) en función de una coincidencia fallida entre dichos parámetros calculados (PALi) y dichos valores de referencia predefinidos (PREFi);
    - un módulo de clasificación (64) configurado para determinar la pertenencia de una alteración (AL) a uno o más grupos de patologías musculoesqueléticas en función de dichas alteraciones (AL) identificadas por dicho módulo de identificación (63).
8. Sistema para identificar alteraciones (AL) de acuerdo con la reivindicación 7, que comprende además una unidad de visualización (70) configurada para visualizar dichas alteraciones identificadas (AL).
9. Sistema para identificar alteraciones (AL) de acuerdo con la reivindicación 8, en donde la unidad de determinación

(30) está configurada para usar el modelo biomecánico (MBi) y combinarlo con un método para extraer ángulos de rotación articulares con el fin de calcular la cinemática articular en tiempo real para cada muestra de datos, en donde los ángulos articulares incluyen ángulos de rotación 3D de las articulaciones humerotorácica, glenohumeral y escapulotorácica.

5 10. Sistema para identificar alteraciones (AL) de acuerdo con la reivindicación 7 u 8 o 9, en donde dicha unidad de determinación (30) comprende un módulo de visualización (31) configurado para visualizar dichos músculos (Mi) y huesos (Oj) en una vista combinada, preferentemente una tridimensional.

10 11. Sistema para identificar alteraciones (AL) de acuerdo con la reivindicación 10, que comprende una unidad de memoria (80) para memorizar dichos movimientos combinados (MCij) y dicha vista combinada de dichos músculos (Mi) y huesos (Oj).

15 12. Sistema para identificar alteraciones (AL) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 7 a 11, en donde dicha unidad de identificación (20) comprende además:

- un primer módulo de solicitud (22) configurado para pedir al usuario unas medidas específicas (MISi) con el fin de calibrar el sistema en función de un:

20

- escenario;
- entorno;
- número de medios de detección (Ri) aplicados al sujeto (1);

25

- un segundo módulo de solicitud (23) configurado para pedir al usuario que realice un procedimiento específico de colocación anatómica en función de una descripción biomecánica de los segmentos (SEk) y las articulaciones (ATz) del cuerpo humano.

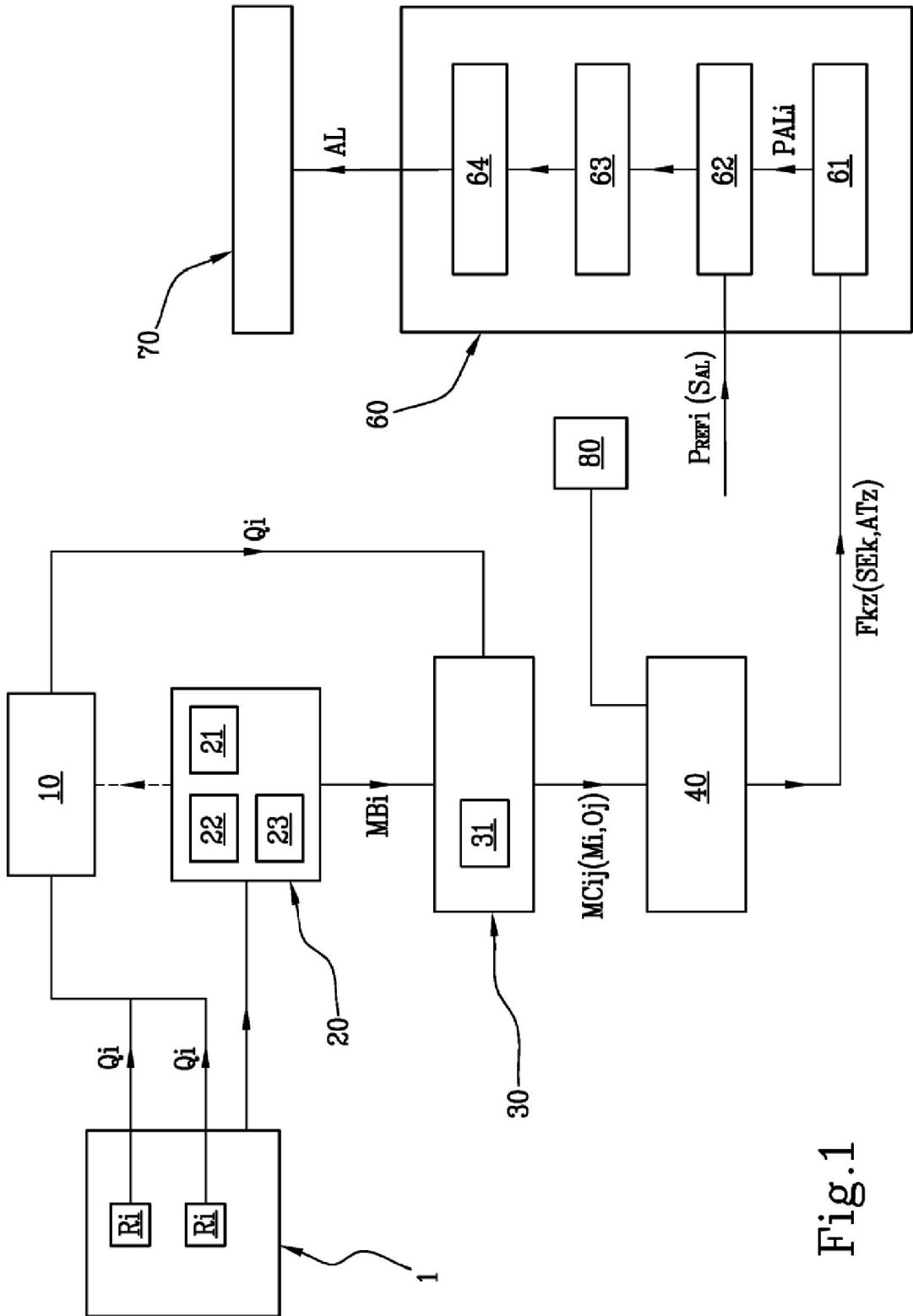


Fig.1

Fig.2a

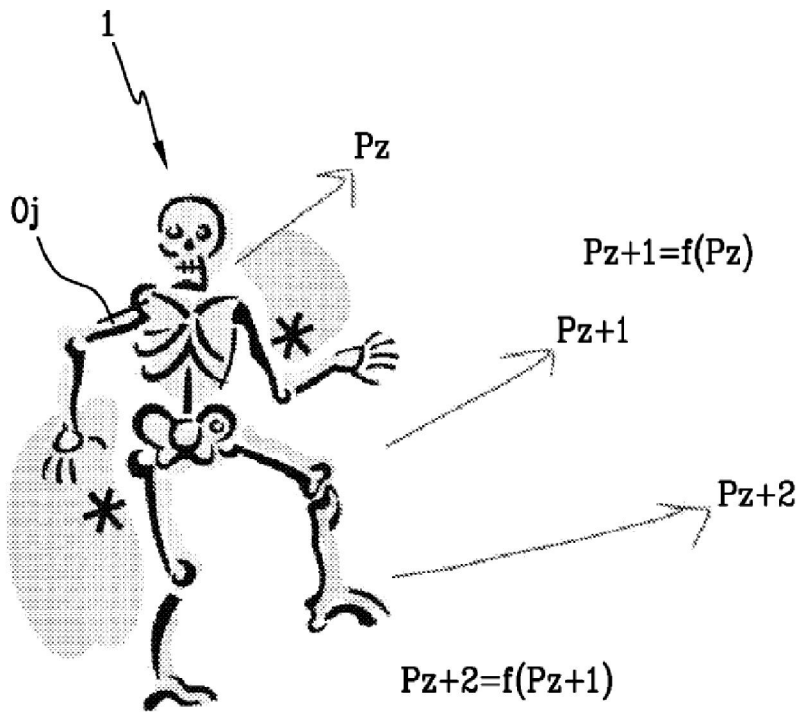
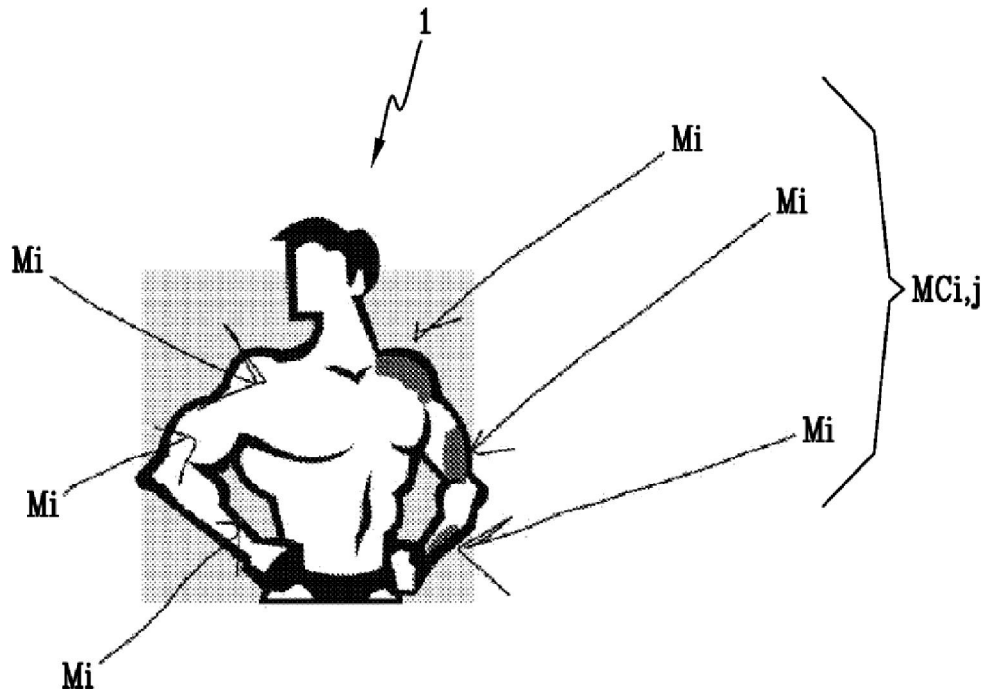


Fig.2b

Fig.3

