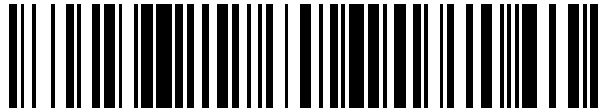


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 736 261**

21 Número de solicitud: 201830638

51 Int. Cl.:

A61B 5/00 (2006.01)

G16H 20/30 (2008.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN

B2

22 Fecha de presentación:

25.06.2018

43 Fecha de publicación de la solicitud:

27.12.2019

Fecha de modificación de las reivindicaciones:

18.03.2021

Fecha de concesión:

22.04.2021

45 Fecha de publicación de la concesión:

29.04.2021

73 Titular/es:

**UNIVERSIDADE DA CORUÑA (100.0%)
OTRI-Edificio de Servizos Centrais de
Investigación Campus de Elviña
15071 A CORUÑA (A Coruña) ES**

72 Inventor/es:

**VARELA CASTRO, María Macarena;
ROSENDE BAUTISTA, Carolina y
SEOANE PILLADO, Teresa**

74 Agente/Representante:

CONTRERAS PÉREZ, Yahel

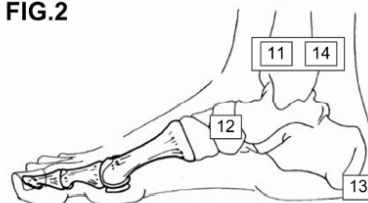
54 Título: **PROCEDIMIENTO, MÓDULO DE CONTROL Y PRODUCTO DE PROGRAMA INFORMÁTICO PARA CONTROLAR UN SISTEMA PARA MEDIR LA CANTIDAD DE DESPLAZAMIENTO DEL ESCAFOIDES DE UN SUJETO**

57 Resumen:

Procedimiento, módulo de control y producto de programa informático para controlar un sistema para medir la cantidad de desplazamiento del escafoides de un sujeto.

Se refiere a un procedimiento (30) para controlar, a través de un módulo (11) de control, un sistema (10) para medir la cantidad de desplazamiento del escafoides, comprendiendo el módulo de control, un primer sensor (12) para proporcionar una señal para obtener la posición del escafoides y un segundo sensor (13) configurado para proporcionar una señal para indicar el inicio de un paso. Comprende recibir una señal del segundo sensor indicativa del inicio de un paso; obtener la posición del escafoides a partir de una señal del primer sensor; comparar la posición del escafoides, con el valor umbral; si el valor obtenido de la posición del escafoides es inferior al valor umbral, actualizar el valor umbral con el valor obtenido de la posición del escafoides, volver a la etapa de obtener la posición del escafoides; si el valor obtenido de la posición del escafoides es superior al valor umbral, determinar la cantidad de desplazamiento del escafoides a partir del máximo valor y del mínimo valor de la posición del escafoides obtenidos.

FIG.2



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).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento, módulo de control y producto de programa informático para controlar un sistema para medir la cantidad de desplazamiento del escafoides de un sujeto

5

La presente descripción se refiere a un procedimiento para controlar un sistema para medir la cantidad de desplazamiento del escafoides de un sujeto. Además, la presente descripción se refiere también a un módulo de control y/o a un producto de programa informático adecuados para implementar el procedimiento.

10

La presente invención pertenece al sector del equipamiento médico aplicado a la podología.

ESTADO DE LA TÉCNICA ANTERIOR

15

El escafoides es un hueso ubicado en el pie de un sujeto, el cual tiene gran importancia en la biomecánica de su marcha. Más concretamente, el hueso escafoides se encuentra en el mediopie, entre la cabeza del astrágalo y las tres cuñas, es decir, es un hueso que ocupa el centro del arco plantar longitudinal.

20

En revisiones sistemáticas previas y metaanálisis, la cantidad de desplazamiento del escafoides es un parámetro que se considera un valor predictivo de uno de los movimientos de la articulación subastragalina (articulación del pie) en el plano sagital.

25

Más concretamente, el aumento del recorrido del escafoides, como consecuencia del exceso de pronación de la articulación subastragalina (en adelante ASA), se ha identificado en diversos metaanálisis como factor de riesgo de sufrir lesiones en el miembro inferior por sobreuso. En la terapéutica ortopodológica es habitual la prescripción de ortesis plantares, cuyo objetivo biomecánico es la disminución del recorrido en pronación de la ASA, que es posible valorar desde la movilidad en el plano sagital del escafoides. En la actualidad, no se dispone de sistemas que permitan comprobar este movimiento en el plano sagital en situaciones reales, limitándose los análisis existentes a espacios artificiales o mediante el análisis de presiones en el plano transversal.

30

35

De este modo, los sistemas conocidos y disponibles para medir la altura del escafoides pueden diferenciarse entre:

- Análisis radioestereométrico, estereofotogrametría *Roetgen*;
- Sistema de análisis secuencial de video;
- Sensor *Polipower*, sensor capacitivo.

5 El análisis radioestereométrico supone la necesidad de realizar las mediciones en un espacio cerrado y sometiendo al paciente a radiación, por lo que su uso es muy limitado.

El sistema de análisis secuencial de video consiste en un conjunto de dispositivos y programas informáticos que, a partir de la grabación del movimiento de un sujeto, es capaz
10 de trasladar dicho movimiento a un modelo digital para diferentes fines. Al igual que el anterior, su principal inconveniente es la necesidad de realizar las pruebas en un espacio cerrado y, por lo tanto, artificial. Además, las mediciones tienen que realizarse sin calzado.

Finalmente, el sensor *Polipower* es un sensor capacitivo portátil que, situado en el borde
15 interno del pie, facilita la altura del escafoides del sujeto de estudio. Este sistema, pese a presentar la ventaja de ser portátil e inocuo para el sujeto de estudio, no presenta un dispositivo incluido en el mismo que le indique el inicio del paso, sino que es el propio examinador el que, a la vista de los datos facilitados por el sensor, fija el valor y momento en el que se produce.

20

Por lo tanto, los principales inconvenientes de las tecnologías conocidas para la medición de la cantidad de desplazamiento del escafoides de un sujeto son:

- Exposición a radiación del sujeto de estudio;
- No existe portabilidad, sólo es posible su uso en habitáculos cerrados;
- No es posible su aplicación con calzado;
- Cálculo subjetivo por el observador del momento en el cual se considera el inicio del paso del sujeto de estudio.

25

En consecuencia, hay una necesidad de un sistema que resuelva al menos parcialmente los
30 problemas mencionados anteriormente.

EXPLICACIÓN DE LA INVENCION

De acuerdo con un primer aspecto, se proporciona un procedimiento para controlar, a través
35 de un módulo de control, un sistema para medir la cantidad de desplazamiento del

escafoides de un sujeto. Este sistema puede comprender el módulo de control, un primer elemento sensor configurado para proporcionar una señal eléctrica al módulo de control para obtener la posición que ocupa el escafoides en cada instante y un segundo elemento sensor configurado para proporcionar una señal eléctrica al módulo de control para indicar el inicio de un paso del sujeto. El procedimiento puede comprender:

- recibir una señal eléctrica del segundo elemento sensor indicativa del inicio de un paso del sujeto;

a partir de la recepción de esta señal eléctrica indicativa del inicio del paso del sujeto y a partir de un valor umbral con un valor inicial superior a cualquier valor posible de la posición del escafoides del sujeto:

- obtener un valor de la posición del escafoides del sujeto a partir de una señal eléctrica proporcionada por el primer elemento sensor, en un instante de tiempo;
- comparar el valor obtenido de la posición del escafoides, con el valor umbral;

si el valor obtenido de la posición del escafoides es inferior al valor umbral:

- actualizar el valor umbral con el valor obtenido de la posición del escafoides;
- volver a la etapa de obtener un valor de la posición del escafoides del sujeto a partir de una señal eléctrica proporcionada por el primer elemento sensor;

si el valor obtenido de la posición del escafoides es superior al valor umbral:

- determinar la cantidad de desplazamiento del escafoides del sujeto a partir del máximo valor obtenido de la posición del escafoides y del mínimo valor obtenido de la posición del escafoides.

De este modo, el procedimiento puede ser aplicable a todos los seres humanos objeto de estudio y permite la obtención de datos fiables que posibilitan su aplicación a la ciencia podológica en el campo del diagnóstico y el tratamiento de afecciones. Por ejemplo, puede ser adecuado, en la práctica clínica, para comprobar la capacidad del efecto biomecánico de las ortesis plantares.

Por otro lado, el procedimiento descrito permite la cuantificación del movimiento real del tubérculo del escafoides en el plano sagital de una manera portátil, permitiendo observar el movimiento real del mismo en el sujeto a evaluar.

Además, el procedimiento permite la obtención de datos objetivos obtenidos electrónicamente sin necesidad de una intervención externa (por ejemplo, por parte de un profesional de la salud), la cual podría introducir errores de visualización en las medidas.

En general, el procedimiento permite conocer el movimiento de la articulación subastragalina en sujetos con diferentes tipos de calzado y llevando tratamientos ortésicos (es decir, permite simular la medición del “*navicular drop*” durante la dinámica). Así, puede ser
5 utilizado para evaluar el efecto de tratamientos podológicos de todo tipo (calzadoterapia, ortesis plantares, fortalecimiento muscular, etc.) encaminados a controlar los movimientos de la articulación subastragalina. Principalmente, el movimiento que se desea controlar es una pronación, que ocasiona diferencias importantes en la altura en el plano sagital del tubérculo del escafoides en los diferentes momentos de la fase de apoyo y que ha sido
10 reconocido como un mecanismo que provoca lesiones en el pie y en la pierna.

En resumen, a partir de la ejecución del procedimiento descrito es posible medir durante la dinámica en sujetos descalzos, calzados y con tratamientos ortésicos, el “*navicular drop*” o medición de altura del tubérculo del escafoides en el plano sagital, tomando mediciones en
15 diferentes momentos de la fase de apoyo que permiten evaluar la cantidad de pronación en diferentes momentos de esta fase. Al tratarse de un dispositivo portátil, de bajo peso y tamaño reducido, permite que el sujeto pueda portarlo en condiciones normales de actividad (durante entrenamientos, competiciones, etc.) llevando diferentes tipos de calzado y diferentes tratamientos ortésicos.

20 En algunos ejemplos, el procedimiento puede comprender almacenar en una memoria el valor obtenido de la posición del escafoides. También puede comprender almacenar en una memoria el instante de tiempo en el que se obtiene el valor de la posición del escafoides.

25 De este modo, todos los datos obtenidos pueden ser analizados. Por ejemplo, con el almacenamiento de estos datos es posible determinar el máximo valor obtenido de la posición del escafoides y del mínimo valor obtenido de la posición del escafoides, de entre todos los valores obtenidos.

30 Por otro lado, el procedimiento puede comprender enviar el valor de la posición del escafoides obtenido a un sistema externo. Del mismo modo, puede comprender también enviar el instante de tiempo en el que se obtiene el valor de la posición del escafoides, a un sistema externo. Desde este sistema externo es posible realizar un mayor análisis de los datos obtenidos a lo largo de la ejecución del procedimiento, y mostrarlos a un tercero (por
35 ejemplo, a un profesional sanitario) para su evaluación y control. Este sistema externo

puede ser, por ejemplo, un ordenador portátil o de sobremesa, una red de ordenadores, un teléfono inteligente o una tableta.

5 Según algunos ejemplos, la etapa de obtener un valor de la posición del escafoides del sujeto a partir de una señal eléctrica proporcionada por el primer elemento sensor, en un instante de tiempo puede comprender:

- recibir la señal eléctrica desde el primer elemento sensor indicativa de la aceleración del escafoides del sujeto;
- obtener el valor de la posición del escafoides en base al valor recibido de
10 aceleración del escafoides del sujeto.

Según algunos ejemplos, el procedimiento puede comprender, si el valor de la posición del escafoides obtenido es superior al valor umbral actualizar el valor umbral con un valor superior a cualquier valor posible de la posición del escafoides del sujeto, de modo que el
15 valor umbral ya se encontrará inicializado en el momento de la siguiente ejecución del procedimiento descrito.

De acuerdo con un segundo aspecto, se proporciona un producto de programa informático. Este producto de programa informático puede comprender instrucciones de programa para
20 provocar que un módulo de control realice un procedimiento para controlar un sistema para medir la cantidad de desplazamiento del escafoides de un sujeto, tal como el descrito anteriormente.

El programa informático puede estar almacenado en unos medios de almacenamiento físico, tales como unos medios de grabación, una memoria de ordenador, o una memoria de sólo
25 lectura, o puede ser portado por una onda portadora, tal como eléctrica u óptica.

De acuerdo con un tercer aspecto, se proporciona un módulo de control de un sistema para medir la cantidad de desplazamiento del escafoides de un sujeto. Este sistema puede
30 comprender el módulo de control, un primer elemento sensor configurado para proporcionar una señal eléctrica al módulo de control para obtener la posición que ocupa el escafoides en cada instante y un segundo elemento sensor configurado para proporcionar una señal eléctrica al módulo de control para indicar el inicio de un paso del sujeto. El módulo de control puede comprender:

- medios para recibir una señal eléctrica del segundo elemento sensor indicativa del inicio de un paso del sujeto;
- medios para obtener un valor de la posición del escafoides del sujeto a partir de una señal eléctrica proporcionada por el primer elemento sensor, en un instante de tiempo;
- medios para comparar el valor obtenido de la posición del escafoides, con un valor umbral que tiene un valor inicial superior a cualquier valor posible de la posición del escafoides del sujeto;
- medios para actualizar el valor umbral con el valor obtenido de la posición del escafoides, si el valor obtenido de la posición del escafoides es inferior al valor umbral;
- medios para volver a la etapa de obtener un valor de la posición del escafoides del sujeto a partir de una señal eléctrica proporcionada por el primer elemento sensor, si el valor obtenido de la posición del escafoides es inferior al valor umbral;
- medios para determinar la cantidad de desplazamiento del escafoides del sujeto a partir del máximo valor obtenido de la posición del escafoides y del mínimo valor obtenido de la posición del escafoides, si el valor obtenido de la posición del escafoides es superior al valor umbral.

De acuerdo con otro aspecto, se proporciona un módulo de control. Este módulo de control puede comprender una memoria y un procesador. La memoria puede almacenar instrucciones de programa informático ejecutables por el procesador. Estas instrucciones pueden comprender funcionalidades para ejecutar un procedimiento para controlar un sistema para medir la cantidad de desplazamiento del escafoides de un sujeto, tal como el descrito anteriormente.

De acuerdo con aún otro aspecto, se proporciona un módulo de control de un sistema para medir la cantidad de desplazamiento del escafoides de un sujeto. Este sistema puede comprender el módulo de control, un primer elemento sensor configurado para proporcionar una señal eléctrica al módulo de control para obtener la posición que ocupa el escafoides en cada instante y un segundo elemento sensor configurado para proporcionar una señal eléctrica al módulo de control para indicar el inicio de un paso del sujeto. El módulo de control puede estar configurado para:

- recibir una señal eléctrica del segundo elemento sensor indicativa del inicio de un paso del sujeto;

a partir de la recepción de esta señal eléctrica indicativa del inicio del paso del sujeto y a partir de un valor umbral con un valor inicial superior a cualquier valor posible de la posición del escafoides del sujeto:

- obtener un valor de la posición del escafoides del sujeto a partir de una señal eléctrica proporcionada por el primer elemento sensor, en un instante de tiempo;
- comparar el valor obtenido de la posición del escafoides, con el valor umbral;

si el valor obtenido de la posición del escafoides es inferior al valor umbral:

- actualizar el valor umbral con el valor obtenido de la posición del escafoides;
- volver a la etapa de obtener un valor de la posición del escafoides del sujeto a partir de una señal eléctrica proporcionada por el primer elemento sensor;

si el valor obtenido de la posición del escafoides es superior al valor umbral:

- determinar la cantidad de desplazamiento del escafoides del sujeto a partir del máximo valor obtenido de la posición del escafoides y del mínimo valor obtenido de la posición del escafoides.

En algunos ejemplos, el primer elemento sensor puede estar configurado para ser dispuesto en el tubérculo del escafoides del sujeto.

De acuerdo con algunos ejemplos, el primer elemento sensor puede comprender un sensor inercial, el cual puede comprender a su vez al menos un giroscopio y un acelerómetro.

Por otro lado, el segundo elemento sensor puede estar configurado para ser dispuesto en el lateral externo del pie del sujeto.

En algunos ejemplos, el segundo elemento sensor puede comprender un sensor de presión.

De acuerdo con algunos ejemplos, el módulo de control puede comprender además una memoria. Esta memoria puede ser utilizada, por ejemplo, para almacenar los valores obtenidos de la posición del escafoides del sujeto, así como el instante del tiempo en el que se obtienen.

En otro aspecto, se proporciona sistema para medir la cantidad de desplazamiento del escafoides de un sujeto. Este sistema puede comprender:

- un módulo de control, tal como el descrito anteriormente;

- un primer elemento sensor configurado para proporcionar una señal eléctrica al módulo de control para obtener la posición que ocupa el escafoides en cada instante;
- un segundo elemento sensor configurado para proporcionar una señal eléctrica al módulo de control para indicar el inicio de un paso del sujeto;
- 5 - un módulo de alimentación para proporcionar energía a al menos el primer elemento sensor, el segundo elemento sensor y el módulo de control.

10 En algunos ejemplos, el sistema puede comprender además una tobillera o similar configurada para sujetar al menos el módulo de control y el módulo de alimentación al sujeto.

Otros objetos, ventajas y características de realizaciones de la invención se pondrán de manifiesto para el experto en la materia a partir de la descripción, o se pueden aprender con la práctica de la invención.

15

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

A continuación, se describirán realizaciones particulares de la presente invención a título de ejemplo no limitativo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales:

20

La Figura 1 muestra un diagrama de bloques de un sistema para medir la cantidad de desplazamiento del escafoides de un sujeto, de acuerdo con algunos ejemplos;

La Figura 2 muestra una representación esquemática de la disposición en el pie de un sujeto de un sistema, tal como el de la Figura 1, para medir la cantidad de desplazamiento del escafoides de un sujeto, de acuerdo con algunos ejemplos;

La Figura 3 muestra un diagrama de flujos de un procedimiento para controlar, a través de un módulo de control, un sistema, tal como el de la Figura 1, para medir la cantidad de desplazamiento del escafoides de un sujeto, de acuerdo con algunos ejemplos;

La Figura 4 muestra una representación gráfica del movimiento del escafoides de un sujeto durante un paso.

30

EXPOSICIÓN DETALLADA DE MODOS DE REALIZACIÓN

Como se puede ver en la Figura 1, un sistema 10 para medir la cantidad de desplazamiento del escafoides de un sujeto puede comprender:

35

- un módulo 11 de control;
- un primer elemento sensor 12 configurado para proporcionar una señal eléctrica al módulo 11 de control para obtener la posición que ocupa el escafoides en cada instante. Este primer elemento sensor está conectado al módulo de control;
- 5 • un segundo elemento sensor 13 configurado para proporcionar una señal eléctrica al módulo 11 de control para indicar el inicio de un paso del sujeto. Este segundo elemento sensor está conectado al módulo de control;
- un módulo 14 de alimentación para proporcionar energía a al menos el primer elemento sensor 12, el segundo elemento sensor 13 y el módulo 11 de control.

10

Además, el sistema 10 puede comprender también una memoria (no mostrada), la cual puede encontrarse interna o externa al módulo 11 de control. Esta memoria puede tener forma de, por ejemplo, unos medios de almacenamiento físico, tales como unos medios de grabación, una memoria de ordenador, o una memoria de solo lectura. Así, la memoria
 15 puede comprender unos medios de almacenamiento, tales como una *ROM*, por ejemplo, un *CD ROM* o una *ROM* semiconductora, o un medio de grabación magnético, por ejemplo, un disco duro, o una unidad de estado sólido (SSD). El objetivo de esta memoria, entre otros, es el de almacenar los diferentes valores obtenidos de posición del escafoides de un sujeto bajo estudio, así como, por ejemplo, el instante de tiempo en el que se ha producido dicha
 20 obtención.

20

Por otro lado, la comunicación entre los diferentes elementos del sistema 10 puede realizarse de manera alámbrica o inalámbrica. En el caso de una comunicación alámbrica, la conexión puede realizarse mediante un cableado (por ejemplo, de cobre) fijado entre los
 25 diferentes elementos sensores 12,13 y el módulo 11 de control, o mediante puertos serie, tales como USB, micro USB, mini USB, Firewire o Ethernet. En el caso de comunicaciones inalámbricas, si el módulo 11 de control se encuentra a una corta distancia de los diferentes elementos sensores 12,13, la conexión puede realizarse mediante módulos de comunicaciones inalámbricas de corto alcance, por ejemplo, Bluetooth, NFC, Wifi, IEEE
 30 802.11 o Zigbee (tanto los elementos sensores como el módulo de control deberían comprender módulos de comunicación de este tipo). Si las comunicaciones son de largo alcance (es decir, el módulo 11 de control se encuentra a una distancia importante de los diferentes elementos sensores 12,13), la conexión puede realizarse mediante módulos de comunicaciones basados en tecnología GSM, GPRS, 3G, 4G o tecnología por satélite (por
 35 ejemplo, si la comunicación se realiza a través de una red global de comunicación, tal como

35

Internet), o incluso a través de una red de comunicaciones para Internet de las Cosas (IoT – en inglés, “*Internet of Things*”) (tanto los elementos sensores como el módulo de control deberían comprender módulos de comunicación de este tipo).

- 5 Con respecto a la posibilidad de utilizar una red IoT, podría ser del tipo que utiliza tecnología de bajo consumo energético y de gran cobertura. El hecho de que su consumo energético sea reducido permite que el sistema pueda funcionar durante periodos de tiempo muy grandes, sin requerir la recarga de baterías. Esta red de comunicaciones se puede seleccionar, por ejemplo, de entre una red IoT Sigfox, LoRA, Wightlees u OnRamp.

10

El primer elemento sensor puede ser un sensor inercial 12. Este sensor inercial puede ser, en los presentes ejemplos, un sensor inercial MPU-60X0, cuyas dimensiones son 1.6x0.1x2 cm, con un peso total de 4.53 gr. Dicho sensor inercial tiene integrados un giroscopio MEMS de 3 ejes, un acelerómetro de 3 ejes MEMS, y un procesador digital de movimiento (DMPTM) con un puerto I2C auxiliar para conectarse con el resto de los elementos electrónicos. La integración en un solo elemento de acelerómetro y giroscopio presenta la ventaja de un diseño más compacto además de un único flujo de datos para la aplicación. El MPU-60X0 está diseñado para interactuar con múltiples sensores digitales, tales como el sensor de presión que se describirá más adelante. El sensor MPU-60X0 es muy preciso al poseer un convertidor hardware de 16bits de A/D por cada canal, para la digitalización de las salidas. El sensor utiliza el bus-I2C para interconectarse con el módulo 11 de control y enviar los datos procesados. Tal como puede verse en la Figura 2, el sensor inercial puede colocarse o disponerse en el tubérculo del escafoides del sujeto de estudio, por ejemplo, mediante velcros adhesivos circulares. El objetivo de este primer elemento sensor 12 es el de proporcionar en tiempo real, a partir de señales eléctricas, la posición que ocupa en cada momento el escafoides. Estos datos pueden ser enviados al módulo 11 de control, que los puede almacenar en un fichero electrónico en orden temporal según el reloj interno del propio módulo 11 de control. Los valores almacenados pueden comprender los 3 valores facilitados por el giroscopio en cada eje del espacio y los 3 valores del acelerómetro igualmente para cada eje espacial.

30

Otros ejemplos de sensores inerciales son Sparkfun IMU Breakout MPU-9250 de Sparkfun electronics, modelo SEN-0531; MPU-9250 Nine-Axis (Gyro + Accelerometer + Compass) MEMS MotionTracking™ Device de Invensense TDK.

35

El segundo elemento sensor 13 puede ser, por ejemplo, un sensor de presión. En los presentes ejemplos, el sensor de presión se sitúa en el lateral externo del pie del sujeto, tal como puede verse en la Figura 2. Además, el sensor de presión comprende un área de presión de 1.27 cm², unas dimensiones de 6x1.9 cm y un peso de 9.07gr. Este sensor varía su resistencia dependiendo de la fuerza incidente en el área de medición. La conexión al módulo 11 de control puede realizarse a través de uno de los pines digitales en modo INPUT. Este sensor funciona de manera digital, especificándose mediante software que la transmisión de señal se produzca cuando supere, por ejemplo, los 10 Kg, valor que es superior a la presión que ejercería el calzado sobre el talón si no hay bipedestación. Este sensor es el encargado de facilitar al módulo 11 de control el momento en el cual el sujeto bajo estudio comienza el paso. De este modo, se consigue eliminar la intervención de un examinador, ganando con ello una precisión totalmente objetiva al evitarse el error humano.

Ejemplos de sensores de presión son Sparkfun SEN-09375, Hetpro.

El módulo 14 de alimentación debe proporcionar la alimentación necesaria para el buen funcionamiento del sistema 10 y dotarlo de la característica de portabilidad. Así, puede estar compuesto, en los presentes ejemplos, de 4 pilas de 1.5V AAA que generan un voltaje de 6V, suficiente para el sistema utilizado. El módulo 14 de alimentación puede presentar unas dimensiones de 6.2x4.7x1.8 cm y un peso de 81.6 gr. Puede estar configurado en plástico rígido y puede comprender dos cables para la alimentación y un interruptor externo para su encendido/apagado. La conexión de este puede realizarse a través del pin VIN, que se localiza en el grupo de pines de alimentación y tierra, cumpliendo la función de fuente de alimentación constante de 6V directamente a la entrada del regulador de la tarjeta del microprocesador, el cual será descrito más adelante como posible configuración del módulo 11 de control. En este caso el principal inconveniente sería la no protección frente a cambios de polaridad o de sobrealimentación del sistema. Este hecho se obvia ya que la alimentación es constante al realizarse mediante pilas AAA e igualmente no realizan cambio de polaridad por su propia esencia de alimentación de fuente continua.

Con respecto al módulo 11 de control, puede implementarse con una configuración totalmente informática, totalmente electrónica o mediante una combinación de ambos.

En el caso de que el módulo 11 de control sea puramente informático, el módulo puede comprender una memoria y un procesador (por ejemplo, un microprocesador), en el que la

memoria almacena instrucciones de programa informático ejecutables por el procesador, comprendiendo estas instrucciones funcionalidades para ejecutar un procedimiento para controlar el sistema 10, cuyo procedimiento será descrito más adelante.

5 La memoria puede estar comprendida en el procesador o puede ser externa. En el caso de que sea externa, puede ser, por ejemplo, unos medios de almacenamiento de datos tales como discos magnéticos (por ejemplo, discos duros), discos ópticos (por ejemplo, DVD o CD), tarjetas de memoria, memorias flash (por ejemplo, pendrives) o unidades de estado sólido (SSD basadas en RAM, basadas en flash, etc.). Esta memoria puede formar parte del
10 propio módulo 11 de control y/o puede estar dispuesta remota al mismo, conectados alámbrica o inalámbricamente. En el caso de estar dispuestos remotos, la comunicación establecida entre el módulo 11 de control y la memoria puede asegurarse mediante, por ejemplo, nombre de usuario/contraseña, claves criptográficas y/o mediante un túnel SSL establecido en la comunicación entre el módulo 11 de control y memoria.

15 El conjunto de instrucciones de programa informático ejecutables por el procesador (tal como un programa informático) puede estar almacenado en unos medios de almacenamiento físico, tal como se ha comentado, pero también puede ser portado por una onda portadora, tal como eléctrica u óptica, que puede transmitirse vía cable eléctrico u
20 óptico o mediante radio u otros medios.

El programa informático puede estar en forma de código fuente, de código objeto o en un código intermedio entre código fuente y código objeto, tal como en forma parcialmente compilada, o en cualquier otra forma adecuada para usar en la implementación de los
25 procedimientos descritos.

El medio portador puede ser cualquier entidad o dispositivo capaz de portar el programa.

30 Cuando el programa informático está contenido en una señal que puede transmitirse directamente mediante un cable u otro dispositivo o medio, el medio portador puede estar constituido por dicho cable u otro dispositivo o medio.

Alternativamente, el medio portador puede ser un circuito integrado en el que está encapsulado (*embedded*) el programa informático, estando adaptado dicho circuito
35 integrado para realizar o para usarse en la realización de los procedimientos relevantes.

Ejemplos de un módulo 11 de control puramente informático pueden ser Arduino uno, Smart Projects; Arduino pro, Sparkfun electronics; Arduino nano, Gravitech.

5 Por otro lado, el módulo 11 de control puede tener una configuración puramente electrónica, por lo que podría estar formado por un dispositivo electrónico programable tal como un CPLD (*Complex Programmable Logic Device*), un FPGA (*Field Programmable Gate Array*) o un ASIC (*Application-Specific Integrated Circuit*).

10 Además, el módulo 11 de control podría presentar también una configuración híbrida entre informática y electrónica. En este caso, el módulo debería comprender una memoria y un microcontrolador para implementar informáticamente una parte de sus funcionalidades, así como determinados circuitos electrónicos para implementar el resto de las funcionalidades.

15 En algunos ejemplos, el módulo 11 de control puede tener una configuración puramente informática. Por esta razón, el módulo de control puede comprender un microprocesador, el cual es el encargado de gestionar los datos facilitados por ambos sensores y almacenarlos en un fichero digital. Los datos reflejados en éste pueden ser el valor de posición del
20 escafoides que se obtiene cuando el sensor de presión se activa (momento de máxima altura del escafoides), hasta que el valor que facilite el sensor inercial sea mayor que el inmediatamente anterior facilitado, no volviéndose a constatar los datos en dicho fichero hasta que se active nuevamente el sensor de presión, momento que indicará el inicio de otro nuevo paso. Con esto se consigue la secuencia temporal de la posición del escafoides desde su mayor altura hasta la menor.

25 Más concretamente, el módulo 11 de control puede basarse, en algunos ejemplos, en un microcontrolador *Arduino-Nano*, cuyas dimensiones son 9.7x6x4.2 cm y un peso total de 18.1 gr. Básicamente, se compone de 14 puertos digitales de entrada/salida, 8 puertos analógicos, una memoria de 16KB, 1KB de SRAM y 512 bytes de EPROM. Posee una
30 velocidad de procesamiento, *ClockSpeed*, de 16MHz. La comunicación para su programación se realiza mediante un conector mini-B USB integrado en la propia placa. La conexión entre el microprocesador y el sensor inercial se realiza mediante las conexiones I2C, tal como se ha comentado anteriormente, 7 y con el sensor de presión en los pines digitales.

35

Adicionalmente, el sistema 10 para medir la cantidad de desplazamiento del escafoides de un sujeto puede comprender también un elemento para sujetar, por ejemplo, el módulo 14 de alimentación y/o el módulo 11 de control, al sujeto. Este elemento puede presentarse en forma de tobillera o similar, que puede ser de elastano y poliéster. Además, este elemento de sujeción puede presentar una cinta ajustable para fijarla de manera adecuada al sujeto en estudio, y unos bolsillos y similares para recibir el módulo de alimentación y/o el módulo de control.

En cualquier caso, sea cual sea la implementación del módulo 11 de control (informática, electrónica o híbrida), éste tiene que estar configurado para ejecutar un procedimiento para controlar un sistema 10 para medir la cantidad de desplazamiento del escafoides de un sujeto, cuyo procedimiento puede comprender las siguientes etapas:

- recibir 31 una señal eléctrica del segundo elemento sensor 13 indicativa del inicio de un paso del sujeto;

a partir de la recepción de esta señal eléctrica indicativa del inicio del paso del sujeto y a partir de un valor umbral con un valor inicial superior a cualquier valor posible de la posición del escafoides del sujeto:

- obtener 32 un valor de la posición del escafoides del sujeto a partir de una señal eléctrica proporcionada por el primer elemento sensor 12, en un instante de tiempo;

- comparar 33 el valor obtenido de la posición del escafoides, con el valor umbral;

si el valor obtenido de la posición del escafoides es inferior al valor umbral:

- actualizar 34 el valor umbral con el valor obtenido de la posición del escafoides;

- volver a la etapa de obtener un valor de la posición del escafoides del sujeto a partir de una señal eléctrica proporcionada por el primer elemento sensor;

si el valor obtenido de la posición del escafoides es superior al valor umbral:

- determinar 35 la cantidad de desplazamiento del escafoides del sujeto a partir del máximo valor obtenido de la posición del escafoides y del mínimo valor obtenido de la posición del escafoides.

Si el valor obtenido de la posición del escafoides es superior al valor umbral, el procedimiento 30 puede comprender la inicialización del valor umbral, es decir, actualizar el valor umbral con un valor superior a cualquier valor posible de la posición del escafoides del sujeto (por ejemplo, 50 cm). De este modo, se inicializa el valor umbral para la siguiente iteración del procedimiento.

Además, el procedimiento 30 puede comprender también almacenar el valor obtenido de la posición del escafoides y/o el instante de tiempo en el que se ha producido esta obtención.

5 Por otro lado, el procedimiento 30 también puede comprender enviar el valor obtenido de la posición del escafoides y/o el instante de tiempo en el que se ha producido esta obtención, a un sistema externo, tal como un ordenador personal o de sobremesa, una red de ordenadores, un teléfono inteligente o una tableta. Desde este sistema externo es posible realizar un mayor análisis de los datos obtenidos a lo largo de la ejecución del procedimiento y mostrarlos a un tercero (por ejemplo, a un profesional sanitario) para su evaluación y control. De este modo, sería posible procesarlos mediante, por ejemplo, “*Big Data*” y así proporcionar resultados que sean de utilidad para el profesional.

15 Dependiendo de la configuración del primer elemento sensor 12, puede ser necesario realizar una conversión de parámetros para llegar a determinar el valor de posición del escafoides en cada instante. Así, con la configuración descrita para los presentes ejemplos, el procedimiento 30, para ejecutar la etapa de obtener un valor de la posición del escafoides del sujeto a partir de una señal eléctrica proporcionada por el primer elemento sensor, en un instante de tiempo, puede comprender las siguientes subetapas:

- 20 ○ recibir la señal eléctrica desde el primer elemento sensor 12 indicativa de la aceleración del escafoides del sujeto;
- obtener el valor de la posición del escafoides en base al valor recibido de aceleración del escafoides del sujeto.

25 El dato interesante proporcionado por el primer elemento sensor 12 es simplemente la altura o valor de posición del escafoides del sujeto. El resto de los datos se pueden obviar porque no son relevantes para el sistema 10. Básicamente, sólo interesa cómo varía la altura o posición del escafoides en un tiempo concreto de la marcha.

30 El recorrido del escafoides relevante, tal como puede verse en la Figura 4, es el que comienza en el momento de apoyo de talón y, por lo tanto, el de menor altura del escafoides. El comienzo lo indica el sensor de presión 13, el cual se dispone en el borde-lateral-posterior del pie, y el punto de menor altura del escafoides lo comprueba el procedimiento recursivamente.

Como se ha comentado anteriormente, el sensor inercial de acuerdo con algunos ejemplos puede incorporar en un mismo integrado un acelerómetro de 3DOF, un giroscopio de 3DOF, y un magnetómetro de 3DOF, de manera que proporcionan un valor para cada uno de los ejes.

5

El acelerómetro mide la aceleración en cada eje. La aceleración en el eje Z es 9.8 m/s^2 (gravedad), mientras que el valor en Y puede obtenerse según la fórmula:

$$\text{Ángulo Y} = \tan^{-1}\left(\frac{X}{\sqrt{Y^2+Z^2}}\right)$$

10

El giroscopio mide velocidad angular ($^\circ/\text{seg}$), de modo que:

$$\text{Ángulo Y} = \text{Ángulo Y anterior} + \text{GiroscopioY} \cdot \Delta t$$

15 donde

Δt = tiempo que transcurre cada vez que se consulta la fórmula;

Ángulo Y anterior = ángulo calculado la última vez;

GiroscopioY = lectura del ángulo Y del giroscopio.

20 Por consiguiente, el cálculo de la posición a partir de la aceleración puede realizarse de la siguiente manera.

Un sensor inercial convencional permite obtener directamente velocidad angular y aceleración entre otras. La posición (x,y,z) debe de ser calculada a partir de las mediciones disponibles.

25

Para el cálculo de la posición es necesario realizar procesos de integración numérica.

Si se reduce a un solo eje, la posición con respecto al tiempo es una doble integración:

30

$$\iint_0^t a(t) dt dt$$

donde

$a(t)$ =aceleración en el eje seleccionado.

De este modo, se obtiene la coordenada en dicho eje.

Un método de integración numérica que puede usarse es la regla trapezoidal, la cual estima que el área bajo la curva se aproxima con trapezoides. Cada trapezoide tiene un área resultante de la multiplicación de la base por el promedio de la altura de los lados.

$$Th [f ; a , b] = \frac{h}{2} (f (a) + f (b)) + h \sum_{j=0}^N f (a + j h)$$

donde

- 10 a,b son los extremos de la curva;
- h es el espacio entre puntos de la curva.

Dado que la aceleración es la variación de la velocidad respecto al tiempo y esta a su vez se define como la variación de la posición respecto al tiempo, realizando una doble integración se obtiene la posición. Si a dicha integración se le aplica la regla trapezoidal, el valor de la integral sería el área bajo la curva y su valor, la suma de áreas de anchura muy pequeñas:

$$\int_a^b f(x) dx = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n f(x_i) \Delta x$$

$$\Delta x = \frac{b-a}{n}$$

Usando este concepto de “área bajo la curva” es posible deducir que, al muestrear la señal, datos dados por el sensor inercial en aceleración, proporcionan valores instantáneos de su magnitud, con lo que se pueden crear pequeñas áreas entre dos muestras y sumándolas se obtiene el valor de la integral.

A pesar de que se han descrito aquí sólo algunas realizaciones y ejemplos particulares de la invención, el experto en la materia comprenderá que son posibles otras realizaciones alternativas y/o usos de la invención, así como modificaciones obvias y elementos equivalentes. Además, la presente invención abarca todas las posibles combinaciones de las realizaciones concretas que se han descrito. Los signos numéricos relativos a los dibujos y colocados entre paréntesis en una reivindicación son solamente para intentar aumentar la comprensión de la reivindicación, y no deben ser interpretados como limitantes del alcance de la protección de la reivindicación. El alcance de la presente invención no debe limitarse a realizaciones concretas, sino que debe ser determinado únicamente por una lectura apropiada de las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento (30) para medir la cantidad de desplazamiento del escafoides de un sujeto mediante un sistema que comprende un módulo (11) de control, un primer elemento sensor (12) configurado para proporcionar una señal eléctrica al módulo (11) de control para obtener la posición que ocupa el escafoides en cada instante y un segundo elemento sensor (13) configurado para proporcionar una señal eléctrica al módulo (11) de control para indicar el inicio de un paso del sujeto, comprendiendo el procedimiento:
- recibir (31) una señal eléctrica del segundo elemento sensor (13) indicativa del inicio de un paso del sujeto;
- a partir de la recepción de esta señal eléctrica indicativa del inicio del paso del sujeto y a partir de un valor umbral con un valor inicial superior a cualquier valor posible de la posición del escafoides del sujeto:
- obtener (32) un valor de la posición del escafoides del sujeto a partir de una señal eléctrica proporcionada por el primer elemento sensor (12), en un instante de tiempo;
 - comparar (33) el valor obtenido de la posición del escafoides, con el valor umbral;
- si el valor obtenido de la posición del escafoides es inferior al valor umbral:
- actualizar (34) el valor umbral con el valor obtenido de la posición del escafoides;
 - volver a la etapa de obtener (32) un valor de la posición del escafoides del sujeto a partir de una señal eléctrica proporcionada por el primer elemento sensor (12);
- si el valor obtenido de la posición del escafoides es superior al valor umbral:
- determinar (35) la cantidad de desplazamiento del escafoides del sujeto a partir del máximo valor obtenido de la posición del escafoides y del mínimo valor obtenido de la posición del escafoides.
2. Procedimiento (30) según la reivindicación 1, que comprende, además:
- almacenar en una memoria el valor obtenido de la posición del escafoides.
3. Procedimiento (30) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, que comprende, además:
- almacenar en una memoria el instante de tiempo en el que se obtiene el valor de la posición del escafoides.
4. Procedimiento (30) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, que comprende, además:

- enviar el valor de la posición del escafoides obtenido a un sistema externo.

5. Procedimiento (30) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, que comprende, además:

- 5 - enviar el instante de tiempo en el que se obtiene el valor de la posición del escafoides, a un sistema externo.

6. Procedimiento (30) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que obtener (32) un valor de la posición del escafoides del sujeto a partir de una señal eléctrica proporcionada por el primer elemento sensor (12), en un instante de tiempo comprende:

- 10 o recibir la señal eléctrica desde el primer elemento sensor (12) indicativa de la aceleración del escafoides del sujeto;
- o obtener el valor de la posición del escafoides en base al valor recibido de aceleración del escafoides del sujeto.

15

7. Procedimiento (30) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, que comprende, además, si el valor de la posición del escafoides obtenido es superior al valor umbral: inicializar el valor umbral con un valor superior a cualquier valor posible de la posición del escafoides del sujeto para una siguiente medida.

20

8. Sistema (10) para medir la cantidad de desplazamiento del escafoides de un sujeto, que comprende:

- un módulo (11) de control;
- un primer elemento sensor (12) configurado para proporcionar una señal eléctrica al módulo (11) de control para obtener la posición que ocupa el escafoides en cada instante;
- un segundo elemento sensor (13) configurado para proporcionar una señal eléctrica al módulo (11) de control para indicar el inicio de un paso del sujeto; y
- un módulo (14) de alimentación para proporcionar energía a al menos el primer elemento sensor (12), el segundo elemento sensor (13) y el módulo (11) de control;

30

en el que el módulo (11) de control comprende:

- medios de procesamiento configurados para recibir una señal eléctrica del segundo elemento sensor (13) indicativa del inicio de un paso del sujeto;

- medios de procesamiento configurados para obtener un valor de la posición del escafoides del sujeto a partir de una señal eléctrica proporcionada por el primer elemento sensor (12), en un instante de tiempo;
 - medios de procesamiento configurados para comparar el valor obtenido de la posición del escafoides, con un valor umbral que tiene un valor inicial superior a cualquier valor posible de la posición del escafoides del sujeto;
 - medios de procesamiento configurados para actualizar el valor umbral con el valor obtenido de la posición del escafoides, si el valor obtenido de la posición del escafoides es inferior al valor umbral;
 - medios de procesamiento configurados para volver a la etapa de obtener un valor de la posición del escafoides del sujeto a partir de una señal eléctrica proporcionada por el primer elemento sensor (12), si el valor obtenido de la posición del escafoides es inferior al valor umbral;
 - medios de procesamiento configurados para determinar la cantidad de desplazamiento del escafoides del sujeto a partir del máximo valor obtenido de la posición del escafoides y del mínimo valor obtenido de la posición del escafoides, si el valor obtenido de la posición del escafoides es superior al valor umbral, y
 - una memoria.
9. Sistema según la reivindicación 8, en el que el primer elemento sensor (12) está configurado para ser dispuesto en el tubérculo del escafoides del sujeto.
10. Sistema (10) según la reivindicación 8 o 9, en el que el primer elemento sensor comprende un sensor inercial (12).
11. Sistema (10) según la reivindicación 10, en el que el sensor inercial (12) comprende al menos un giroscopio y un acelerómetro.
12. Sistema (10) según una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 11, en el que el segundo elemento sensor (13) está configurado para ser dispuesto en el lateral externo del pie del sujeto.
13. Sistema (10) según una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 12, en el que el segundo elemento sensor comprende un sensor de presión (13).

14. Sistema (10) según la reivindicación 13, que comprende además una tobillera o similar configurada para sujetar al menos el módulo (11) de control y el módulo (14) de alimentación, al sujeto.

5 15. Producto de programa informático que comprende instrucciones de programa para provocar que un sistema según la reivindicación 8 realice un procedimiento para medir la cantidad de desplazamiento del escafoides de un sujeto (30) según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7.

10 16. Producto de programa informático según la reivindicación 15, que está almacenado en unos medios de grabación.

17. Producto de programa informático según la reivindicación 15, que es portado por una señal portadora.

15

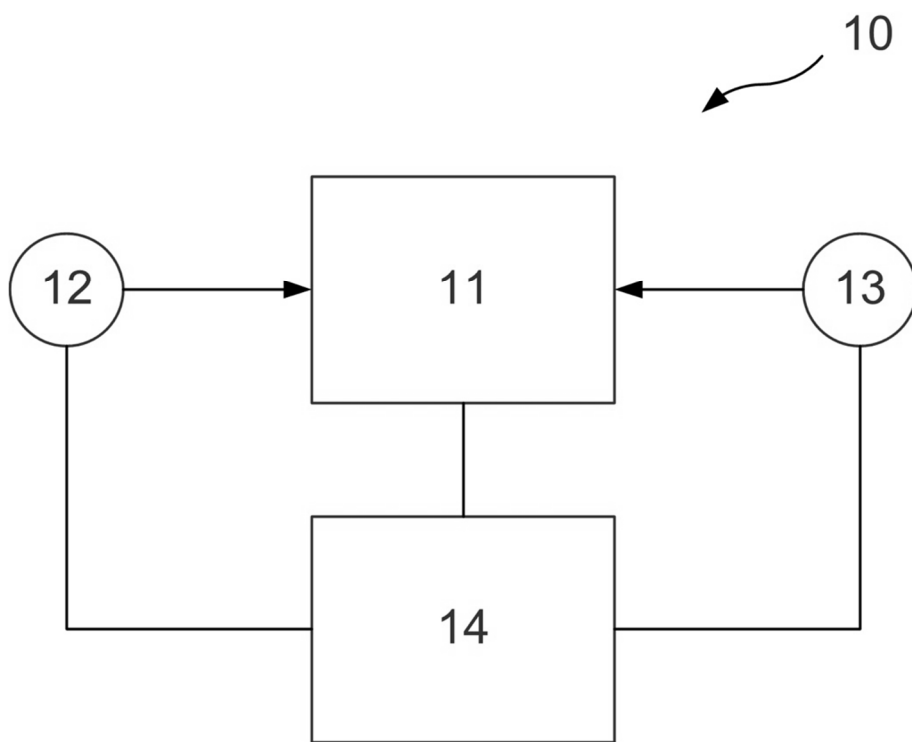


FIG.1

FIG.2

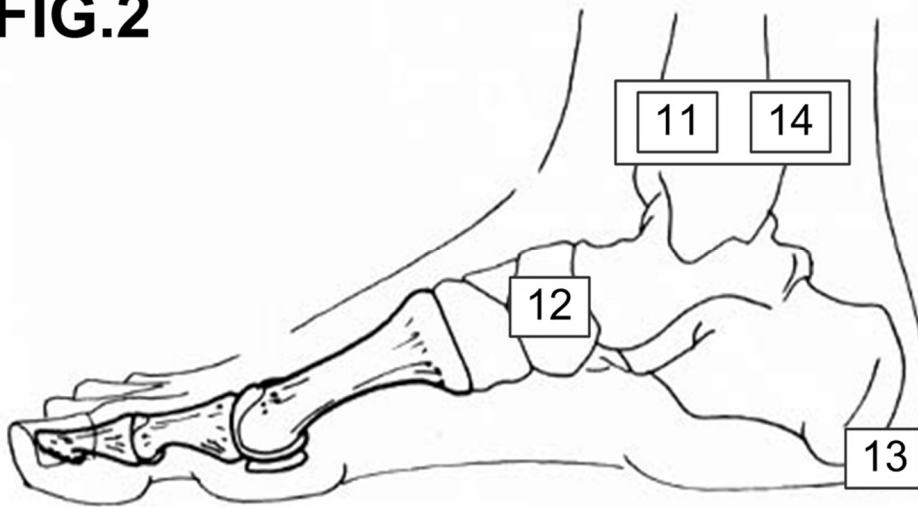
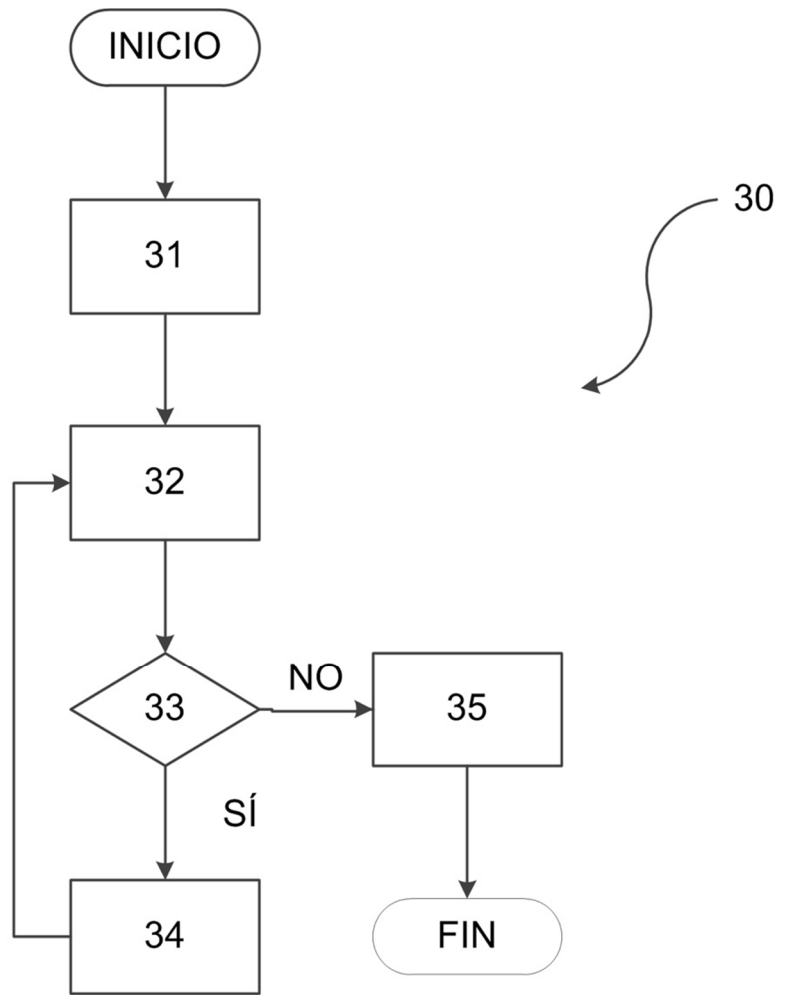


FIG.3



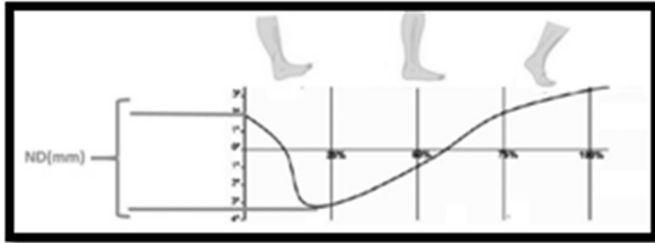


FIG.4