



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES
UNIDAD JURIQUELLA

FACULTAD DE INGENIERÍA

Prueba de valoración biomecánica de pisada con baropodometría



Dr. Raide Alfonso González Carbonell

Dr. Igor Salinas Sánchez

Dr. Demetrio Villanueva Ayala

Dr. Jesús Manuel Dorador González

Dr. Armando Ortiz Prado

Dr. Víctor Hugo Jacobo Armendáriz

Juriquilla, 2024

Prueba de valoración biomecánica de pisada con baropodometría.

Dr. Raide Alfonso González Carbonell, Dr. Igor Salinas Sánchez, Dr. Demetrio Villanueva Ayala, Dr. Jesús Manuel Dorador González, Dr. Armando Ortiz Prado, Dr. Víctor Hugo Jacobo Armendáriz

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional por la Universidad Nacional Autónoma de México, 2024.



Se cuenta con autorización para el uso de las imágenes que contienen la tecnología y las capturas de pantalla por parte de BTS Bioengineering (Milan, Italia). Las imágenes contenidas en este documento que no especifican la fuente, son de elaboración propia.

Título de la colección: Protocolos funcionales de valoración biomecánica.

ISBN de la colección: 978-607-30-9209-8.

Volumen 10.

ISBN Volumen: 978-607-30-9320-0.

Diseño de portada: Lic. Ana Karen Valadez Rodríguez.

Agradecimientos:

Trabajo realizado con el apoyo del Programa UNAM-DGAPA-PAPIME PE101022.

Los autores quieren agradecer el apoyo de las instituciones en la realización de este trabajo:

- Laboratorio de Biomecánica del Instituto de Neurobiología, Campus Juriquilla, UNAM.
- Centro de Rehabilitación Integral Querétaro.
- Centro para Rehabilitación Integral de Minusválidos del Aparato Locomotor. I.A.P.
- Fisiomechanics.
- A los alumnos de pregrado y postgrado.
- A todos, muchas gracias.

Índice:

Introducción.....	1
La fase de apoyo durante la marcha.	2
Tecnología disponible para el estudio del control postural.....	4
Plataforma baropodométrica y sistema P-Walk.	4
Prueba de pisada con la plataforma baropodométrica.....	5
Etapas de preparación.....	6
1. Preparación del área de trabajo.	6
2. Instalación de las cámaras de video en el final del recorrido y en lateral.....	6
3. Conectar el equipamiento a la computadora.	6
4. Ofrecer indicaciones al paciente sobre la prueba.....	7
Etapas de captura.	7
5. Iniciar proceso de grabación de video con las cámaras.	7
6. Iniciar el proceso de captura en el programa.	8
Etapas de creación del reporte.....	11
7. Informe de resultados.	11
Indicaciones para la aplicación del protocolo en las clases prácticas.	17
Referencias.	21

Introducción.

Las personas para desarrollar las actividades del día a día requieren trasladarse de un lugar a otro, por lo que la marcha es un componente importante en la calidad de vida de las personas. Para que las personas tengan una marcha con normalidad, deben tener una posición adecuada del pie durante el contacto inicial, estabilidad durante la fase de apoyo, el pie debe tener un paso libre en el balanceo y además una adecuada longitud del paso (Kuo & Donelan, 2010). Las alteraciones en el sistema activo o pasivo de las estructuras del pie afectan el contacto plantígrado normal y por tanto la marcha normal. Comprender las diferencias entre las características del pie sano y el pie con alguna alteración permite el tratamiento de las deformidades y/o la rehabilitación relacionada con el deterioro neurológico.

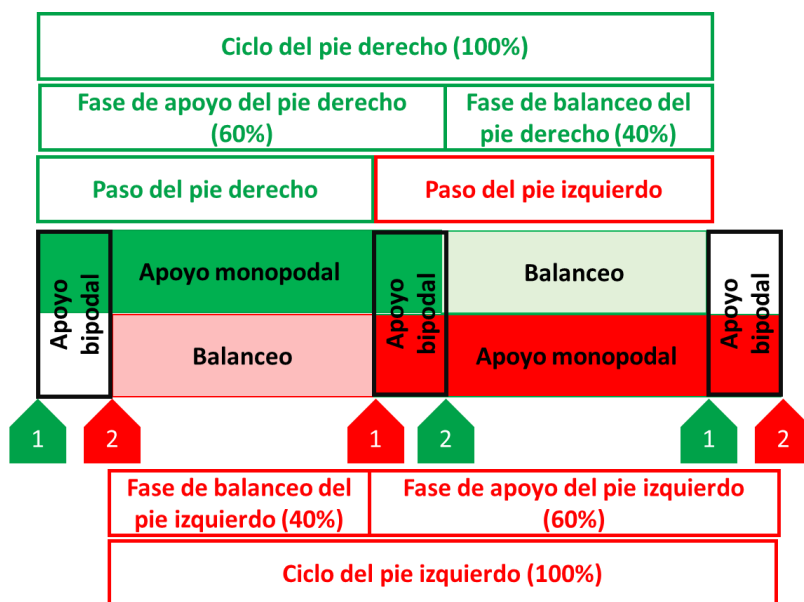
Los músculos flexores plantares hipertónicos conducen a un contacto inicial anormal con el borde lateral del antepié y producen una distribución de peso incongruente. El arco plantar alto o bajo puede ocasionar molestias y alteraciones en las extremidades y se pueden observar a partir de la trayectoria del centro de presión (CoP) que sigue un recorrido hacia el borde interno del pie y de la distribución de las áreas de presión en la pisada dinámica cambian la distribución. También la detección de zonas de presión por encima de 200 kPa puede ser un factor de riesgo para la formación de úlceras en el pie de diabéticos (López-Moral et al., 2021).

La prueba dinámica en la plataforma baropodométrica permite realizar un análisis rápido, preciso y sencillo de los parámetros de la dinámica de la pisada. El paciente debe realizar varios pasos sobre el tapete procurando dar un solo paso a la vez con cada pie. Los datos resultantes del ensayo garantizan un análisis objetivo de la trayectoria del CoP y evaluar los resultados de la terapia seleccionada en las patologías que lo afectan, así como la efectividad de la indicación de órtesis y prótesis. Es posible comparar varias pruebas realizadas en el mismo paciente en diferentes momentos (previa y posterior al tratamiento) para establecer la efectividad de la rehabilitación.

Este manual se orienta a fortalecer el aprendizaje de la valoración biomecánica de la prueba dinámica en la plataforma baropodométrica. Se sugiere que durante las actividades prácticas de laboratorio o en la realización de proyectos de investigación los alumnos tengan a la mano este material, para que consulten los pasos de cada etapa de la ejecución de la prueba para su correcta ejecución. Se recomienda que los alumnos consulten el audiovisual de “Valoración biomecánica de pisada con baropodometría” antes de realizar la prueba para su preparación independiente. El profesor debe proporcionar la dirección de internet para su consulta.

La fase de apoyo durante la marcha.

La marcha humana consiste en movimientos coordinados y alternantes de los segmentos corporales. Las actividades musculoesqueléticas ocurren simultáneamente a diferentes niveles articulares y en diferentes planos y ejes, esto a su vez ocasiona un continuo movimiento de balanceo, rotación y basculación del centro de gravedad. Dicho proceso se determina en dos Fases: Fase de Apoyo y Fase de Balanceo (Han et al., 2019; Ridao-Fernández et al., 2019) (Fig. 1). El apoyo representa la etapa en la que existe una transferencia del peso del sujeto hacia el suelo, cuando uno de los pies se encuentra en contacto con el suelo. Mientras en uno de los pies se está desarrollando la fase de apoyo, en el otro se lleva a cabo la fase de balanceo.



Eventos de la marcha

1	Choque de talón derecho	1	Choque de talón izquierdo	2	Despegue de dedos derecho	2	Despegue de dedos izquierdo
---	-------------------------	---	---------------------------	---	---------------------------	---	-----------------------------

Fig. 1. Fases de la marcha: apoyo, balanceo, apoyo bipodal y monopodal. Los eventos de apoyo de talón y despegue de dedos definen las fases de la marcha.

Para el mejor entendimiento de las fases de la marcha, la de apoyo se segmenta en cinco subfases (Aqueveque et al., 2020; Han et al., 2019). El contacto inicial o choque de talón se refiere al momento en que el talón (base del hueso calcáneo) asume contacto con el piso. Este momento de la marcha da inicio al ciclo de marcha, el cual culmina con un nuevo choque de talón del mismo pie. Como se observa en la figura, el centro de presión (CoP), que es el centroide del área de apoyo del pie (Buldt et al., 2018), se encuentra en el talón y empezará a desplazarse hacia el mediopié (Fig. 2). En el apoyo plantar el borde lateral inferior (hueso cuboides y quinto metatarsiano) entran en contacto con el piso. Este es un momento breve de transición donde el centro de gravedad inicia su lateralización hacia la fase de apoyo y el CoP avanza hacia el mediopié, por el borde lateral del pie, siguiendo la parte acojinada de la planta del pie. En el apoyo medio la planta del pie entra en un contacto total con el piso, la descarga final del peso corporal radica en los tres puntos de apoyo (calcáneo, cabeza del quinto metatarsiano y cabeza del

primer metatarsiano). En este momento el CoP se encuentra en el mediopié y se prepara para avanzar hacia el antepié, buscando la cabeza del segundo metatarsiano (Tang et al., 2022).

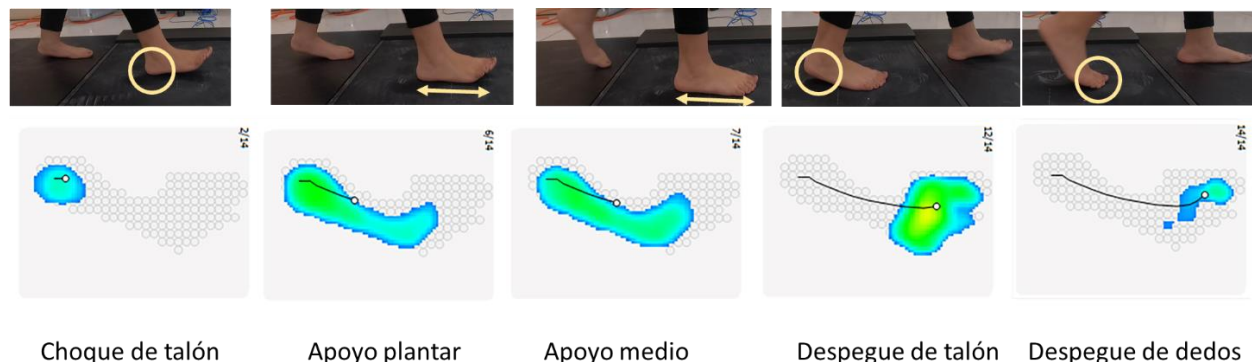


Fig. 2. Fases de la fase de apoyo durante la marcha: Contacto inicial, apoyo plantar, apoyo medio, contacto final y despegue de dedos.

Por su parte el despegue de talón o apoyo final da inicio a la transición del peso corporal al pie contralateral. Esta subfase se caracteriza por el despegue del talón y el choque de talón del pie contralateral, por lo que la carga se distribuye entre las cabezas metatarsianas del pie en apoyo (arco transversal) y el talón (base del hueso calcáneo) del pie contralateral. Para este momento el pie contralateral se ha ubicado al frente y el pie en apoyo está por detrás de la línea media coronal. El CoP se encuentra entre las cabezas del primer y segundo metatarsiano y se prepara para trasladarse al primer orjejo. En el despegue de dedos termina la fase de apoyo. La carga residual se encuentra ubicada en el ante pie sobre los dedos (orjejos) mientras que la mayor carga pasa a la fase de apoyo medio del pie contralateral. El primer orjejo tiene una inherente función en esta subfase, ya que su disfunción o pérdida por amputación puede modificar de manera significativa la marcha humana. El CoP termina su traslación en el primer orjejo. El recorrido del CoP se muestra con una curva de color negro.

La evaluación de los parámetros de la dinámica de la pisada se han incluido en estudios que investigan los parámetros de la marcha de pacientes con diabetes, como riesgo de caídas, como riesgo o consecuencia de varios trastornos musculoesqueléticos de las extremidades inferiores, cambios dinámicos en la deformidad del pie causada por trastornos neurológicos, entre otros (Abri et al., 2019; Belvedere et al., 2020; Fullin et al., 2022; Keklicek et al., 2018). La inestabilidad lateral es un factor de riesgo de caídas, existe relación entre los cambios en el CoP medio-lateral con el aumento o la disminución de los momentos de aducción de la rodilla relacionados con la osteoartritis de la rodilla medial y durante la marcha. Las áreas anatómicas de fuerza o presión de la planta del pie se calculan y delimitan en varias regiones, como el talón medial y lateral, la parte media del pie y las cabezas de los metatarsianos (Sole et al., 2017).

Tecnología disponible para el estudio del control postural.

En las últimas décadas, se ha incrementado el uso de las tecnologías no invasivas de valoración funcional biomecánica para analizar las actividades cotidianas de las personas (Mohammed et al., 2016) y discriminar el rango de normalidad de las variaciones de los movimientos con una mayor precisión en comparación con el método de observación clínica. Las nuevas herramientas están compuestas por sistemas electrónicos y paquetería de procesamiento de las señales capturadas durante los estudios (Ridao-Fernández et al., 2019).

Entre ellas se encuentran:

- Cámaras de vídeo digitales de alta velocidad con anillos de luz infrarroja que rodean las lentes capturan imágenes de alto contraste de los marcadores reflectantes. Laboratorio de Biomecánica.
- Plataformas de fuerzas.
- Electromiografía de contacto de superficie.
- Baropodometría.
- Sensor inercial.

Plataforma baropodométrica y sistema P-Walk.

Las plataformas baropodométricas son tapetes sensorizados que permiten obtener la distribución de la presión en cualquier punto de la zona sensorizada. Estos dispositivos se usan para investigar la interacción dinámica del pie con el suelo, con mayor resolución que la de las plataformas de fuerza. En las plataformas se emplean fundamentalmente sensores de presión capacitivos o resistivos. Los sensores resistivos muestran histéresis y sensibilidad a las bajas temperaturas y una mayor repetibilidad de las mediciones, los sensores capacitivos son menos costosos.

El sistema P-Walk (BTS Bioengineering, Milán, Italia) está compuesto por una o varias plataformas baropodométricas con sensores del tipo resistivos y el programa de procesamiento G-Studio para la evaluación funcional de movimiento. A través de un cable USB se recibe la información del mapeo de presión en las regiones plantares que permite realizar pruebas clínicas esenciales en la rehabilitación. Es de gran ayuda para médicos y especialistas pues complementa la evaluación de la eficacia de terapias o programas de rehabilitación. Las pruebas son muy fáciles de hacer y los resultados son inmediatamente comparables con el rango de normalidad (Fig. 3).



Fig. 3. Plataforma baropodométrica del sistema P-Walk.

Los protocolos integrados ofrecen la posibilidad de hacer análisis completos y detallados de las principales pruebas clínicas. Entre las pruebas que ofrece el sensor se encuentran los protocolos de

- 1- Prueba estática.
- 2- Prueba dinámica.

Prueba de pisada con la plataforma baropodométrica.

La prueba dinámica en la plataforma baropodométrica permite realizar un análisis rápido, preciso y sencillo de los parámetros de la dinámica de la pisada. El paciente debe realizar varios pasos sobre el tapete procurando dar un solo paso a la vez con cada pie. Los datos resultantes del ensayo garantizan un análisis objetivo de la trayectoria del CoP y evaluar los resultados de la terapia seleccionada en las patologías que lo afectan, así como la efectividad de la indicación de órtesis y prótesis. Es posible comparar varias pruebas realizadas en el mismo paciente en diferentes momentos (previa y posterior al tratamiento) para establecer la efectividad de la rehabilitación.

El centro de presión (CoP) se calcula como el centroide del área que miden el número total de sensores activos durante la prueba, lo que representa la distribución espacial de la presión a lo largo del tiempo (Buldt et al., 2018). También se puede determinar la distribución de presión en las diferentes regiones plantares. Con este dato se determina la trayectoria del CoP de cada pie, la relación entre el área de contacto del mediopié y el área de la huella plantar, que se utiliza para clasificar la tipología del pie (arqueado normal, cavo, o plano). Además, se pueden determinar otros parámetros, como la fuerza en las fases de la pisada (Chang et al., 2014).

Este protocolo ofrece los siguientes datos:

- Curvas de la componente vertical de la fuerza de reacción con el suelo y área debajo de la curva (impulso de la fuerza).
- Características de la pisada: tiempo de contacto, superficie de contacto, presión media y presión máxima de las pisadas elaboradas por el paciente.
- Gráfico interactivo de la ubicación de la presión media, presión máxima, tiempo de contacto de la Integral Presión/tiempo del paso por defecto.
- Fotogramas del paso por defecto con la ubicación y trayectoria del CoP.
- Representación gráfica y en diagrama de pastel del porcentaje de las áreas de contacto del antepié, mediopié y retropié.
- Índice del arco plantar y tipología del pie.
- Presión plantar del pie para las secciones: talón medial (MH) y lateral (LH), mediopié (MF) y las cinco cabezas de los metatarsianos (M1, M2, M3, M4 y M5).
- Magnitud de la superficie de contacto, tiempo de contacto, presión media y presión máxima de las secciones del pie para el paso por defecto.
- Curvas de la componente vertical de la fuerza de reacción con el suelo en función del tiempo de duración de la pisada para las secciones del pie en el paso por defecto.
- Diagrama tridimensional de la presión plantar.

Para realizar la prueba es necesario realizar los siguientes pasos:

Etapas de preparación.

1. Preparación del área de trabajo.

Durante la prueba, el paciente realizará varias pisadas sobre el tapete con cada pie. Se requiere relativamente poco espacio, el suficiente para acomodar la plataforma, las extensiones de la pasarela y sus conexiones.

2. Instalación de las cámaras de video en el final del recorrido y en lateral.

Colocar las cámaras para la captura del movimiento en el plano frontal y en el plano sagital, para analizar la relación entre las variables de la prueba con las fases de la pisada. De este modo, se podrá observar si existe alguna asimetría evidente en la estructura del cuerpo.

3. Conectar el equipamiento a la computadora.

Conectar el adaptador de corriente a la plataforma y al tomacorriente, el extremo del cable con conector USB B a la plataforma (Fig. 4a) y el extremo con conector USB A a la computadora (Fig. 4b). La luz del indicador LED verde se prenderá, indicando que la plataforma está lista para usarse.

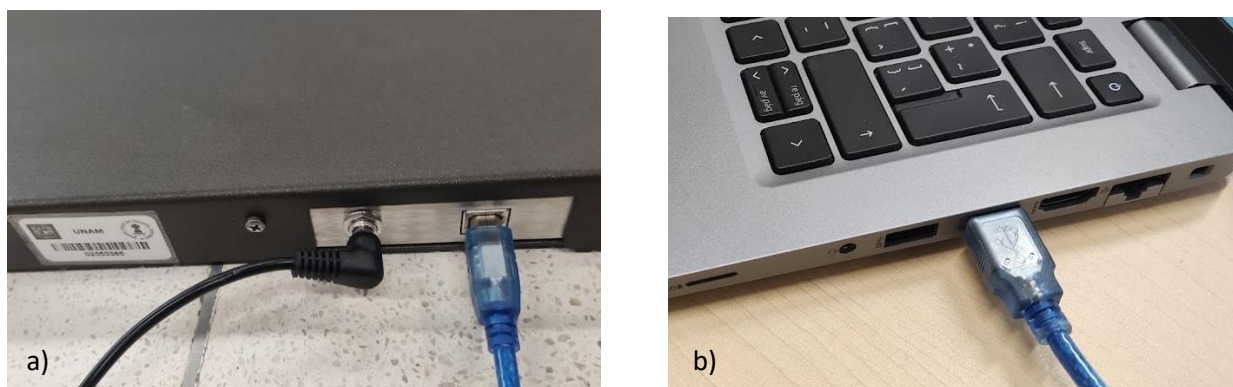


Fig. 4. Conexión de la plataforma a la corriente y al puerto USB de la computadora.

4. Ofrecer indicaciones al paciente sobre la prueba.

Las indicaciones serán las siguientes:

La prueba biomecánica consiste en medir la presión plantar durante la marcha con equipamiento destinado para este fin, como es la plataforma baropodométrica. Usted deberá pisar la plataforma descalzo en el área sensorizada que es la que tiene el logo de BTS. Usted deberá realizar una sola pisada a la vez, por ejemplo, si en la ida da el paso con la derecha, al regreso lo deberá dar con la izquierda. Una vez que complete al menos tres pasos con cada pie damos por concluida la prueba.

En todos los casos, la información que usted proporcione al personal que participa en las pruebas será de carácter estrictamente confidencial, se utilizará exclusivamente por el personal involucrado en los estudios, y no estará disponible para ningún otro propósito. Usted y la información que nos proporcione quedarán identificados con una clave y no con su nombre, de tal manera que ninguno de los integrantes del equipo de investigación ni ninguna otra persona pueda conocer su identidad. Los resultados de este estudio serán publicados únicamente con fines científicos y docentes. El equipo de investigación y la UNAM se comprometen a proteger sus datos personales.

Los beneficios de participar en este estudio son: usted recibirá por correo electrónico un reporte detallado y la interpretación de las pruebas biomecánicas que realizó, también recibirá orientación médica sobre las posibles asimetrías del movimiento y la estrategia para su corrección. De manera indirecta usted contribuirá al desarrollo científico y tecnológico del país, que optimizará la atención integral de personas con amputaciones para su rehabilitación.

Los riesgos de participar en el estudio se atribuyen principalmente a la incomodidad y/o cansancio durante las pruebas de funcionalidad. Cabe destacar que los sensores empleados en el estudio no emiten radiaciones ionizantes ni genera campos magnéticos potentes; por lo que se considera una técnica inocua.

Etapas de captura.

5. Iniciar proceso de grabación de video con las cámaras.

Asegurarse que las cámaras tienen suficiente espacio para grabar la prueba.

6. Iniciar el proceso de captura en el programa.

Primero debemos dar alta al paciente a estudiar en el programa G-Studio de BTS Bioengineering. Si el paciente ya existe en la base de datos, entonces se omite. Para dar alta a un paciente, se selecciona el ícono de la Barra de herramientas dedicado a la Gestión de paciente (Fig. 5).



Fig. 5. Barra de herramientas del G-Studio. Gestión de Paciente.

Se desplegará una ventana para capturar los datos del paciente, como nombre, apellidos, fecha de nacimiento, código del paciente, peso, longitud de las extremidades (desde la cresta ilíaca anterior hasta el maléolo lateral), patología y notas donde se podrán agregar los motivos del estudio, entre otras (Fig. 6). En la sección de patologías, se pueden seleccionar algunas como Amputación de Miembro inferior, Osteoartritis de cadera, Parkinson, Adultos mayores, Accidentes cardiovasculares y Desordenes vestibulares. Al seleccionar una de estas patologías, el programa comparará los parámetros espacio temporales con los valores normalizados de cada una de las patologías. Luego seleccionamos aceptar para guardar los datos del paciente.

The image shows a window titled 'Agregando nuevo paciente...'. It contains a form for entering patient data. The form is divided into two main sections: 'Datos personales' (Personal data) and 'Datos de la prueba' (Test data). The 'Datos personales' section includes fields for 'Código personal' (Personal code), 'Apellido' (Last name), 'Nombre' (First name), 'Fec. Nac.' (Date of birth), 'Peso' (Weight), 'Altura' (Height), 'Genero' (Gender), 'Pie zapato' (Foot shoe), and 'Patología' (Pathology). The 'Datos de la prueba' section includes fields for 'P.drch' (Right limb length) and 'P.izq' (Left limb length). A diagram of a human figure is shown in the background, with arrows indicating the measurement points for the limb lengths. The 'Patología' field has a dropdown menu with a list of pathologies. The 'P.drch' and 'P.izq' fields have a 'Valor predeterminado (0.53 x altura)' (Default value (0.53 x height)) label. The window has 'Aceptar' (Accept) and 'Cancelar' (Cancel) buttons at the bottom.

Fig. 6. Ventana para capturar los datos del paciente.

Se selecciona el protocolo Análisis dinámico de la barra de herramientas de la derecha de la pantalla.

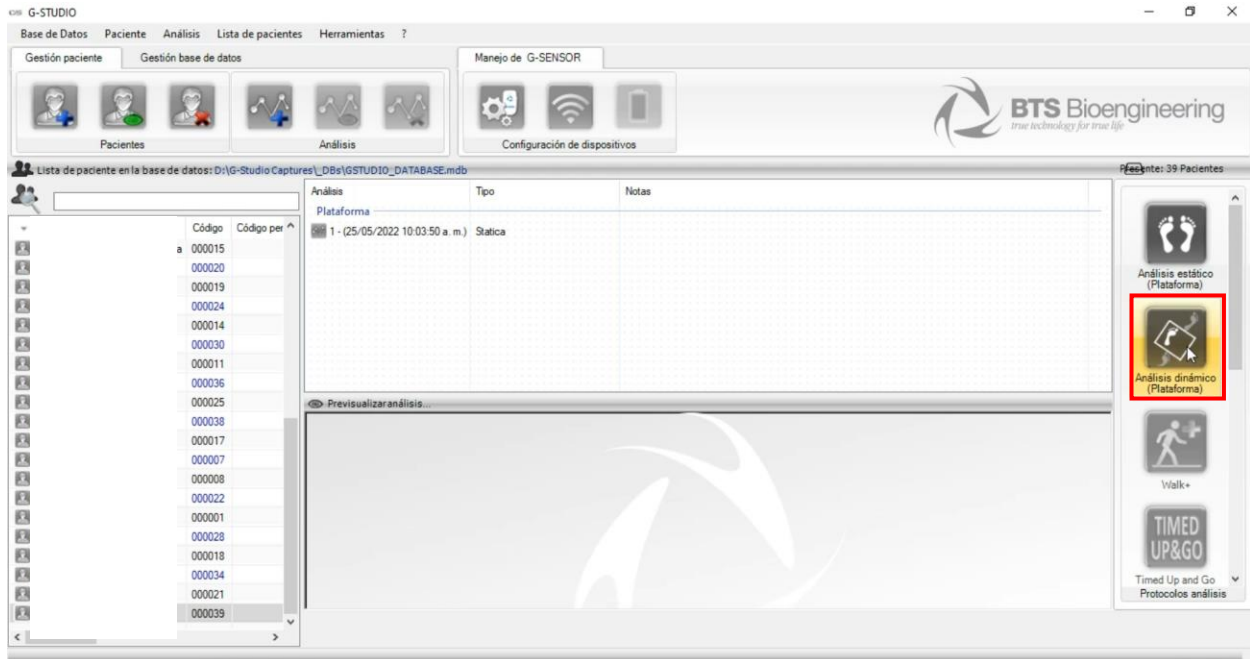


Fig. 7. Selección del protocolo Análisis dinámico para el análisis del recorrido del CoP y de la tipología del pie.

Aparecerá la ventana dedicada a esta prueba que indica que el paciente puede comenzar a dar los pasos. Se da la orden al paciente de caminar sobre la plataforma cumpliendo las indicaciones previas (Fig. 8).

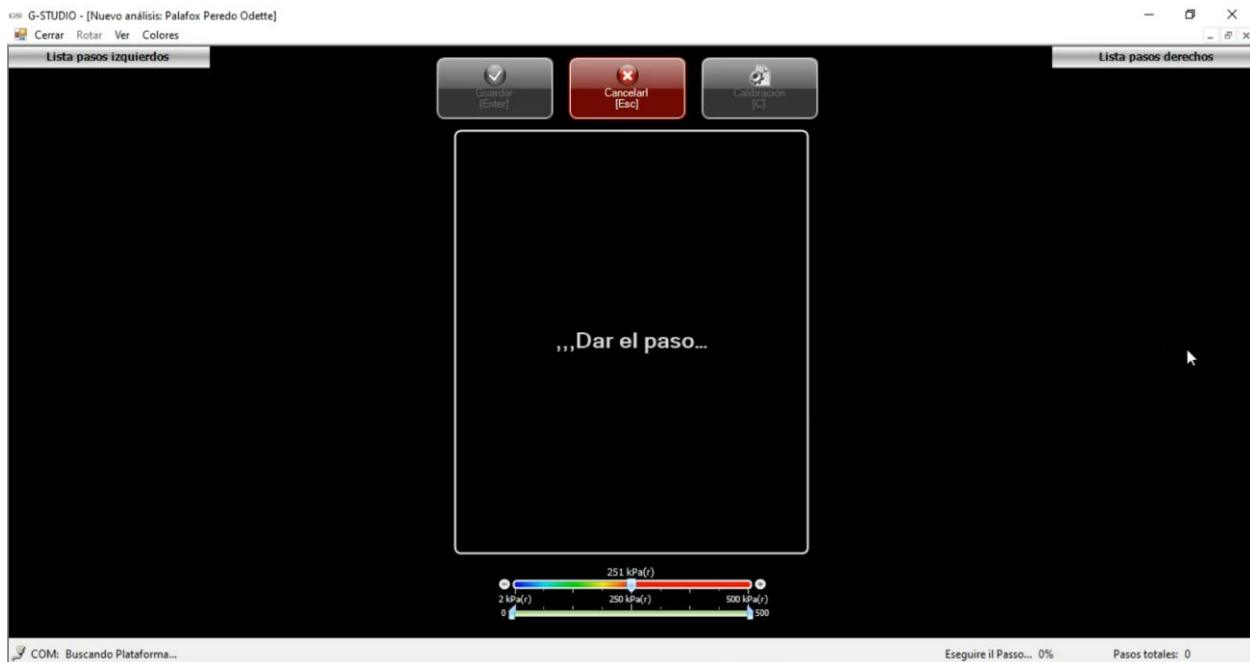


Fig. 8. Ventana para indica que está listo el protocolo para que el paciente de un paso a la vez con cada pie en el área sensorizada de la plataforma.

Cuando la plataforma detecta la pisada del paciente, entonces se activa la opción de grabar la prueba (Fig. 9). Una vez obtenidos los 3 pasos por cada pie, se selecciona guardar en el botón verde.

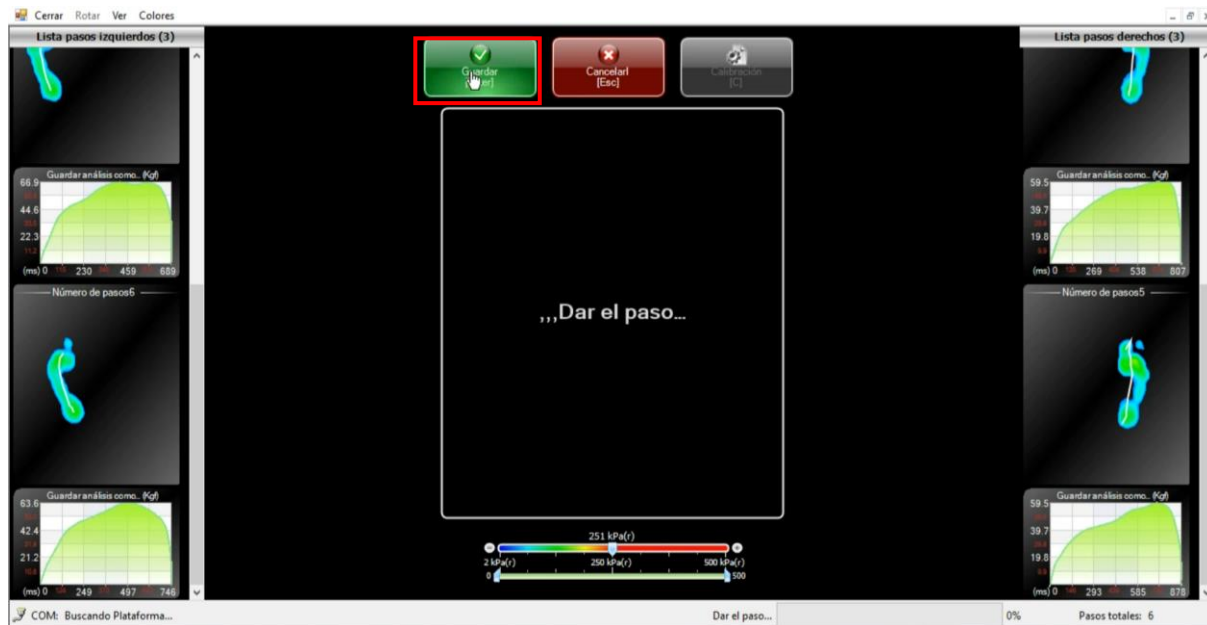


Fig. 9. Ventana de capturar la prueba de análisis estático según el tiempo definido para la prueba.

Posteriormente, el programa ofrece nuevamente la opción de guardar los resultados en la base de datos. Con esto se da por terminada la etapa de captura (Fig. 10). También ofrece las opciones de Guardar y Visualizar, la que pasará de forma automática a consultar el reporte de resultados, agregar una nueva prueba, lo que descartará la grabación actual e iniciará el proceso de captura de una nueva prueba y la opción de cerrar.

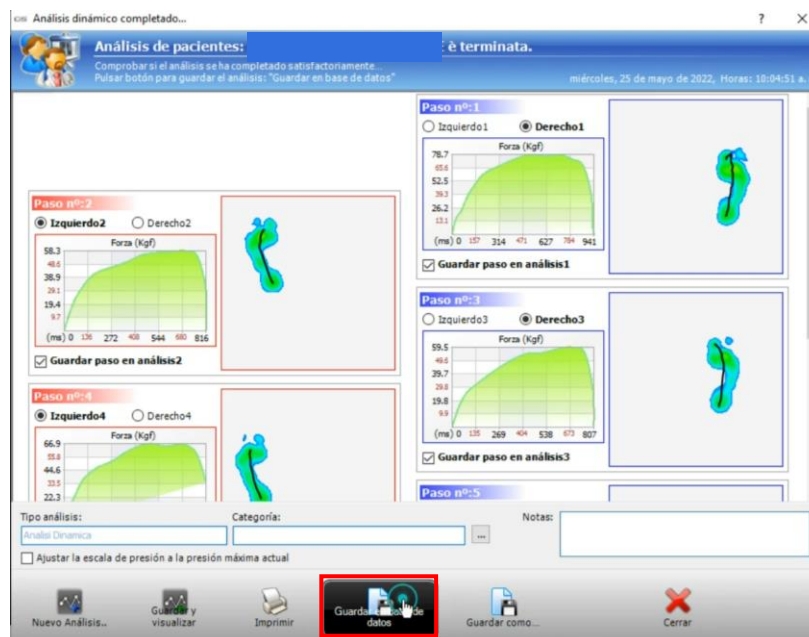


Fig. 10. Ventana de grabación la prueba de análisis estático según el tiempo definido para la prueba.

Etapa de creación del reporte.

7. Informe de resultados.

Para consultar el informe de los resultados, si eligió la opción de Guardar en Base de Datos, se deberá seleccionar el paciente y la prueba, como se ilustra en la Fig. 11. Si la opción de su preferencia fue Guardar y Visualizar, este paso no es necesario, el programa pasará automáticamente a las ventanas de resultados.

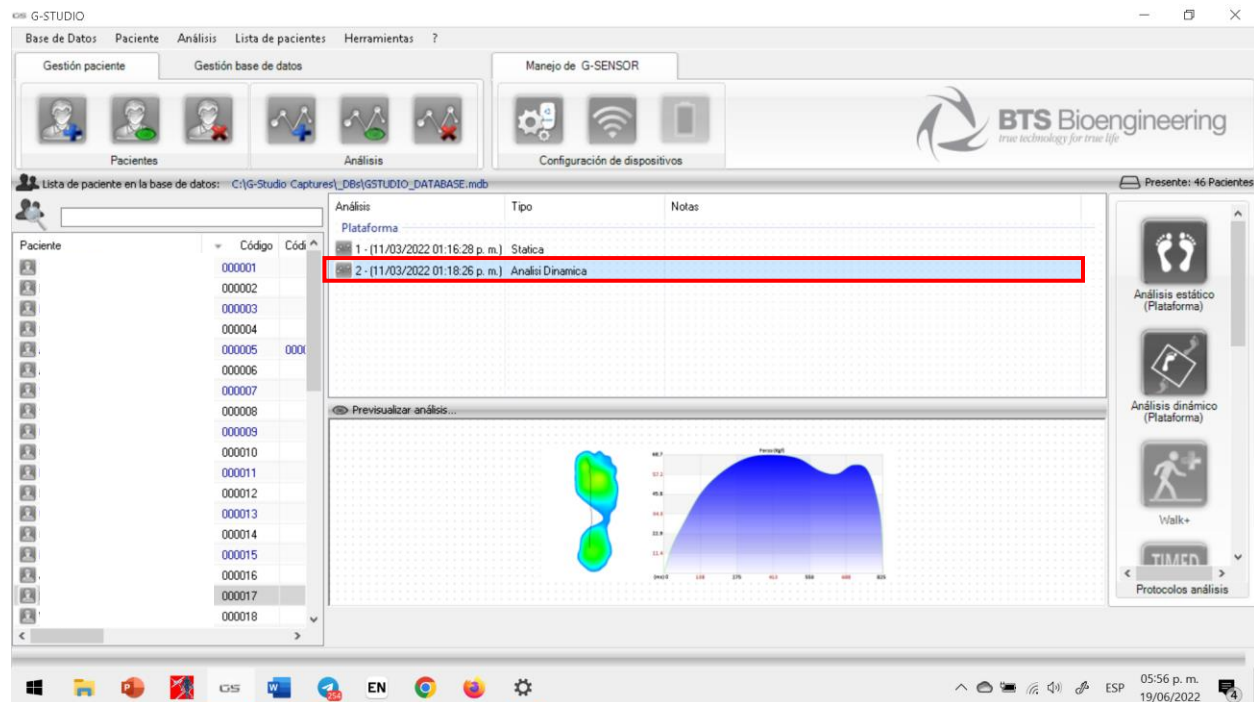


Fig. 11. Ventana para la selección de los resultados del análisis dinámico desde la base de datos del programa.

Interpretación de los resultados.

Gráfico de Identificación de las características del paso.

Los resultados de la prueba se muestran en varios gráficos, para visualizarlos se selecciona el ícono de la barra ubicada en la parte superior de la pantalla que corresponde a cada gráfico. El primer gráfico muestra las curvas de las componentes verticales de las fuerzas respecto al suelo, para cada pisada elaborada por el paciente (Fig. 12). El programa determina la curva promedio para dicha fuerza de reacción y el área debajo de dicha curva. Como es conocido del Cálculo Integral, el área debajo de la curva es igual a la integral definida de la función de la componente vertical de la fuerza de reacción promedio para el intervalo de tiempo que demora la pisada.

Además, se sabe que, del principio de impulso y cantidad de movimiento de la mecánica clásica, la integral de la función de una fuerza respecto al tiempo es el impulso de dicha fuerza, y aplicado a la pisada, es el impulso de cada pie. Debajo de los gráficos de las componentes verticales de las fuerzas de reacción se listan los datos de cada paso elaborado por el participante (tiempo de contacto, superficie de contacto, presión media de la pisada y presión máxima de la pisada). El programa resalta el paso de cada pie que tienen una presión media que es menor que el paso con presión media máxima y mayor que el paso que

tiene presión media mínima. Dicho paso corresponde con el paso por defecto y es seleccionado para mostrar el recorrido del CoP a ambos lados de los pasos elaborados. El software selecciona el paso por defecto para los gráficos que se explican a continuación.

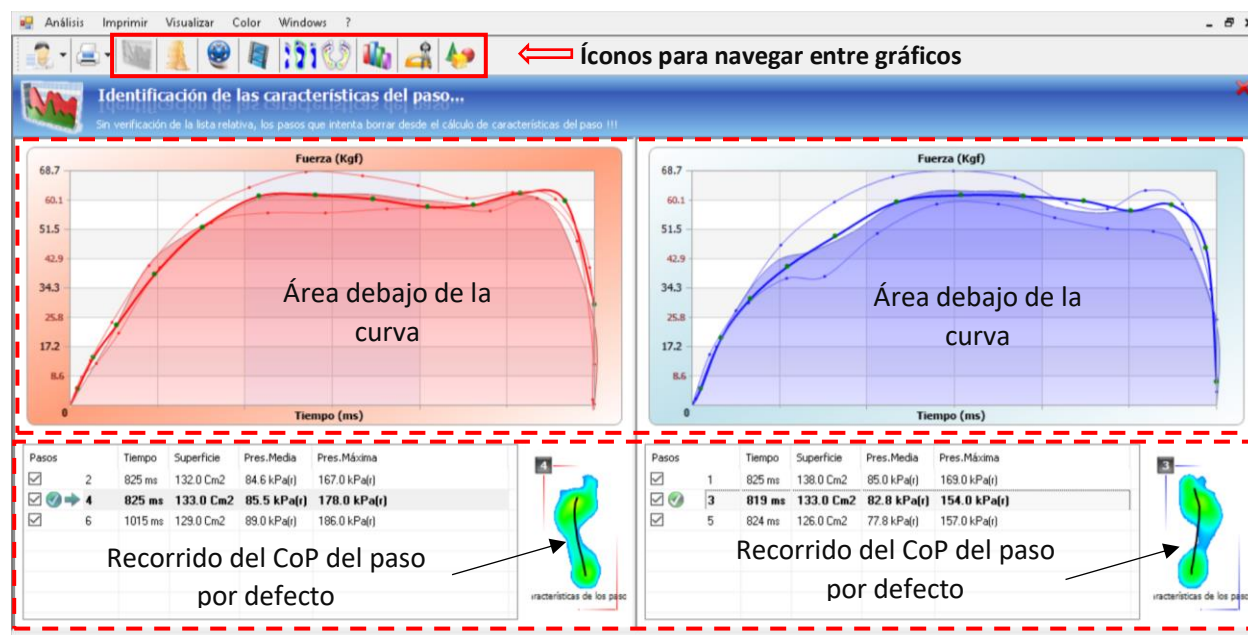


Fig. 12. Gráfico de Identificación de las características del paso. Curva de la componente vertical de la fuerza de reacción y área debajo de la curva, selección del paso con presión media en el intervalo entre el máxima y el mínimo de cada pisada.

Gráfico de Imágenes del paso por defecto.

En ambos laterales del gráfico aparecen las pisadas elaboradas por el paciente y las gráficas de la parte central corresponden al paso por defecto identificado por el software en el primer gráfico (Fig. 12). En el gráfico de la Fig. 13 se muestran las imágenes para la presión máxima, media, tiempo e integral presión/tiempo. El gráfico es interactivo, al deslizar el ratón por encima de la huella plantar de cada una de estas imágenes se muestra la magnitud de la variable que corresponde a cada gráfico. En el caso de la presión máxima, se puede identificar que el máximo se encuentra en el antepié y alcanza los 178.0 kPa.

La distribución de la presión media también se puede visualizar para cada región de la planta del pie. Por su parte, en la imagen del tiempo de contacto se identifica la parte del pie que permanece mayor tiempo en contacto con el suelo, que es la región del antepié, resaltado en color rojo. De igual manera, la integral Presión/tiempo también alcanza la mayor exposición en el antepié. Estas dos últimas magnitudes se muestran en función del porcentaje del tiempo que permanece en contacto cada región del pie. El tiempo de duración de la pisada se puede consultar en la parte superior del gráfico, junto con las otras tres variables antes comentadas.

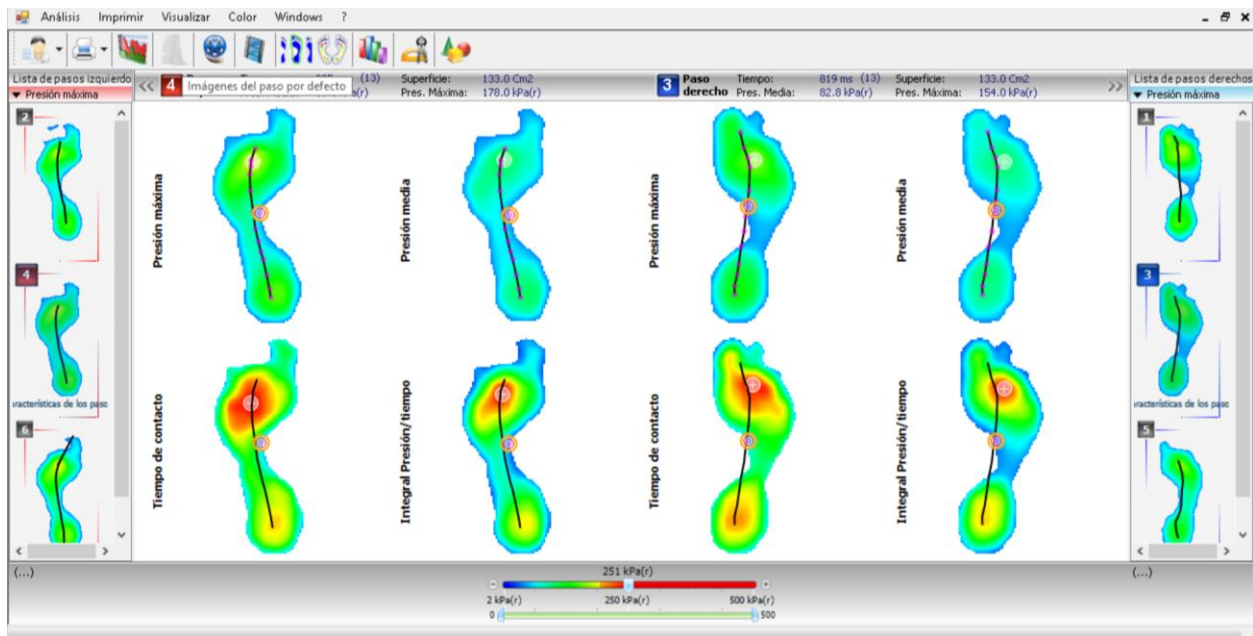


Fig. 13. Datos generales de la prueba, presión máxima, media, distribución de la presión plantar, ubicación de los centros de presión y proporción del peso por extremidades.

Gráfico de Fotogramas de presión.

El gráfico de fotogramas de los pasos permite identificar la ubicación del CoP y su trayectoria en las diferentes subfases del apoyo, en el caso de la Fig. 14 se divide el apoyo plantar del paso por defecto en 13 fotogramas. El comportamiento esperado de la trayectoria del CoP es que inicie el recorrido desde el talón del pie (contacto de talón) para luego dirigirse a la parte acolchonada del lateral del pie (apoyo plantar y medio), posteriormente pasar por entre las cabezas del segundo y tercer metatarsiano (despegue de talón) para finalmente, en el despegue de dedos desplazarse por el primer orjejo (Buldt et al., 2018).

En el caso del paciente que efectuó las pisadas se aprecia que el CoP inicia el apoyo por el contacto de talón ligeramente orientado hacia la parte lateral del talón (fotograma 1), luego comienza el desplazamiento hacia el mediopié en la subfases de apoyo plantar y apoyo medio (fotogramas 5 al 8). El CoP se desplaza por la parte acolchonada del lateral del pie izquierdo, encima de la parte coloreada de la figura. Sin embargo, en la pisada del pie derecho se aprecia que el recorrido del centro de presión lo realiza más hacia el centro del mediopié y no por encima del área coloreada de la figura.

En la subfase de despegue de talón el CoP se dirige hacia las cabezas del segundo y tercer metatarsiano para ambos pies, zona que se aprecia una coloración más cálida de las presiones (fotogramas 11 y 12). De la Fig. 13 se identificó que esta región del pie es la que se encuentra con un mayor tiempo de contacto. Finalmente, en el despegue de dedos se aprecia que el CoP se dirige hacia el primer orjejo. En el pie derecho se observa mejor este comportamiento, puesto que en el pie izquierdo se interrumpe el desplazamiento en las cabezas de los metatarsianos.

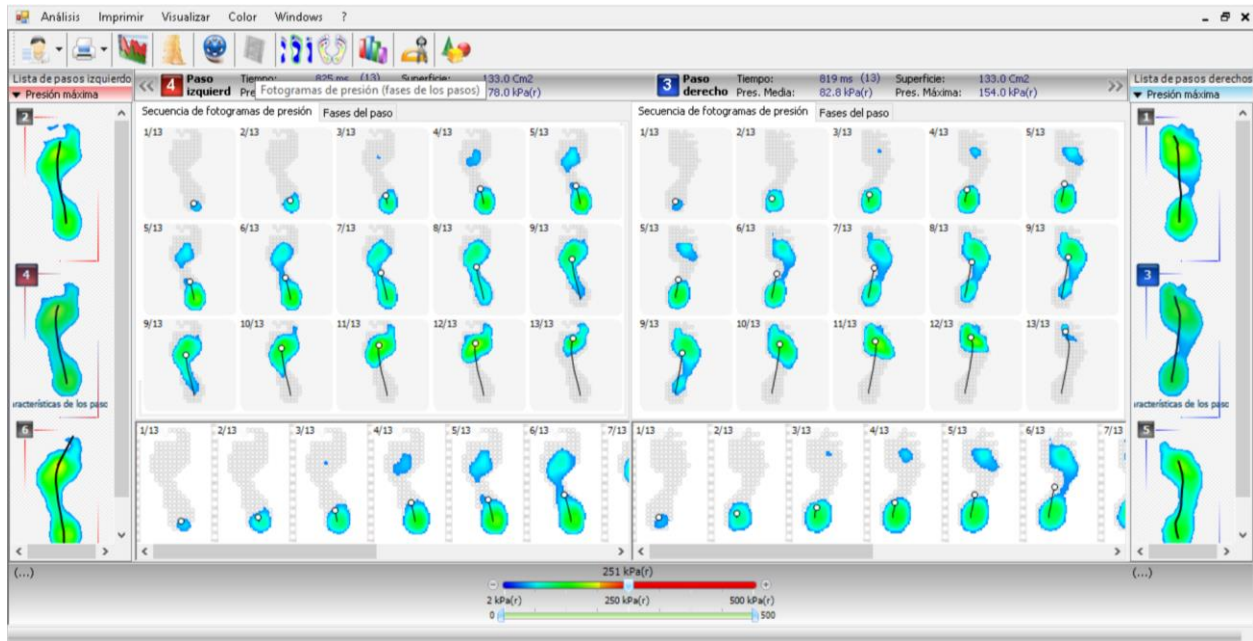


Fig. 14. Fotograma de presión.

Gráfico de tipología del pie.

El siguiente gráfico indica la tipología del pie a partir de las áreas de las tres regiones del pie durante la pisada. La información de la división del pie se presenta en tres opciones, en una se pueden identificar las tres áreas A, B y C, destacadas en tres colores, un gráfico de pastel que muestra el porcentaje que representa cada área de la superficie de contacto del pie y la huella plantar donde se identifican los puntos anatómicos que resaltan la línea de simetría longitudinal del pie y los puntos más sobresalientes en la parte medial y lateral del retropié y el antepié. Por último, en la parte inferior del gráfico se aprecia la tipología del pie según el índice del arco del pie (Fig. 15).

Tradicionalmente la tipología del pie se determina para condiciones estáticas, sin embargo, las plataformas baropodométricas permiten determinar las áreas de las partes del pie y ofrecen la posibilidad de este análisis de forma dinámica. El índice plantar se determina dividiendo el área de la parte media del pie (B) entre el área de la huella plantar (A+B+C) (Murley et al., 2009). El arco longitudinal del pie presenta modificaciones en condiciones dinámicas de la pisada respecto a condiciones estáticas. Esto se debe a que los tejidos de la fascia plantar pueden mantener una rigidez mayor debido a que la duración del tiempo de contacto es menor y tiene menor tiempo para alcanzar las deformaciones que puede mostrar en condiciones estáticas. Por otra parte, el tendón de Aquiles también influye en la respuesta ante las deformaciones de los ligamentos de la planta del pie.

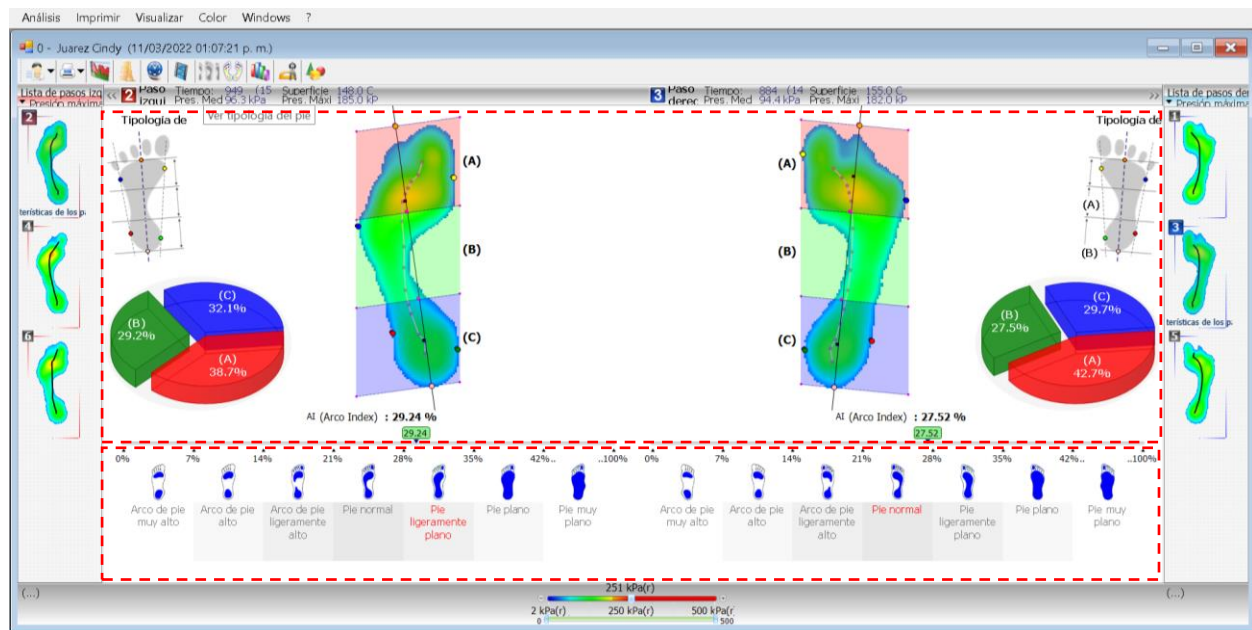


Fig. 15. Tipología del pie a partir del índice plantar.

Gráfico de Áreas del pie.

En este gráfico se divide la huella plantar las siguientes regiones del pie: cabezas de los metatarsianos (M1, M2, M3, M4, M5), el medio pie (MF), el talón medio (MH) y talón lateral (LH) (Fig. 15). En ambos laterales del gráfico aparecen delimitadas dichas áreas para la pisada identificada por el software en el primer gráfico (Fig. 12). En la parte central y superior del gráfico se definen las superficies de contacto, el porcentaje que representa del área total del mismo pie, la componente vertical de la fuerza de reacción que se aplica en esa área, el porcentaje que representa dicha fuerza respecto a la fuerza total que se aplica sobre el pie, la presión máxima y la presión media de cada área. En la parte inferior se grafican las curvas de las componentes verticales de la reacción con el suelo para cada área.

Para las pisadas elaboradas por este paciente, se puede observar que los mayores registros para las presiones máximas y medias se observan en el talón medial y lateral, así como en las cabezas de los metatarsianos M2, M3 y M4. En cuanto a las componentes verticales de las fuerzas de reacción, se aprecia que en el inicio de la pisada es el talón lateral el que desarrolla una fuerza ligeramente superior al talón medial, identificadas con color rojo y rosado respectivamente. A medida que el centro de presión se desplaza hacia el mediopie, comienza a disminuir la fuerza en el talón para trasladarse hacia el mediopie. Alcanza una fuerza máxima en el apoyo medio y comienza a disminuir, para entonces incrementar la fuerza en la cabeza del primer metatarsiano. Ambos pues tienen un comportamiento similar en cuanto a la forma de la curva y magnitudes de las fuerzas. Los máximos de las fuerzas en las cabezas de metatarsianos M2, M3, M4 y M5 son inferiores a LH, MH y M1.



Fig. 16. Datos generales de la prueba, presión máxima, media, distribución de la presión plantar, ubicación de los centros de presión y proporción del peso por extremidades.

Gráfico tridimensional.

Por último, el programa facilita en la Fig. 17 la huella plantar de forma tridimensional, para el diseño de plantillas, y ayudar a visualizar las superficies donde hay que liberar presión y aquellas que hay que proporcionar soporte al pie.

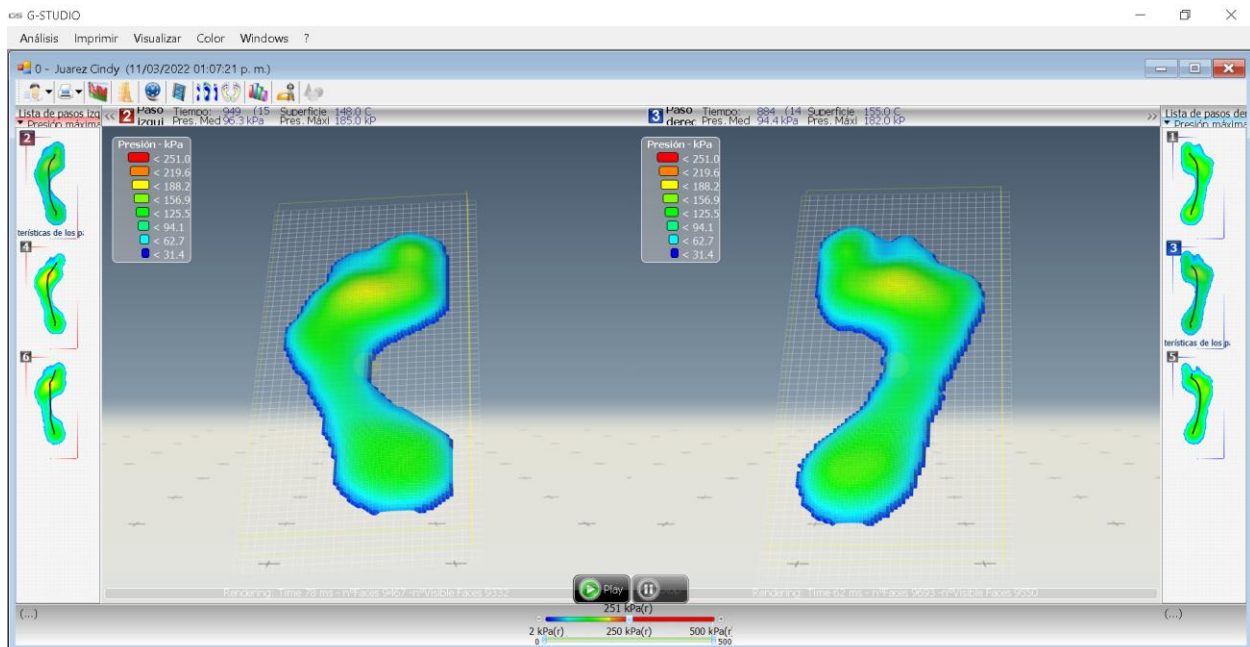


Fig. 17. Datos generales de la prueba, presión máxima, media, distribución de la presión plantar, ubicación de los centros de presión y proporción del peso por extremidades.

Indicaciones para la aplicación del protocolo en las clases prácticas.

El protocolo contiene la secuencia lógica de operaciones que debe realizar el estudiante (o investigador), como ente activo en el proceso de construcción del conocimiento, para la aplicación práctica de las técnicas de valoración biomecánica. Mediante las clases prácticas, el docente buscará contribuir al desarrollo de habilidades profesionales para “identificar las alteraciones de los movimientos ocasionados por daños del sistema musculoesquelético de los pacientes”. De este modo, los alumnos estarán en mejores condiciones para diseñar la intervención ortoprotésica de acuerdo con las necesidades del paciente (Fig. 18).

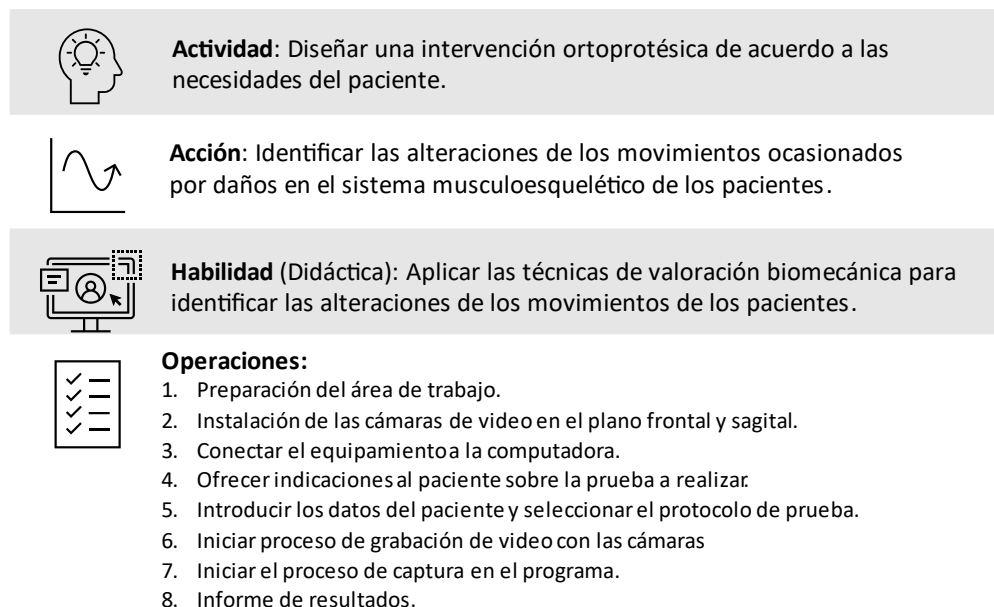


Fig. 18. Relación entre la actividad, acción, habilidades y operaciones para desarrollar las habilidades mediante la actividad práctica.

Después de abordar temas relacionados con la valoración de los movimientos con la tecnología, se debe orientar la práctica de laboratorio. Para ello se sugiere que los docentes pongan a disposición de los estudiantes el documento en PDF con las instrucciones detalladas de la prueba, así como los audiovisuales. Ambos materiales contienen información para la autopreparación de los alumnos. En las guías de las prácticas se ponen a disposición tres casos de estudio. El docente puede escoger otros casos de estudios de acuerdo a la dinámica con la que se desarrolle el tema o la necesidad de abordar nuevos casos.

La evaluación de la práctica se desarrollará en tres momentos, al inicio, durante y al final (Fig. 19). Esto con la finalidad de comparar la formación de conocimiento mediante el proceso enseñanza-aprendizaje. En la guía de la práctica se pone a disposición del estudiantado las indicaciones para desarrollar la práctica y de las evaluaciones.

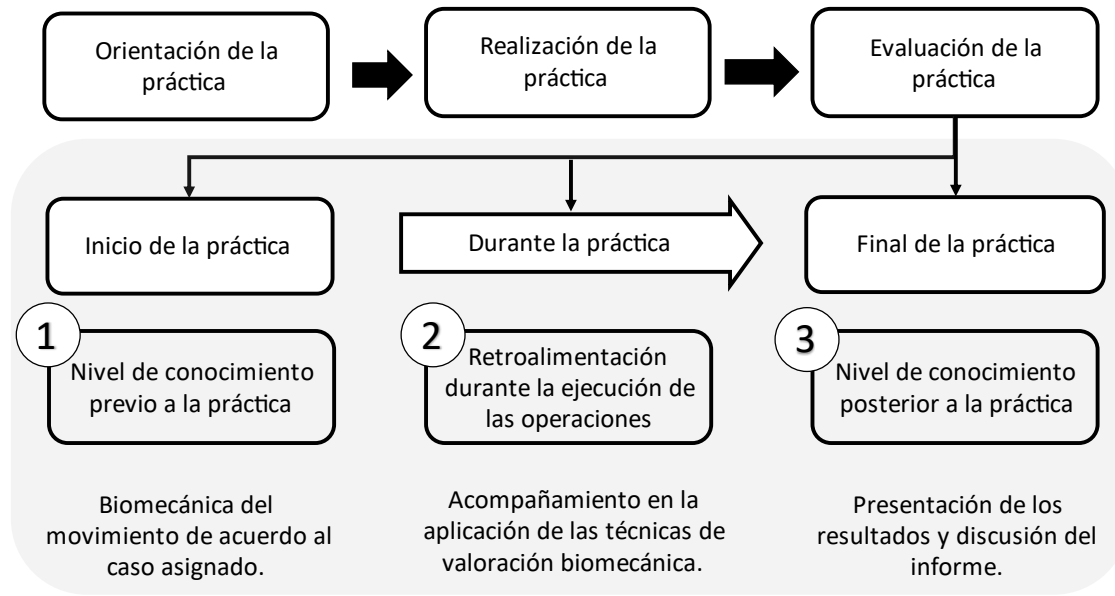


Fig. 19. Esquema de la evaluación del proceso de enseñanza-aprendizaje en tres momentos de la práctica.

Guía de la práctica.

Objetivo:

Identificar las alteraciones de la marcha provocadas por daños al sistema musculoesquelético mediante el empleo del sensor inercial.

Caso 1:

Mujer de 25 años, profesional sanitaria, que presenta fractura por estrés de III y IV metatarsos del pie derecho en fase de resolución, que se acompaña de edema óseo que se extiende hasta la diáfisis y en las partes blandas adyacentes. Pequeño foco de edema en la base del 4º metatarsiano. Tiene dolor progresivo en zona dorsal del antepié derecho, con sensación de bloqueo al despegue durante el ciclo de la marcha y en carga, mejorando en descarga. Continuó con sus actividades de la vida diaria y ocupaciones laborales, sin realizar descarga real de miembro afecto, completando un primer tratamiento de fisioterapia diario con 25 sesiones de magnetoterapia, ultrasonido local y terapia manual, sin mejoría completa.

Caso 2:

Paciente Femenino de 14 años con diagnóstico de trisomía 21, su padre refiere que se tropieza a menudo cuando camina por lo que sufre de caídas recurrentes. La paciente ha utilizado durante años plantillas ortopédicas para pie plano sin ningún tipo de seguimiento. Durante la exploración se observa hiperlaxitud generalizada con genu-valgo acentuado. En la valoración en bipedestación con apoyo de plantoscopia se observa colapso del arco longitudinal y valgo severo de retropié además presencia de Hallux Valgus.

Se refiere paciente para valoración de fase de apoyo durante la marcha.

Caso 3:

Paciente Masculino de 35 años, el cual se presenta a valoración de la marcha post traumatismo por arma de fuego que afecta nervio tibial. Paciente cooperador, reactivo y orientado, sigue instrucciones. Presencia de marcha independiente, claudicante con patrón de pie izquierdo pendular. Paciente de seguimiento con evolución de dos años tras lesión. Se observa mayor dificultad para la realización de la marcha con patrón de arrastre de pie, inversión y pronación.

Refiere paciente que utiliza órtesis tipo AFO para alineación de segmento, sin embargo, se ha vuelto muy molesta y a causado puntos de presión en zona anterior del pie por lo cual prefiere marchar sin el uso del apoyo.

Si usted fuera a evaluar la marcha, indique:

- ¿Qué condiciones debe cumplir el lugar o laboratorio para realizar un examen de marcha?
- ¿Cuáles son las fases en las que se divide la marcha para su estudio?
- ¿Cuál es el porcentaje de duración de las fases de la marcha?
- ¿Cuál es el comportamiento esperado de la aceleración del baricentro en cada fase de marcha para un participante sano y para el paciente del caso asignado?
- ¿Cómo y con qué equipamiento se podría realizar una prueba objetiva de valoración de la marcha?
- En la prueba de marcha con el sensor inercial, ¿Cuáles son las variables espacio temporales que se podrán analizar?

Instrumentos.

- Laptop con el sistema G-Studio.
- Plataforma sensorizada P-Walk.
- Dos cámaras de video y trípodes.

Técnica operatoria.

1. Preparación del área de trabajo.
2. Instalación de las cámaras de video en el plano frontal y sagital.
3. Conectar el equipamiento a la computadora.
4. Ofrecer indicaciones al paciente sobre la prueba a realizar.
5. Introducir los datos del paciente y seleccionar el protocolo de prueba.
6. Iniciar proceso de grabación de video con las cámaras
7. Iniciar el proceso de captura en el programa.
8. Informe de resultados.

Informe de la clase práctica de laboratorio.

Elabore un informe en el que incluirá la descripción de la patología enunciada en la introducción, así como las posibles causas. Incluya los gráficos del reporte de la prueba y realice un comentario sobre lo que está observando. A manera de conclusión, recomiende un dispositivo para apoyar la marcha de este paciente.

Estructura del reporte:

En la primera página deberá incluir los datos de la institución, la materia y semestre que cursa, su nombre y el del o los profesores. Además, deberá estructurar el trabajo con una Introducción, el Desarrollo, las Conclusiones y Referencias.

Prepare una presentación para la discusión de la práctica en el salón de clases.

Referencias.

- Abri, H., Aalaa, M., Sanjari, M., Amini, M. R., Mohajeri-Tehrani, M. R., & Larijani, B. (2019). Plantar pressure distribution in diverse stages of diabetic neuropathy. *Journal of Diabetes & Metabolic Disorders*, 18(1), 33-39. <https://doi.org/10.1007/s40200-019-00387-1>
- Aqueveque, P., Germany, E., Osorio, R., & Pastene, F. (2020). Gait Segmentation Method Using a Plantar Pressure Measurement System with Custom-Made Capacitive Sensors. *Sensors*, 20(3), 656. <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/3/656>
- Belvedere, C., Giacomozzi, C., Carrara, C., Lullini, G., Caravaggi, P., Berti, L., Marchesini, G., Baccolini, L., Durante, S., & Leardini, A. (2020). Correlations between weight-bearing 3D bone architecture and dynamic plantar pressure measurements in the diabetic foot. *Journal of Foot and Ankle Research*, 13(1), 64. <https://doi.org/10.1186/s13047-020-00431-x>
- Buldt, A. K., Forghany, S., Landorf, K. B., Murley, G. S., Levinger, P., & Menz, H. B. (2018). Centre of pressure characteristics in normal, planus and cavus feet. *Journal of Foot and Ankle Research*, 11(1), 3. <https://doi.org/10.1186/s13047-018-0245-6>
- Chang, H.-W., Chieh, H.-F., Lin, C.-J., Su, F.-C., & Tsai, M.-J. (2014). The Relationships between Foot Arch Volumes and Dynamic Plantar Pressure during Midstance of Walking in Preschool Children. *PLOS ONE*, 9(4), e94535. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0094535>
- Fullin, A., Caravaggi, P., Picerno, P., Mosca, M., Caravelli, S., De Luca, A., Lucariello, A., & De Blasiis, P. (2022). Variability of Postural Stability and Plantar Pressure Parameters in Healthy Subjects Evaluated by a Novel Pressure Plate. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(5), 2913. <https://www.mdpi.com/1660-4601/19/5/2913>
- Han, Y. C., Wong, K. I., & Murray, I. (2019). Gait Phase Detection for Normal and Abnormal Gaits Using IMU. *IEEE Sensors Journal*, 19(9), 3439-3448. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2019.2894143>
- Keklicek, H., Cetin, B., Salci, Y., Balkan, A. F., Altinkaynak, U., & Armutlu, K. (2018). Investigating the dynamic plantar pressure distribution and loading pattern in subjects with multiple sclerosis. *Multiple Sclerosis and Related Disorders*, 20, 186-191. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.msard.2018.01.023>
- Kuo, A. D., & Donelan, J. M. (2010). Dynamic Principles of Gait and Their Clinical Implications. *Physical Therapy*, 90(2), 157-174. <https://doi.org/10.2522/ptj.20090125>
- López-Moral, M., Molines-Barroso, R. J., García-Morales, E., García-Álvarez, Y., Álvaro-Afonso, F. J., & Lázaro-Martínez, J. L. (2021). Predictive values of foot plantar pressure assessment in patients with midfoot deformity secondary to Charcot neuroarthropathy. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 175, 108795. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.diabres.2021.108795>
- Mohammed, S., Samé, A., Oukhellou, L., Kong, K., Huo, W., & Amirat, Y. (2016). Recognition of gait cycle phases using wearable sensors. *Robotics and Autonomous Systems*, 75, 50-59. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.robot.2014.10.012>
- Murley, G. S., Menz, H. B., & Landorf, K. B. (2009). A protocol for classifying normal- and flat-arched foot posture for research studies using clinical and radiographic measurements. *Journal of Foot and Ankle Research*, 2(1), 22. <https://doi.org/10.1186/1757-1146-2-22>
- Ridao-Fernández, C., Pinero-Pinto, E., & Chamorro-Moriana, G. (2019). Observational Gait Assessment Scales in Patients with Walking Disorders: Systematic Review. *BioMed Research International*, 2019, 2085039. <https://doi.org/10.1155/2019/2085039>
- Sole, G., Pataky, T., Sole, C. C., Hale, L., & Milosavljevic, S. (2017). Age-related plantar centre of pressure trajectory changes during barefoot walking. *Gait & Posture*, 57, 188-192. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2017.06.016>
- Tang, X., Wang, X., Ji, X., Wang, Y., Chen, W., Wei, Y., & Zhou, Y. (2022). Study on foot-type classification for young adults based on static and dynamic plantar pressure distribution. *Advances in*

Mechanical Engineering,
<https://doi.org/10.1177/16878132221097904>

14(5),

16878132221097904.