

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 951 569**

21 Número de solicitud: 202330290

51 Int. Cl.:

**A63B 24/00** (2006.01)

**A61B 5/22** (2006.01)

**A63B 21/055** (2006.01)

12

## PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

**11.04.2023**

43 Fecha de publicación de la solicitud:

**23.10.2023**

Fecha de modificación de las reivindicaciones:

**16.01.2024**

Fecha de concesión:

**22.08.2024**

45 Fecha de publicación de la concesión:

**29.08.2024**

73 Titular/es:

**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA  
(60.0%)**

**CAMINO DE VERA, S/N  
46022 VALENCIA (Valencia) ES y  
UNIVERSITAT DE VALÈNCIA (40.0%)**

72 Inventor/es:

**MARTÍN SAN AGUSTÍN, Rodrigo;  
DÍEZ RUANO, José Luis;  
BONDÍA COMPANY, Jorge y  
GARCÍA CÓRCOLES, Pablo**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

54 Título: **MÉTODO Y SISTEMA DE MONITORIZACIÓN DE EJERCICIOS CON ELEMENTOS ELÁSTICOS**

57 Resumen:

Método y sistema de monitorización de ejercicios con elementos elásticos. El método comprende obtener la elongación instantánea del elemento elástico (30); se parte de una posición inicial en la que el usuario coge el elemento elástico, por ejemplo, con una mano, y durante el ejercicio se obtiene la elongación del mismo. Se obtiene la fuerza experimentada por dicho elemento elástico basándonos en ecuaciones de regresión asociadas al mismo, que proporcionan la fuerza en función de su elongación y suministradas o no por el fabricante del elemento elástico. Una vez obtenida la fuerza del elemento elástico se calcula la fuerza muscular ejercida por el usuario; para ello usamos el ángulo ( $\alpha$ ) que forman el miembro (20) de palanca del usuario y el elemento elástico. El sistema comprende un medio de medición inercial, un medio de procesamiento informático, una aplicación y un elemento elástico.

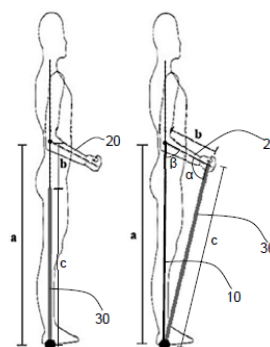


FIG. 1

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 41 LP 24/2015.  
Dentro de los seis meses siguientes a la publicación de la concesión en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial cualquier persona podrá oponerse a la concesión. La oposición deberá dirigirse a la OEPM en escrito motivado y previo pago de la tasa correspondiente (art. 43 LP 24/2015).

ES 2 951 569 B2

## DESCRIPCIÓN

### MÉTODO Y SISTEMA DE MONITORIZACIÓN DE EJERCICIOS CON ELEMENTOS ELÁSTICOS

5

#### **Sector de la técnica**

La presente invención se refiere al sector técnico de los métodos y los sistemas de estimación y monitorización de parámetros en ejercicios físicos. Más concretamente,  
10 la invención se sitúa en el campo de los métodos y sistemas destinados a estimar y supervisar parámetros asociados a ejercicios físicos con elementos elásticos.

#### **Antecedentes de la invención**

15 El ejercicio de resistencia aeróbica y el entrenamiento de fuerza se han implementado tradicionalmente como modalidades de entrenamiento en programas de rehabilitación de lesiones. Aunque ambos pueden promover beneficios sustanciales cuando se prescriben adecuadamente, la mayoría de la evidencia respalda la inclusión del entrenamiento de fuerza frente al entrenamiento aeróbico en las recomendaciones y  
20 pautas actuales.

Sin embargo, a pesar de que varios estudios confirmen los beneficios para la salud del entrenamiento de fuerza, la actividad física en individuos con patología debe adaptarse individualmente para prevenir reacciones adversas. Por lo tanto, las variables del  
25 ejercicio físico en relación con la prescripción, como el tipo, la frecuencia, la intensidad y la duración, son críticos en la implementación del ejercicio en un entorno clínico. La gestión de estas variables de entrenamiento en un entorno clínico suele ser llevada a cabo por fisioterapeutas, con un objetivo específico, en función de la condición de cada paciente.

30

La ejecución de estos entrenamientos se suele llevar a cabo en forma de programas supervisados basados en gimnasios y programas de entrenamiento en el hogar. Los programas basados en gimnasios pueden tener una ventaja sobre los programas basados en el hogar ya que se pueden controlar la cantidad y la calidad del  
35 entrenamiento directo y cabe la posibilidad de realizarlos bajo supervisión de

profesionales. Sin embargo, seguir un programa de rehabilitación en el hogar promueve la adquisición de un papel más activo en los pacientes y mejora la adhesión a la actividad física junto con técnicas de cambio de comportamiento.

- 5 Entre los diferentes métodos de aplicación de carga en el entrenamiento de fuerza en programas domiciliarios, las bandas elásticas han demostrado ser una modalidad eficaz por su bajo precio, adaptabilidad a diferentes entornos, y simple capacidad de progreso. Junto con el tipo, la frecuencia y la intensidad, el Tiempo Bajo Tensión (TUT) es una de las variables de entrenamiento específica e importante en los ejercicios de
- 10 banda elástica. El TUT total refleja el tiempo de un ejercicio y se refiere a la suma de contracciones concéntricas, cuasi-isométricas y excéntricas.

Se han propuesto diferentes herramientas para medir adecuadamente la tensión de las bandas elásticas o los TUTs durante ejercicios domiciliarios. Por una parte, la

15 tensión de las bandas elásticas se mide habitualmente con dinamómetros de tracción, los cuales se anclan a un extremo de la banda y monitorizan la tensión que realiza la banda elástica, como es el ejemplo del dinamómetro SUIFF pro (<https://www.suiff.com/profesional>). Éstos tienen una principal limitación, ya que aunque miden la fuerza tensil de la banda, no son capaces de cuantificar la tensión

20 real realizada por el sujeto, dado que ésta depende del ángulo de incidencia de la banda sobre el brazo de palanca. Por otra parte, la principal herramienta de medición del TUT durante un ejercicio domiciliario es un sensor que se ancla a la banda elástica y es capaz de registrar cuánto se elonga la misma, a partir de lo cual se evalúan los TUTs (Rathleff et al., 2014). La principal limitación de este tipo de sensores es que

25 solo sirve para mediciones temporales como son los TUTs pero no es capaz de registrar la fuerza tensil.

Es deseable por tanto un método y un sistema asociado que faciliten el seguimiento de ejercicios físicos, en especial de rehabilitación aunque no de forma exclusiva, y sin

30 necesidad de la presencia constante de un profesional supervisando al paciente o usuario. La presente invención alcanza este objetivo con un método de implementación relativamente sencilla y que, asimismo, se puede materializar en un sistema también sencillo y utilizable por cualquier usuario.

**Explicación de la invención**

Con la finalidad antes expuesta, se proporciona un método de estimación y monitorización de la fuerza muscular ejercida por un usuario y del Tiempo Bajo Tensión, TUT, en ejercicios con al menos un elemento elástico. Para simplificar, llamaremos “fuerza muscular” a la fuerza real que desempeña el usuario o paciente, únicamente mediante esfuerzo muscular, por contraposición a “fuerza (total) experimentada por el elemento elástico”.

El método comprende esencialmente obtener la elongación o alargamiento instantáneo del elemento elástico con respecto al cual se quiere hacer el seguimiento o control. Es decir, partimos de una posición inicial en la que el usuario tiene cogido el elemento elástico, por ejemplo, con una mano, y durante el ejercicio obtenemos la elongación de dicho elemento. Por otro lado, se obtiene también la fuerza experimentada por dicho elemento elástico basándonos en una o varias ecuaciones de regresión asociadas al mismo y que nos dan el valor de la fuerza en función de su elongación. Estas ecuaciones pueden ser proporcionadas por el fabricante de las bandas o elementos elásticos o, por ejemplo, puede ser calculadas por la entidad que desee implementar el método. Una vez obtenida la fuerza experimentada por el elemento elástico pasamos a calcular la fuerza muscular, real, ejercida por el usuario; para ello usamos el ángulo que forman el miembro de palanca del usuario (es decir, el antebrazo en el caso concreto de tener la banda elástica cogida con una mano y realizar un ejercicio de giro con respecto al codo) y el elemento elástico.

Paralelamente, y en relación con el cálculo del TUT, otra etapa consiste en obtener los instantes de tiempo en los que el movimiento del miembro de palanca (antebrazo en este caso) cambia de sentido y para ello monitorizamos el ángulo que va describiendo dicho miembro de palanca durante el ejercicio. Con estos instantes de tiempo, calculamos el Tiempo Bajo Tensión, TUT.

Según otra característica de la invención, la etapa antes mencionada en la que se obtiene la elongación instantánea del elemento elástico comprende las subetapas de obtener la longitud del miembro de palanca, obtener la longitud inicial del elemento o banda elástico, obtener el ángulo inicial que forman el miembro de palanca y un lado imaginario que sería el que cierra el triángulo cuyos otros dos lados son el miembro de

palanca y la banda elástica y, una vez iniciado el ejercicio, obtener la variación o valor instantáneo de dicho ángulo. Con unos cálculos trigonométricos que combinan los valores mencionados en este párrafo, y que se detallarán más adelante, se implementa una forma preferida de obtención de la elongación del elemento elástico en cualquier momento del ejercicio.

El método comprende también fijar tres posiciones de partida para su implementación, de tal manera que los cálculos implicados en las etapas arriba mencionadas se simplifican y además cubren la mayor parte de ejercicios que se realizan con estas bandas en rehabilitación. Estas tres posiciones de partida se corresponden con un valor de 180°, 135° ó 90° para el ángulo formado entre el miembro de palanca correspondiente y el elemento elástico con el que esté trabajando dicho miembro.

Según otra característica de la invención, para la ecuación o ecuaciones de regresión usadas para la obtención de la fuerza real ejercida por el usuario se toma como variable de entrada el porcentaje de variación de la longitud de la banda elástica, y, preferentemente, se asigna un porcentaje del 0% para la longitud inicial de la banda y del 100% para una longitud que doble a la inicial; el resto de porcentajes se asignan a diferentes longitudes de la banda entre la inicial y el doble o incluso más allá (por ejemplo el 110%).

La etapa en la que se obtienen los instantes de tiempo en los que cambia el ángulo recorrido por el miembro de palanca durante el ejercicio se lleva a cabo, en una realización preferida, de manera que cuando dicho ángulo llega al 90% del valor del ROM fijado como ángulo máximo del ejercicio (y en el que el usuario debería invertir el movimiento del miembro de palanca), ese momento se fija como instante de cambio, y, en el sentido inverso, cuando el ángulo llega al 10% del valor del ROM se establece otro instante de cambio; así, sucesivamente para cada repetición.

De acuerdo con otra característica del método de la invención, las etapas anteriores se pueden aplicar de manera simultánea para más de un elemento elástico y en uno o varios miembros de palanca.

El método comprende también una etapa en la que se notifican parámetros implicados en dicho método, o acciones asociadas a esos parámetros, con tal de llevar a cabo

una mejor monitorización del ejercicio. Entre esos parámetros se pueden mencionar: el número de repeticiones del ejercicio realizadas en cada momento o a intervalos de tiempo, la consecución de un número de repeticiones determinado que se haya fijado previamente, la superación de un ROM máximo fijado previamente (para evitar  
 5 lesiones o avisar de mejoras en el rendimiento), un recorrido angular del ejercicio por debajo de un umbral determinado (para advertir que el ejercicio no se está realizando correctamente), la superación de un umbral determinado de fuerza muscular ejercida por el usuario (para evitar lesiones o mantener simplemente un ritmo de progresión adecuado), una fuerza muscular ejercida por el usuario demasiado baja, una  
 10 consecución de un TUT determinado que se hay fijado como objetivo, la superación de un umbral de TUT determinado, el tiempo total acumulado del ejercicio, etcétera.

Se prevé también que estás notificaciones se puedan transmitir al usuario de manera visual (por ejemplo, con pantallas y/o luces, LEDs, etcétera), acústicamente (mensajes  
 15 grabados que indiquen las situaciones arriba mencionadas, señales de aviso) o con medios táctiles en el sentido que puedan ser percibidos por el paciente o usuario, por ejemplo, mediante vibraciones de algún dispositivo que esté en contacto con la piel de dicho usuario.

20 La invención también proporciona un sistema asociado al método antes descrito y que, para llevar a cabo sus etapas, comprende esencialmente un medio de medición inercial para la obtención de varios de los parámetros antes mencionados, un medio de procesamiento informático para realizar las operaciones y cálculos asociados a las etapas descritas a través de una aplicación controlada por el mismo y el elemento o  
 25 elementos elásticos correspondientes.

Preferentemente, el medio de medición inercial se puede fijar al miembro de palanca que esté realizando el ejercicio físico, por ejemplo en forma de pulsera en la muñeca, el tobillo o el brazo, o incluso en la cabeza a modo de banda o cinta o similar. Además,  
 30 en una de las realizaciones preferidas el medio de medición inercial comprende una unidad IMU que puede incluir acelerómetros, giróscopos y elementos similares.

El medio de procesamiento puede ser cualquiera de los dispositivos usados habitualmente para procesar señales de entrada del tipo de las proporcionadas por una unidad de  
 35 medición inercial y que admita la instalación de una aplicación adaptada para la

ejecución de las etapas, por ejemplo, un dispositivo informático móvil, un ordenador de sobremesa, un ordenador portátil, un ordenador tipo *notebook*, una tableta, un reloj inteligente, un teléfono móvil o un teléfono inteligente.

- 5 En cuanto al elemento elástico usado en el sistema de la presente invención, este puede ser cualquier elemento o conjunto de elementos dotado de elasticidad y que, por lo tanto, sirva para el tipo de ejercicios aquí descritos, por ejemplo, una banda elástica de las comercializadas habitualmente para ejercicio físico, un dispositivo accionado por uno o varios muelles, un dispositivo accionado por una o varias poleas
- 10 similares a los que se encuentran en un gimnasio, un dispositivo accionado por aire comprimido y cualquier tipo de dispositivo tensor con capacidad de recuperar su posición de partida.

- En correspondencia con la etapa de notificación antes mencionada, el sistema de la
- 15 invención puede comprender uno o varios medios de notificación para emitir notificaciones acústicas, visuales o táctil, o cualquier combinación de las anteriores. Estos medios pueden ser, por ejemplo, altavoces, pantallas, dispositivos vibradores, LEDs, etcétera.

- 20 Finalmente, el sistema de la presente invención prevé que todos los elementos integrantes del mismo (medio de procesamiento informático, medio de medición inercial, medio de notificación) o solo algunos de ellos puedan estar incluidos en un único dispositivo.

## 25 **Breve descripción de los dibujos**

Para complementar la descripción se adjunta una serie de figuras que ilustran el método de la presente invención. En los dibujos:

- 30 La figura 1 muestra una representación de un usuario con un elemento elástico en dos posiciones diferentes de un ejercicio cuando el ángulo inicial entre el miembro de palanca y el elemento elástico es de 180°.

- Las figuras 2(a) y 2(b) muestran otros dos ejemplos de un ejercicio en el que se
- 35 implementa el método de la presente invención con el ángulo inicial de 180°, y también

en dos posiciones diferentes del ejercicio.

La figura 3 muestra una representación de un usuario con un elemento elástico en dos posiciones diferentes de un ejercicio cuando el ángulo inicial es de 135°.

5

Las figuras 4(a) y 4(b) muestran otros dos ejemplos de un ejercicio en el que se implementa el método de la presente invención con el ángulo inicial de 135°, como en la figura 3, y también en dos posiciones diferentes del ejercicio.

10 Las figuras 5 y 6 muestran dos representaciones de un usuario en dos ejercicios diferentes, y en dos posiciones para cada ejercicio, cuando el ángulo inicial es de 90°.

### **Descripción detallada de la invención**

15 A continuación se describirán en detalle formas de realización de la invención ilustradas en las figuras antes enumeradas.

En la figura 1 puede verse una representación de un usuario con un elemento elástico (30). En dicha figura también puede apreciarse lo que en la presente denominamos como miembro (20) de palanca y también una representación de un lado imaginario (10) que, junto con el elemento elástico (30) y el miembro (20), forman un triángulo útil para explicar el método de la invención.

La expresión “miembro de palanca” se refiere según la presente a cualquier miembro o extremidad o parte de miembro o extremidad del cuerpo de un usuario que actúe ejerciendo una fuerza sobre un elemento elástico (30) respectivo en cualquiera de los ejercicios físicos o de rehabilitación que puedan realizarse con las conocidas comúnmente como “bandas elásticas”; de manera más general, se refiere a cualquier parte del cuerpo que pueda ejercer una fuerza según lo descrito en este párrafo.

30

Por su parte, la expresión “elemento elástico” incluye las conocidas como “bandas elásticas” y pretende hacer referencia a cualquier elemento dotado de elasticidad que se use actualmente, o que pueda concebirse en el futuro, para el tipo de ejercicio físico concreto que aquí se trata. Es decir, los elementos elásticos (30) pueden presentarse en forma de cuerdas (cilíndricas o no) o por ejemplo, muelles, dispositivos de aire

35



comprimido, pistones, etcétera, o una combinación de cualesquiera de los anteriores con otros elementos elásticos o rígidos. Más específicamente, el "elemento elástico" no tiene por qué ser de naturaleza sustancialmente textil o a base de muelles o resortes (como son los más habituales en este campo de aplicación). La condición que deben

5 cumplir dichos elementos o conjuntos de elementos elásticos – además del nivel de elasticidad suficiente antes mencionado - es que, a partir de ellos, se puedan obtener o calcular los datos que la presente invención toma como parámetro de entrada según se expone en la reivindicación correspondiente.

10 En cuanto a los diferentes parámetros y variables usados en la descripción y las reivindicaciones, cuando se haga referencia a uno de ellos de manera general se utilizará su designación simple (por ejemplo  $c$ , para la longitud del elemento elástico (30)), cuando nos queramos referir a su valor en el momento de inicio del ejercicio

añadiremos el subíndice "0" (por ejemplo,  $c_0$ ) y cuando se desee especificar su valor

15 instantáneo, generalmente variable, en el transcurso del ejercicio físico, se añadirá el subíndice "i" (por ejemplo,  $c_i$ ).

Volviendo a la figura 1, en la parte de la izquierda se ilustra el elemento elástico (30) en la posición de partida del ejercicio, es decir en orientación sustancialmente vertical,

20 mientras que en la parte de la derecha se muestra dicho elemento (30) tras ser movido por el miembro (20) de palanca (cogido por la mano del usuario) formando entre ellos un ángulo  $\alpha$ . En la posición de la izquierda este ángulo  $\alpha$  es de  $180^\circ$ . El mencionado ángulo  $\alpha$  define las tres posiciones de partida del ejercicio en las que se basa la realización preferida del método de la invención y las mismas se corresponden con los

25 siguientes tres valores de ese ángulo:  $180^\circ$ ,  $90^\circ$  y  $135^\circ$ . La elección de estas tres posiciones de partida simplifica los cálculos de las operaciones del método y cubre la mayor parte de ejercicios físicos realizados normalmente con elementos elásticos (30). Así, las figuras 1 y 2 se corresponden con ejercicios físicos que toman como ángulo  $\alpha$  de partida un valor de  $180^\circ$ , las figuras 3 y 4 se corresponden con un ángulo  $\alpha$  de

30 partida de  $135^\circ$  y las figuras 5 y 6 con uno de  $90^\circ$ .

Con la fijación de las tres posiciones básicas de partida del triángulo (y las longitudes correspondientes de partida de cada uno de sus lados) se simplifican los medios sensores o de procesamiento necesarios para llegar a los resultados finales ya que

35 solamente es necesario medir el ROM instantáneo. Además del ROM, el resto de

parámetros de entrada son, por tanto, valores iniciales correspondientes de dichas tres posiciones que se obtienen fácilmente al iniciar cada ejercicio concreto y valores característicos de los elementos elásticos que vienen dados, por ejemplo, en forma de tabla por el fabricante de las bandas o, si este no dispusiera de ellos, por la entidad  
5 que implemente el método de la presente invención.

Durante la ejecución de un ejercicio, el medio de medición inercial registra y manda a la aplicación el ángulo de inclinación,  $\beta$ , del miembro (20) de palanca (brazo, antebrazo, pierna, etcétera) con respecto a la articulación móvil (hombro, codo, rodilla, etcétera). Posteriormente, la aplicación, a partir del ángulo instantáneo,  $\beta_i$ , calculará la  
10 elongación de la banda elástica (30) dependiendo de la posición inicial de la misma, pudiendo ser esta longitudinal al brazo de palanca, en  $135^\circ$ , o perpendicular, según se ha explicado anteriormente.

Midiendo o calculando la longitud,  $a$ , del lado imaginario (10), conoceremos dos lados fijos del triángulo representado en las figuras, y considerando el  $ROM_i$  calculado como la desviación del ángulo inicial,  $\beta_0$ , que forman estos dos lados, ya tenemos suficientes valores para obtener la longitud de la banda elástica (30).

20 Concretamente, la longitud instantánea,  $c_i$ , del elemento elástico (30) será:

$$c_i = \sqrt{a^2 + b^2 - 2 \cdot a \cdot b \cdot \cos(\beta_0 + ROM_i)}$$

Para ejercicios con la banda (30) inicialmente longitudinal (figuras 1 y 2), podemos  
25 considerar 'a' como la suma de la longitud inicial, ' $c_0$ ', de la banda elástica (30) y la longitud, 'b', del miembro (20) de palanca correspondiente al ejercicio. En cuanto al valor del ángulo inicial,  $\beta_0$ , como se puede observar en la figura 1, será nulo, considerando únicamente el  $ROM_i$  como ángulo  $\beta_i$  entre los dos lados del triángulo imaginario.

30 En cuanto a los ejercicios con la banda (30) inicialmente en  $\alpha_0 = 135$  grados (figuras 3 y 4), podemos obtener la distancia de 'a', considerando el triángulo imaginario que forman la banda elástica (30) y el miembro (20) de palanca inicialmente. Conociendo estos tres valores, podemos obtener el valor de 'a', con el teorema del coseno por  
35 ejemplo, y el valor inicial entre los lados 'a' y 'b'.

$$a = \sqrt{b^2 + c_0^2 - 2 \cdot b \cdot c_0 \cdot \cos(135^\circ)}$$

$$\beta_0 = \cos^{-1}\left(\frac{a^2 + b^2 - c_0^2}{2ab}\right)$$

- 5 Finalmente, para obtener el valor de 'a' en los ejercicios con la banda (30) inicialmente perpendicular al miembro (20) (figuras 5 y 6), podemos considerar que 'a' es la hipotenusa del triángulo rectángulo imaginario, y el ángulo inicial entre 'a' y 'b',  $\beta_0$ , se puede obtener mediante el arcotangente entre la longitud inicial,  $c_0$ , de la banda elástica (30) y la longitud, 'b', del brazo (20) de palanca.

10

$$a = \sqrt{b^2 + c_0^2}$$

$$\beta_0 = \tan^{-1}\left(\frac{c_0}{b}\right)$$

- Una vez obtenidos los valores constantes de 'a' y 'b' teniendo en cuenta el ejercicio que se haya seleccionado, se puede obtener la longitud,  $c_i$ , de la banda elástica (30) en cualquier momento, por ejemplo, mediante el teorema del coseno, que relaciona un lado del triángulo con los otros dos y con el coseno del ángulo formado por estos dos lados. De esta manera obtenemos una fórmula para calcular la longitud de la banda elástica (30) dependiente únicamente del valor de ROM en el momento de la medición.

20

- Para el cálculo de la fuerza experimentada,  $F_e$ , por la banda elástica (30), se pueden utilizar funciones de regresión calculadas previamente para cada color de la gama de bandas elásticas (30) como, por ejemplo, las de la marca Theraband®, en orden de durezas, o niveles de resistencia, de menor a mayor: Amarilla, Roja, Verde, Azul, Negra, Plateada, y Dorada. Estas se recogen en la tabla 1 y están pendientes de publicar ("Mechanical evaluation of the resistance of Theraband® CLX").

- Estas funciones proporcionan el valor de fuerza directamente en Newtons, y dependen únicamente del porcentaje de elongación incrementada. Para obtener este porcentaje en cada momento, este se calculará a partir de la elongación instantánea y la elongación inicial establecida para el ejercicio, teniendo en cuenta que 0% es el valor inicial, y 100% el doble de longitud que la elongación inicial.

30

Tabla 1

Color de la banda elástica	Ecuación de regresión
Amarillo	$y = 1E-05x^3 - 0,0028x^2 + 0,3199x - 0,1363$
Rojo	$y = 8E-06x^3 - 0,0026x^2 + 0,3624x - 0,5823$
Verde	$y = 9E-06x^3 - 0,0029x^2 + 0,4228x + 0,4233$
Azul	$y = 2E-05x^3 - 0,0047x^2 + 0,5683x - 0,6196$
Negra	$y = 3E-05x^3 - 0,0068x^2 + 0,7682x - 0,5941$
Plateada	$y = 6E-05x^3 - 0,014x^2 + 1,425x - 2,0456$
Dorada	$y = 8E-05x^3 - 0,018x^2 + 1,8375x - 2,7949$

- En cuanto a la fuerza real,  $F_r$ , que desempeña el paciente, únicamente mediante
- 5 esfuerzo muscular, se volverá a aplicar trigonometría para obtener una aproximación, lo más certera posible, de esta magnitud. Para ello, se multiplicará el valor de la fuerza instantánea experimentada,  $F_e$ , por el elemento elástico (30), por el seno del ángulo formado entre el brazo (20) de palanca y la banda elástica (30), considerando así que cuando la banda (30) y el brazo (20) forman  $0^\circ$  ó  $180^\circ$ , no se está produciendo ningún
- 10 esfuerzo muscular, y que en  $90^\circ$  toda la fuerza aplicada sobre el elemento elástico (30) es producida por esfuerzo muscular.

$$F_r = F_e \cdot \text{Sen}(\alpha)$$

- 15 Para el cálculo de los TUTs, con ayuda de una variable booleana que llamaremos “isotónica”, se identifica si el movimiento del paciente está produciendo una fuerza Isotónica Excéntrica o Concéntrica. De esta manera, cuando se supere un umbral de 10% del ROM objetivo, unos  $90^\circ$  típicamente, sobre el mínimo o máximo registrado de la repetición, se confirma un cambio en el movimiento del paciente, y por consecuencia
- 20 se invertirá el valor de “isotónica”. En caso de identificar el inicio del movimiento produciendo fuerza Isotónica Excéntrica, se identificará el inicio de la repetición, y se guardará el momento exacto, en milisegundos, cuando se inicia la repetición. En las mismas condiciones, y en caso de realizar un cambio de fuerza Isotónica Concéntrica a Isotónica Excéntrica, o en caso de alcanzar un valor de ROM instantáneo menor al
- 25 10% del ROM objetivo, entre 0 y 9 grados, se confirma la finalización de una repetición y se guardará el momento exacto, en milisegundos, cuando se finaliza la repetición.

- En las pruebas realizadas por los inventores se ha trabajado con el porcentaje mencionado del 10% como límite para un cambio en el movimiento del paciente y los resultados han sido satisfactorios pero otras realizaciones pueden usar porcentajes
- 5 diferentes que también pueden generar resultados adecuados; se podrían usar por ejemplo porcentajes del 5% ó incluso del 15% ó cualquier valor entre estos extremos y, a partir de las reivindicaciones, se entiende que estas variaciones no afectan a la esencia de la invención en una de sus realizaciones más genéricas.
- 10 En una realización implementada por los inventores de la presente se utilizó una pulsera que incluye como componentes fundamentales para el fin de la monitorización del ejercicio domiciliario: el empleo de un dispositivo IMU y unos medios de comunicación por Bluetooth Low Energy, BLE, lo cual nos facilita la conexión con cualquiera de los dispositivos actuales y nos asegura un consumo energético bajo. El
- 15 diseño de pulsera se adapta tanto para su uso en la muñeca como en el tobillo, dos de las partes móviles más usadas en entrenamientos de fuerza con bandas elásticas (30). En dicha realización se puso a prueba el método de la invención con bandas elásticas (30) de la marca Theraband®, ya que es una de las marcas más utilizadas por los fisioterapeutas.
- 20 La pulsera es capaz de estimar la fuerza real,  $F_r$ , realizada por el sujeto y calcular los TUTs a partir de una serie de datos previos: la longitud,  $b$ , del miembro (20) de palanca, la longitud,  $c_0$ , de la banda (30) en el inicio, y el ángulo de incidencia,  $\alpha_0$ , de la banda (30) sobre el miembro (20) de palanca en el inicio del ejercicio.
- 25

## REIVINDICACIONES

1. Método de estimación y monitorización de la fuerza muscular ejercida por un usuario y del Tiempo Bajo Tensión, TUT, en ejercicios con al menos un elemento elástico (30), que comprende:
  - obtener la elongación instantánea de al menos uno de los elementos elásticos (30);
  - obtener la fuerza experimentada por dicho elemento elástico (30) sobre la base de al menos una ecuación de regresión del mismo que proporciona valores en función de su elongación;
  - obtener la fuerza muscular ejercida por el usuario a partir de la fuerza experimentada por dicho elemento elástico (30) y del ángulo,  $\alpha$ , formado entre un miembro (20) de palanca cogido al elemento elástico (30) y el propio elemento (30);
  - obtener los instantes de tiempo de cambio de sentido de la variación del ángulo recorrido por el miembro (20) de palanca durante el ejercicio;
  - a partir de los anteriores instantes de tiempo, obtener el TUT.
2. Método según la reivindicación 1, en el que la etapa de obtención de la elongación instantánea de al menos uno de los elementos elásticos (30) comprende:
  - obtener la longitud,  $b$ , de dicho miembro (20) de palanca;
  - obtener la longitud inicial,  $c_0$ , de dicho elemento elástico (30) que está cogido al miembro (20) de palanca;
  - obtener el ángulo inicial,  $\beta_0$ , formado entre el miembro (20) de palanca y un lado imaginario (10) que discurre entre el punto de articulación de dicho miembro (20) de palanca y el extremo del elemento elástico (30) no cogido al miembro (20); y
  - durante la realización del ejercicio:
    - obtener la variación del ángulo,  $\beta$ , con respecto a su valor inicial,  $\beta_0$ .
3. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el ángulo de partida,  $\alpha_0$ , formado entre el miembro (20) de palanca y el elemento elástico (30) se selecciona de:  $180^\circ$ ,  $135^\circ$  y  $90^\circ$ .
4. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que, en la etapa de obtención de la fuerza experimentada por dicho elemento elástico (30), la por lo menos una ecuación de regresión toma como variable de entrada el porcentaje de variación de la longitud,  $c_i$ , del elemento elástico (30).

5. Método según la reivindicación anterior, en el que el porcentaje de variación de la longitud,  $c_i$ , del elemento elástico (30) adopta un valor del 0% para la longitud inicial,  $c_0$ , de dicho elemento elástico (30) y un valor del 100% para el doble de dicha longitud inicial,  $c_0$ , asignándose el resto de valores de porcentaje a longitudes respectivas del elemento elástico (30) de acuerdo con esta correspondencia establecida.
6. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que, en la etapa de obtención de los instantes de tiempo de cambio de sentido de la variación del ángulo recorrido por el miembro (20) de palanca durante el ejercicio, se determina un instante de cambio de sentido cuando el valor instantáneo de dicho ángulo recorrido se sitúa a una distancia angular, con respecto al ángulo inicial de partida y/o al ángulo final del ejercicio, igual o inferior al 10% del ROM marcado para dicho ejercicio.
7. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que al menos una de las etapas anteriores se realiza simultáneamente para una pluralidad de elementos elásticos (30) cogidos a uno o una pluralidad de miembros (20) de palanca.
8. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende una etapa de notificación de al menos uno de los siguientes parámetros:
  - número de repeticiones del ejercicio realizadas;
  - consecución de un número de repeticiones determinado;
  - superación de un ROM máximo fijado previamente;
  - recorrido angular del ejercicio por debajo de un umbral determinado;
  - superación de un umbral determinado de fuerza muscular ejercida por el usuario;
  - fuerza muscular ejercida por el usuario demasiado baja;
  - consecución de un TUT determinado;
  - superación de un umbral de TUT determinado;
  - tiempo total acumulado del ejercicio.
9. Método según la reivindicación anterior, en la que la etapa de notificación comprende notificar el por lo menos un parámetro de forma visual y/o acústica y/o táctil.

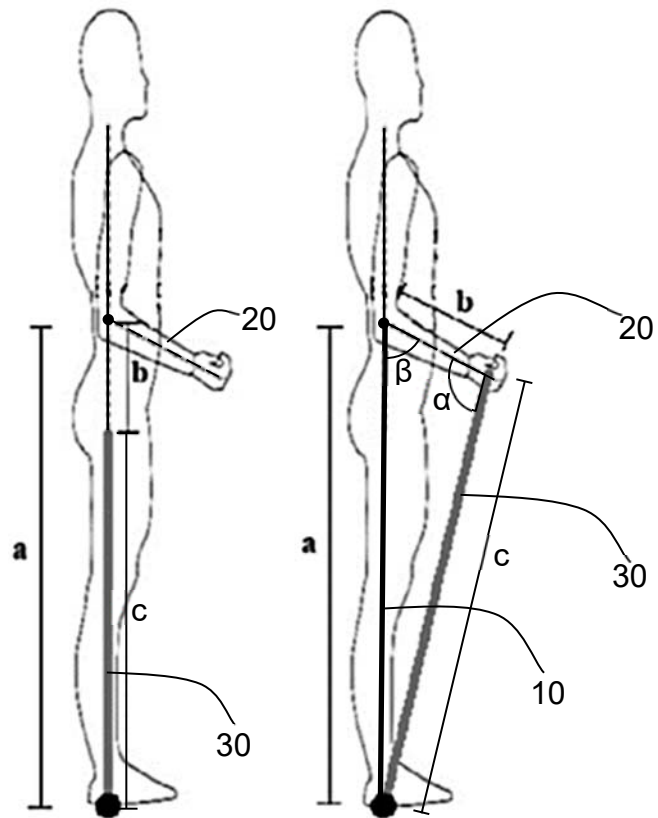


FIG. 1

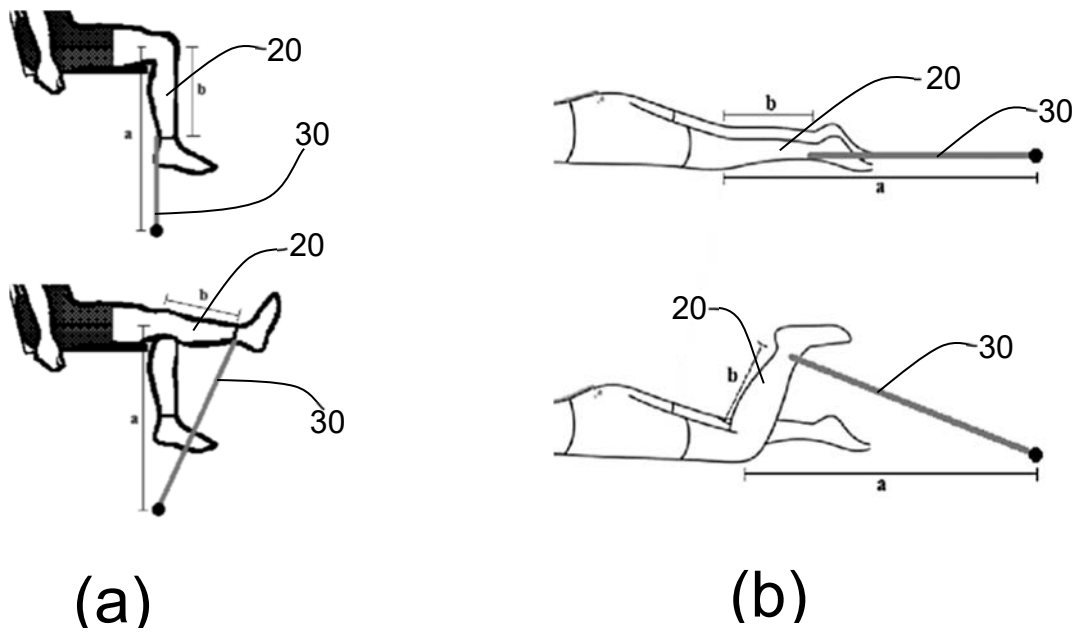


FIG. 2



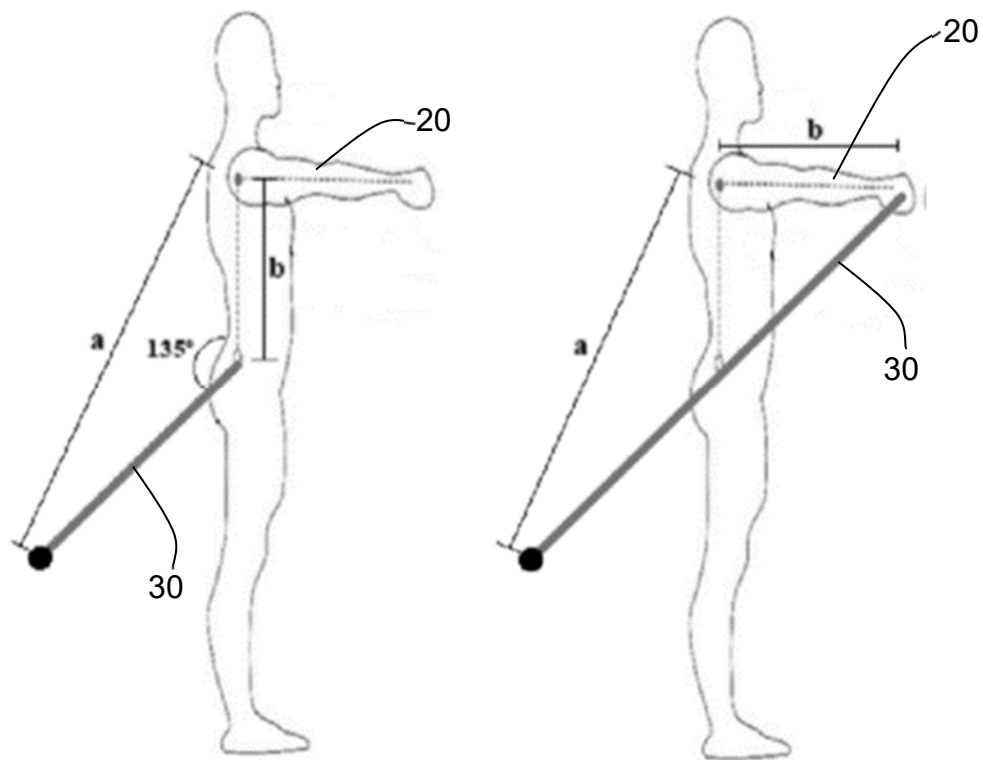


FIG. 3

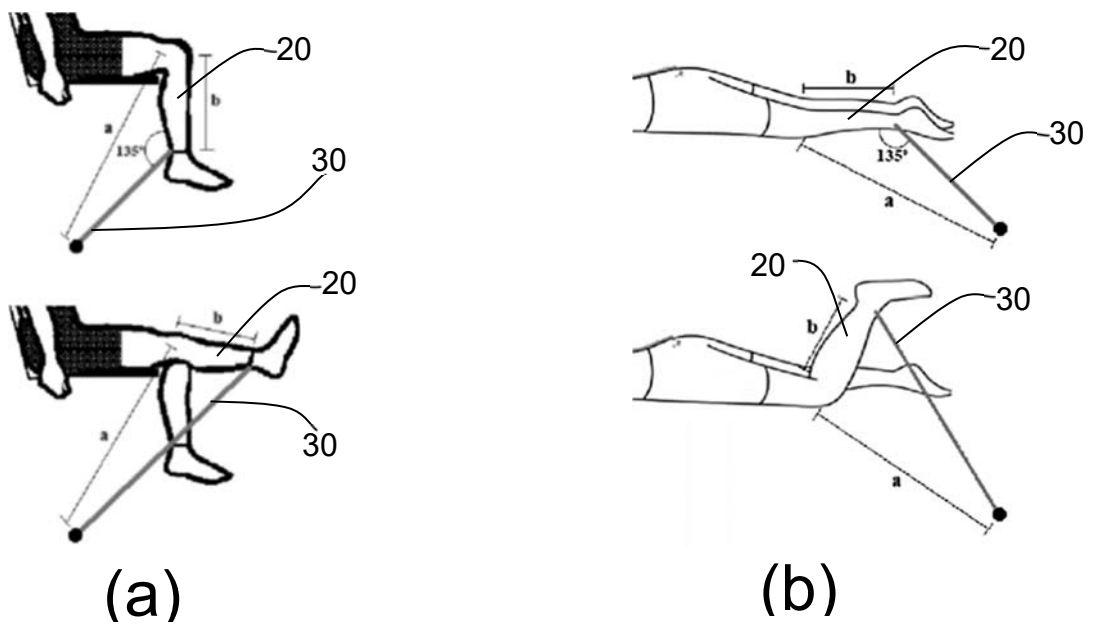


FIG. 4

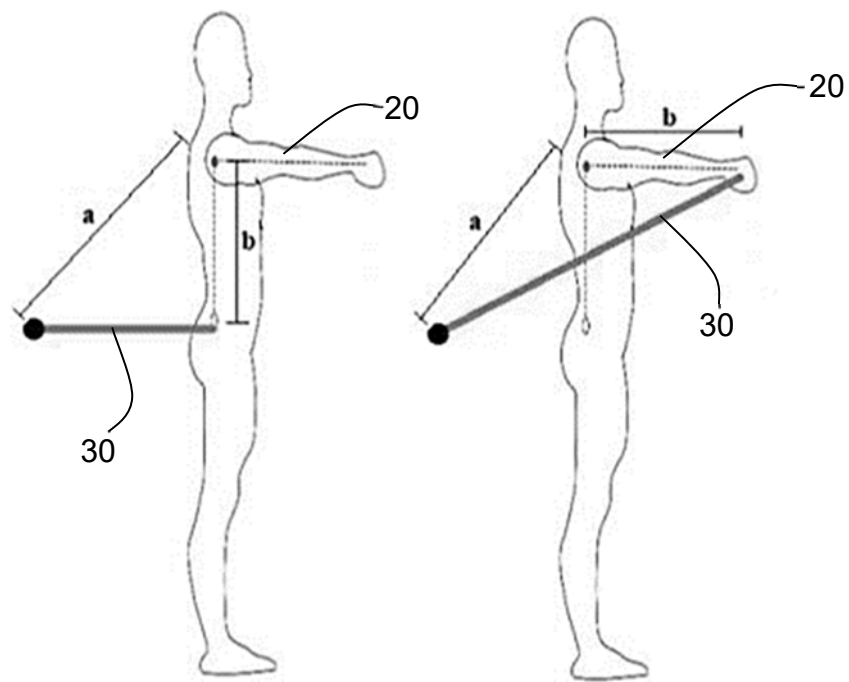


FIG. 5

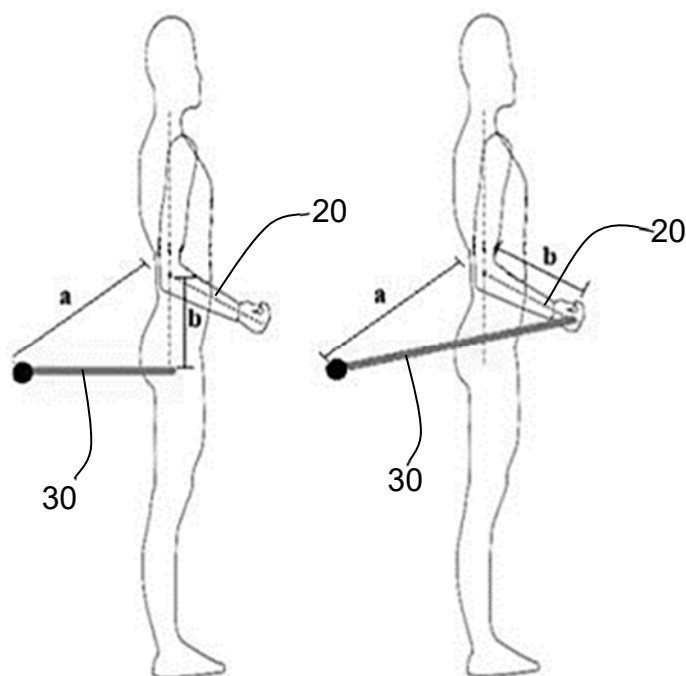


FIG. 6