



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES
UNIDAD JURIQUELLA

FACULTAD DE INGENIERÍA

Prueba de valoración biomecánica de **postura** **estática 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 postura estática 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 9.

ISBN Volumen: 978-607-30-9319-4.

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
Control postural y estabilidad.....	2
Tecnología disponible para el estudio del control postural.....	5
Plataforma baropodométrica y sistema P-Walk.	5
Prueba estática con la plataforma baropodométrica.	6
Etapas de preparación.....	7
1. Preparación del área de trabajo.	7
2. Instalación de las cámaras de video en el plano frontal y sagital.....	7
3. Conectar el equipamiento a la computadora.	7
4. Ofrecer indicaciones al paciente sobre la prueba.....	8
Etapas de captura.	8
5. Iniciar proceso de grabación de video con las cámaras.	8
6. Iniciar el proceso de captura en el programa.....	8
Etapas de creación del reporte.....	12
7. Informe de resultados.	12
Indicaciones para la aplicación del protocolo en las clases prácticas.	17
Referencias.	21

Introducción.

Varios sistemas sensoriales del cuerpo contribuyen al control postural. Los receptores de la vista, el sistema vestibular, así como el sistema propioceptivo de las articulaciones brindan una noción sobre cuál es el lugar que ocupa el cuerpo en el espacio (Mañano et al., 2018). Por su parte el sistema neuromuscular sintetiza esta información para brindar las señales que otorgarán la corrección de la posición que se necesita para mantener el cuerpo erguido, con el peso distribuido de manera uniforme y la línea del centro de masa (CoM en inglés, center of mass) dentro de la base de sustentación (Lyu et al., 2021).

Las asimetrías en las estructuras corporales afectan el control postural, tales como discrepancias en las longitudes de las extremidades inferiores, rodillas en hiperextensión, en genu valgus o varo, pie equino varo, pie plano, cavo, entre otras, también contribuyen a estas asimetrías. Las asimetrías causan que el peso se distribuya de manera desigual entre las extremidades, provocando un incremento en el balanceo del CoM y del riesgo de pérdida de estabilidad (Lobo et al., 2021). Las personas en bipedestación requieren la coordinación de estrategias motoras y sensoriales para mantener el equilibrio y la estabilidad, por lo que realizan correcciones de la postura continuamente.

La prueba estática en la plataforma baropodométrica permite realizar un análisis rápido, preciso y sencillo de la estabilidad del paciente. En esta prueba se solicita al paciente que permanezca de pie en posición anatómica durante 20 s. Cabe mencionar que la duración de la prueba puede modificarse en dependencia de la alteración del paciente. Entre los resultados que se pueden obtener se encuentran el porcentaje de distribución del peso entre los miembros inferiores, la tipología del pie y los parámetros estabilométricos. Los datos resultantes del ensayo garantizan un análisis objetivo del control postural 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 postura estática 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 postura estática con baropodometría” antes de realizar la prueba para su preparación independiente. El profesor debe proporcionar la dirección de internet para su consulta.

Control postural y estabilidad.

El control postural estático es un componente importante para mantener el equilibrio de las personas, además de que constituye la base para realizar movimientos y tareas motoras más complejas (Rajendran et al., 2012). Existe una relación entre equilibrio, balance y estabilidad. El equilibrio, conocido como la disposición relativa que adopta el cuerpo humano en cualquier momento, es resultado de una condición en la cual la sumatoria de todas las fuerzas que actúan sobre el cuerpo es cero y por consecuencia la aceleración es nula. El balance es la capacidad que tiene la persona de mantener el equilibrio. Por último, la estabilidad que es la capacidad de mantener el equilibrio estable.

El efecto de la gravedad es particularmente desestabilizante en bipedestación, debido a que el CoM (punto que cumple la condición de que toda la masa del cuerpo se encuentra distribuida de manera uniforme alrededor de él) se encuentra elevado sobre la base de sustentación, de manera más específica a la altura de la vértebra S2 en bipedestación con los brazos a ambos lados del cuerpo (Devetak et al., 2019; Lugade et al., 2011; Mariana Haro, 2014). En términos de fuerzas, el CoM se puede considerar como centro de gravedad (CG) o baricentro, donde el peso de todos los segmentos es distribuido de manera uniforme alrededor de él, o que la sumatoria de los momentos que realizan los pesos de cada segmento es cero (Fig. 1) (Egoian & Moistrapishvili, 2013).

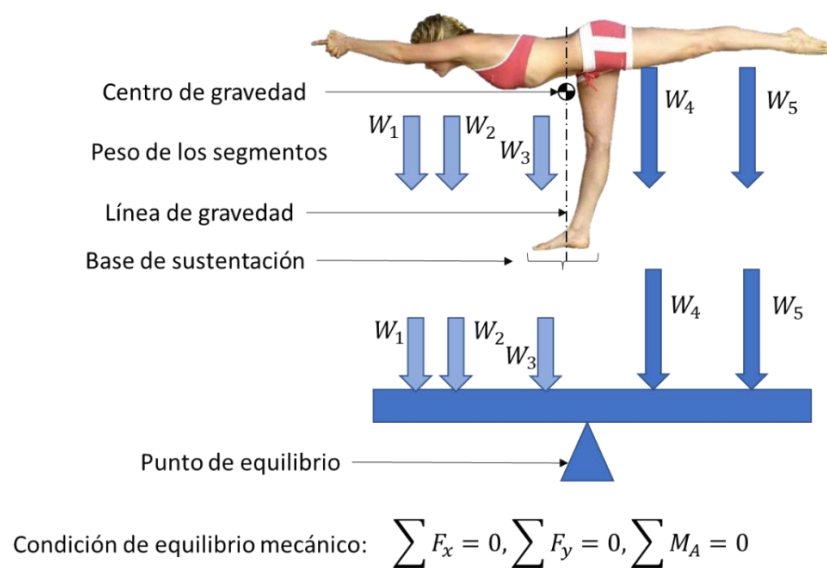


Fig. 1. Centro de gravedad ubicado por encima de la base de sustentación.

Cualquier movimiento relativo entre los segmentos del cuerpo modifican el CG. Esto se debe a que con el cambio de posición de los segmentos corporales, se modifica la distribución de los CoM de cada segmento, con un desplazamiento de la posición del baricentro que puede propiciar el desequilibrio postural si el CoM se desplaza fuera de la base de sustentación (Duclos et al., 2017). Por tanto, las personas requieren la coordinación de estrategias motoras y sensoriales para mantener su CG sobre la base de sustentación, logrando el equilibrio y la estabilidad. Para oponerse al efecto desestabilizante de la gravedad, las personas en bipedestación realizan correcciones de la postura continuamente. Los músculos anti gravitatorios ajustan de manera flexible los cambios en la base de sustentación, la alineación de las líneas

de carga y los cambios del entorno (Horak, 2009). En este sentido varios trabajos que abordan el control postural analizan la actividad muscular en los músculos de las piernas, tronco y cervical.

En dependencia de la ubicación del CoM aparecerá una reacción del suelo para contrarrestar el efecto del peso. Dicha reacción resultante será siempre igual a menos que la persona realice un movimiento dinámico en dirección perpendicular al suelo, como saltar o caerse. En este sentido, la posición más ventajosa desde el punto de vista la activación muscular es aquella que la reacción del suelo pasa por la articulación, para que el momento muscular sea nulo. Cuando la reacción del suelo está posterior al tobillo, los músculos flexores dorsales del pie, extensores de rodilla y flexores de tronco corregirán la postura. Sin embargo, por lo general, la línea de gravedad pasa anterior al tobillo, provocando la activación de los músculos flexores plantares, los flexores de rodilla y los erectores de columna para contrarrestar este efecto (Fig. 2).

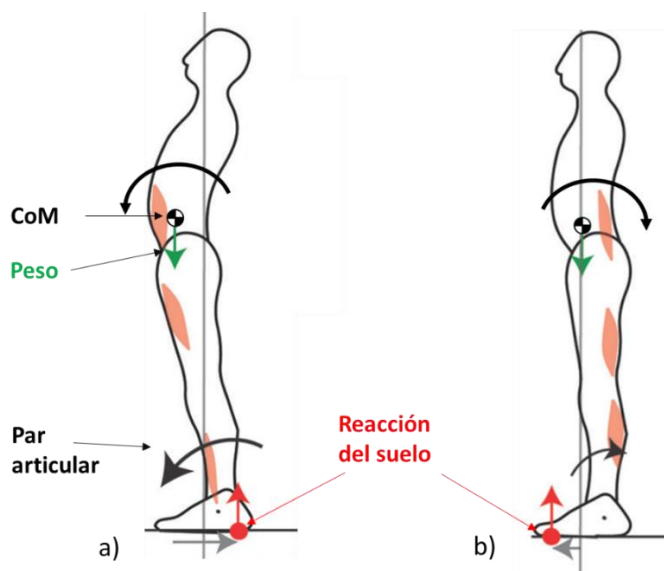


Fig. 2. Músculos anti gravitatorios encargados de mantener el control postural en bipedestación estática, activación de los músculos cuando la reacción del suelo está posterior al tobillo, b) cuando a reacción del suelo está anterior al tobillo. Fuente: Adaptación de (Le Mouel & Brette, 2017). Licencia: CC BY 4.0.

Es conocido que en los movimientos sobre el plano sagital se adoptan tres estrategias para recuperar el balance durante la bipedestación estática (Fig. 3). Para pequeñas perturbaciones el ser humano realiza la rotación en los tobillos mientras mantiene rectas las rodillas, las caderas y el cuello (oscilación postural). Si esta estrategia no es suficiente, entonces tiende a rotar las caderas para regresar la línea de gravedad a la base de sustentación. En las situaciones en que no es suficiente ninguno de los ajustes anteriores, entonces se incrementa la base de sustentación dando un paso al frente para volver a contener la línea de gravedad dentro de ella (Shen et al., 2020).

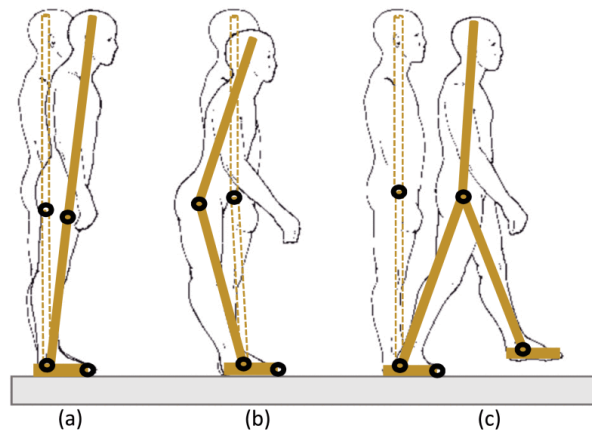


Fig. 3. Estrategias para recuperar el balance en dirección anteroposterior: a) estrategia de tobillo, b) estrategia de cadera, c) estrategia de paso al frente. Fuente: (Shen et al., 2020) Licencia: CC BY 4.0.

Hay dos teorías sobre el control postural en bipedestación estática. La primera teoría, o tradicional, es que el propósito del control postural es inmovilizar el CoM a pesar del movimiento y las perturbaciones externas. Si el CoM se desplaza de su posición de equilibrio, entonces el desplazamiento debe ser contrarrestado por ajustes posturales, para devolver el CoM a su posición de equilibrio, de lo contrario, la persona inevitablemente caerá. La segunda teoría afirma que la equivalencia entre equilibrio e inmovilización no es válida para el control postural humano, y que estas respuestas posturales deben entenderse en términos dinámicos del movimiento como impulso. La posición del CoM no se inmoviliza en una única posición de equilibrio, sino que se ajusta para utilizar el momento provocado por el propio peso para contrarrestar las fuerzas externas a fin de mantener el equilibrio o proporcionar impulso para el movimiento voluntario (Le Mouel & Brette, 2017). De acuerdo con estos autores, la razón por la que el CoM está anterior al tobillo es para favorecer el inicio de la marcha.

Las asimetrías en las estructuras corporales también afectan el control postural. Quizá la más evidente es la diferencia en la longitud de las extremidades inferiores. Sin embargo, la desalineación de las articulaciones como rodilla en hiperextensión, en genu valgus o varo, pie equino varo, pie plano, cavo, en pronación o supinación, entre otras, también contribuyen a estas asimetrías. Estas asimetrías también pueden afectar la alineación de la columna, provocando escoliosis. Otras causas de asimetrías posturales son los accidentes cerebrovasculares, parálisis cerebral, Parkinson, desordenes temporomandibulares (Gimenez et al., 2018). Estas asimetrías causan que el peso se distribuya de manera desigual entre las extremidades, provocando un incremento en el desplazamiento del CoM y del riesgo de pérdida de estabilidad (Lobo et al., 2021).

Tecnología disponible para el estudio del control postural.

Las compensaciones que el individuo emplea en sus movimientos pueden encubrir alguna comorbilidad o patología preexistente, además de ser difíciles de diferenciar de las alteraciones primarias a simple vista. Alguna alteración, restricción del rango de movimiento de los miembros superiores o dolores musculares puede alterar la postura normal, desplazando el centro de masa y alterando la simetría de la activación muscular (Jastrzębski et al., 2018).

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 bajas 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. 4).



Fig. 4. Plataforma baropodométrica del sistema P-Walk de BTS Bioengineering.

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 estática con la plataforma baropodométrica.

La prueba estática en la plataforma baropodométrica permite realizar un análisis rápido, preciso y sencillo de la estabilidad del paciente. El paciente debe permanecer en bipedestación ortostática durante un breve intervalo de tiempo que varía en dependencia de las condiciones del paciente y el objetivo del estudio. Los datos resultantes del ensayo garantizan un análisis objetivo del control postural 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 mide 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). Durante el control postural, ya se ha mencionado que el baricentro no permanece inmóvil, por lo que su proyección sobre la plataforma baropodométrica describirá una trayectoria que se circunscribe en una elipse cuya área se define como área de balanceo del centro de presión (CoPsa) y cuantifica el balanceo del cuerpo.

También se puede determinar la distribución de presión en las diferentes regiones plantares para uno o ambos pies y un solo pie. Con este dato se determina la ubicación del CoP de cada pie y del baricentro, la relación entre el área de contacto del mediopié y el área de la huella plantar que se utiliza para clasificar una tipología de pie (arqueado normal, cavo, o plano). Además, se pueden determinar otros parámetros,

como la distancia recorrida por el CoP durante la bipedestación estática y el CoPsa, y la velocidad del centro de presión (Fullin et al., 2022).

Este protocolo ofrece los siguientes datos:

- Proporción del peso en cada extremidad.
- Distribución de la presión plantar por regiones del pie y localización de los puntos de mayor presión.
- Ubicación del centro de presión del baricentro y de ambas extremidades.
- Alineación de los centros de presión de las extremidades y el baricentro.
- Índice del arco plantar y tipología del pie.
- Desplazamiento del baricentro en dirección anteroposterior y medial lateral.
- Índice CoPsa: Área de la elipse: área de balanceo del centro de presión del baricentro y de las extremidades.
- Índice LSF (distancia recorrida/CoPsa).
- Diagrama tridimensional de la presión plantar.

Para realizar la prueba es necesario realizar los siguientes pasos:

Etapa de preparación.

1. Preparación del área de trabajo.

Durante la prueba, el paciente debe permanecer en bipedestación ortostática, por lo que no se requiere de grandes espacios, solo el suficiente para acomodar la plataforma y sus conexiones.

2. Instalación de las cámaras de video en el plano frontal y sagital.

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 correcciones de postura del paciente. 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. 5a) y el extremo con conector USB A a la computadora (Fig. 5b). La luz del indicador LED verde se prenderá, indicando que la plataforma está lista para usarse.



Fig. 5. Conexión de la plataforma a la corriente y al puesto USB de la computadora.

4. Ofrecer indicaciones al paciente sobre la prueba.

Las indicaciones serán las siguientes:

La prueba biomecánica consiste en medir sus habilidades para mantener el control postural en un intervalo de tiempo de 20 segundos, así como determinar la distribución de la presión en la planta del pie con equipamiento destinado para este fin, como es la plataforma baropodométrica. Usted se colocará descalzo en una posición erguida sobre la plataforma. Con los ojos abiertos y los brazos a ambos lados del cuerpo, usted permanecerá en posición ortostática evitando cualquier movimiento. Daremos un intervalo de tiempo para que se relaje y adopte la posición que usted acostumbra a adoptar y luego grabaremos los datos. Al completar el tiempo, damos por concluida la prueba.

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 “Gestión paciente” de la Barra de herramientas (Fig. 6).

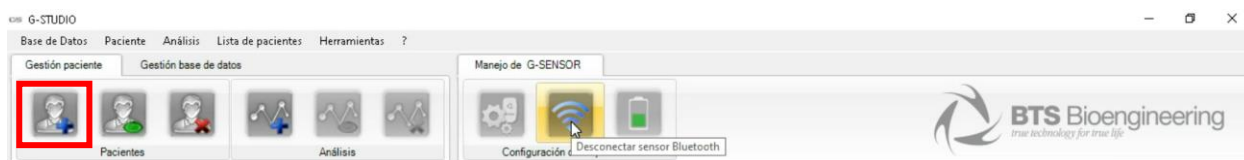


Fig. 6. Barra de herramientas del G-Studio. Gestión paciente.

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. 7). En la sección de patologías, se pueden seleccionar algunas como Amputación de Miembro inferior, Osteoartritis de cadera, Parkinson, Adultos mayores, Accidentes cardiovasculares y Desórdenes 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.

Fig. 7. Ventana para capturar los datos del paciente.

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

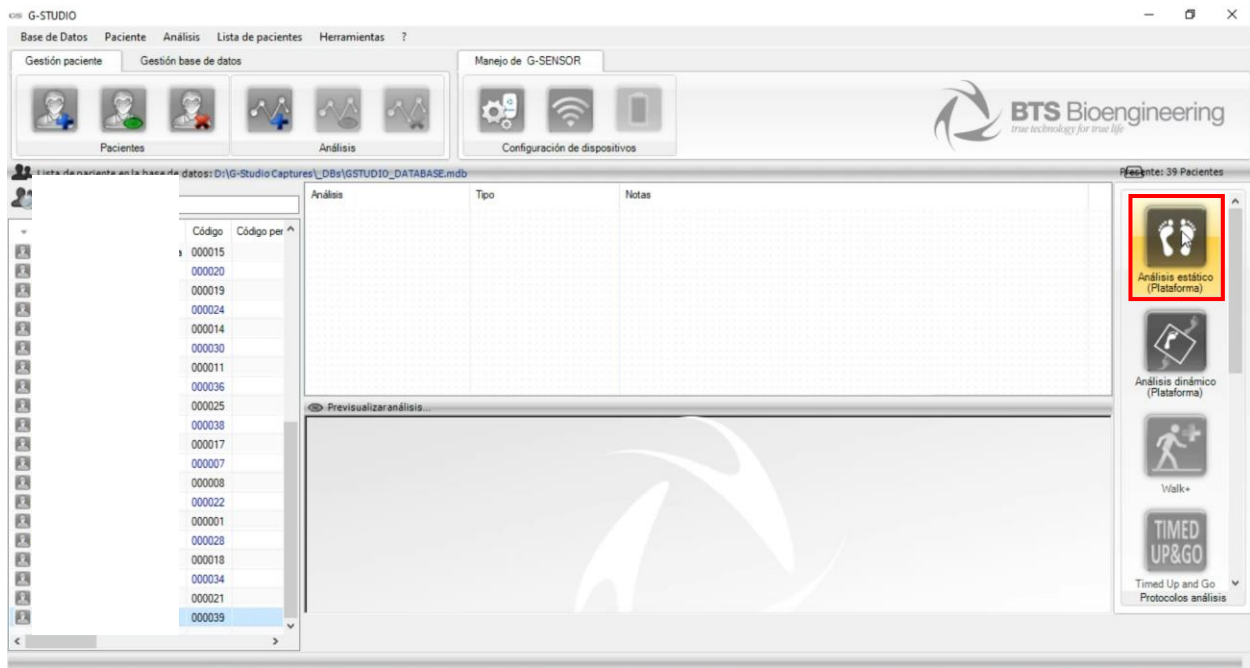


Fig. 8. Selección del protocolo Análisis estático para el análisis del control postural.

Aparecerá la ventana dedicada a esta prueba que indica que el paciente se puede subir en la plataforma. Se da la orden al paciente de ponerse de pararse sobre la plataforma (Fig. 9).



Fig. 9. Ventana para indicar que está listo el protocolo para que el paciente se pare en la plataforma.

Cuando la plataforma detecta que el paciente ya se ha parado sobre ella, entonces se activa la opción de grabar la prueba (Fig. 10). Una vez transcurrido el tiempo en que el paciente se ha relajado, se define el tiempo de duración de la captura en la esquina inferior derecha y se selecciona guardar en el botón verde.

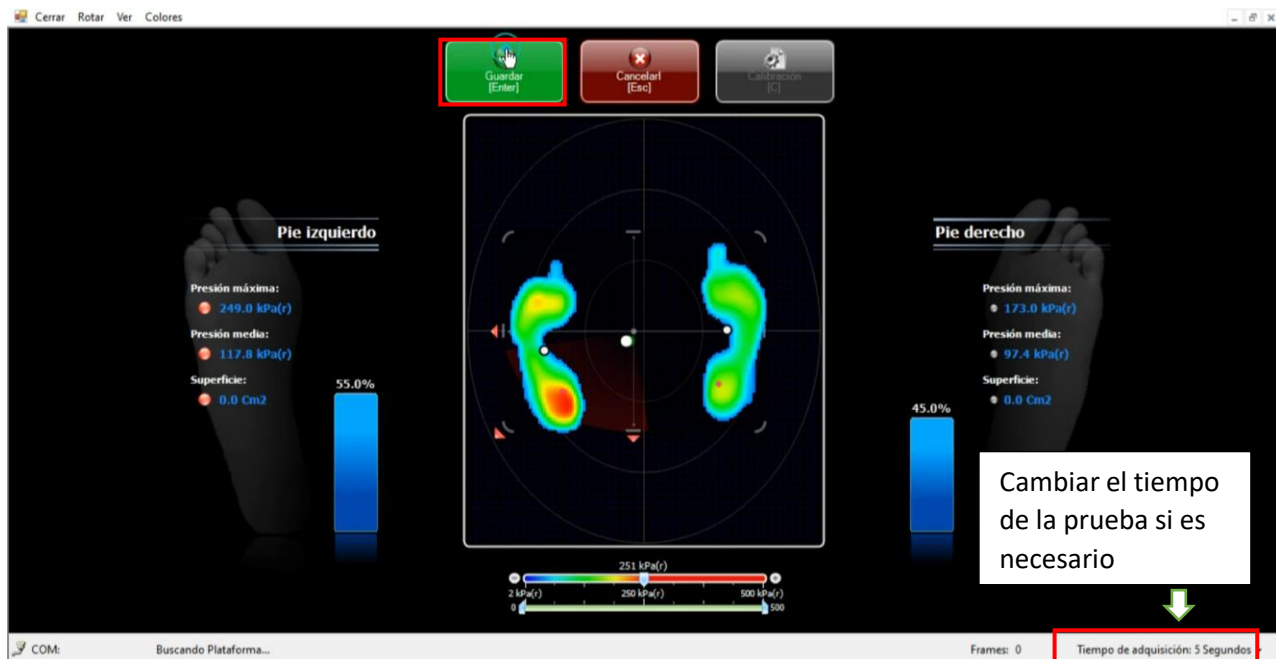


Fig. 10. Ventana de capturar la prueba de análisis estático según el tiempo definido para la prueba.

Una vez seleccionada la opción guardar, aparecerá la ventana donde se observa una barra que indica el progreso de grabación de la prueba, que tendrá relación con el tiempo seleccionado (Fig. 11).

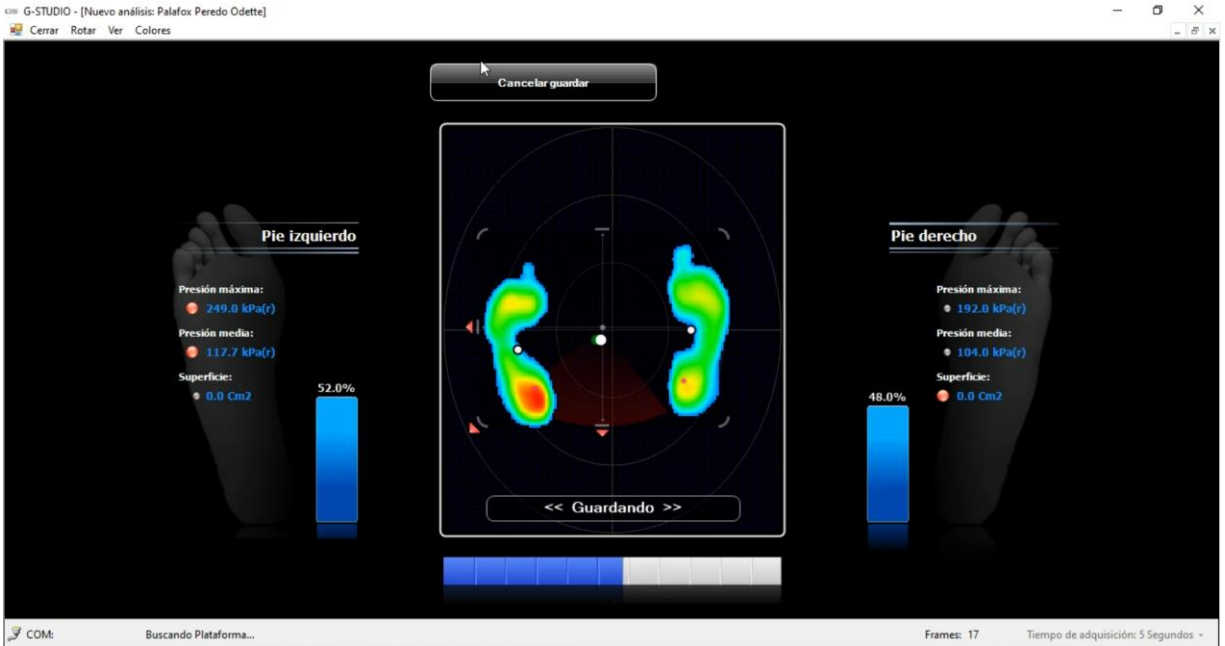


Fig. 11. Ventana del progreso de grabación la prueba de análisis estático según el tiempo definido para la prueba.

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. 12). 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.

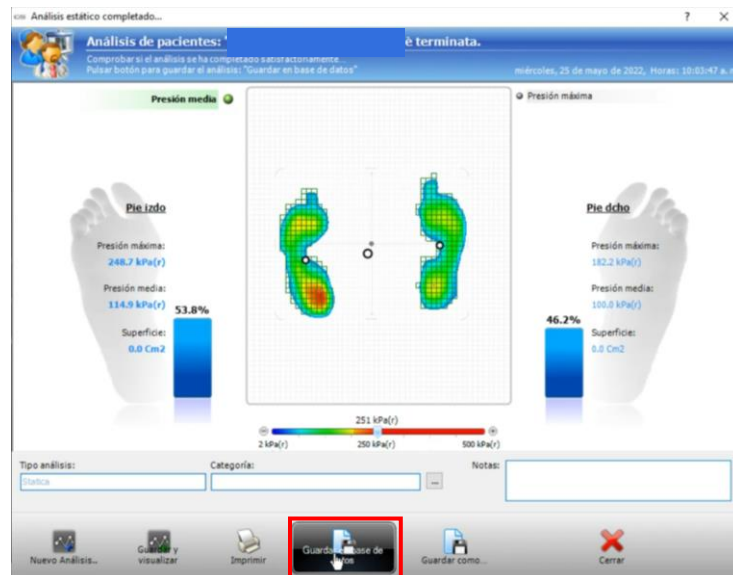


Fig. 12. Ventana de grabación la prueba de análisis estático según el tiempo definido para la prueba.

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. 13. Si la opción que Ud. Prefirió fue Guardar y Visualizar, este paso no es necesario, el programa pasará automáticamente a las ventanas de resultados.

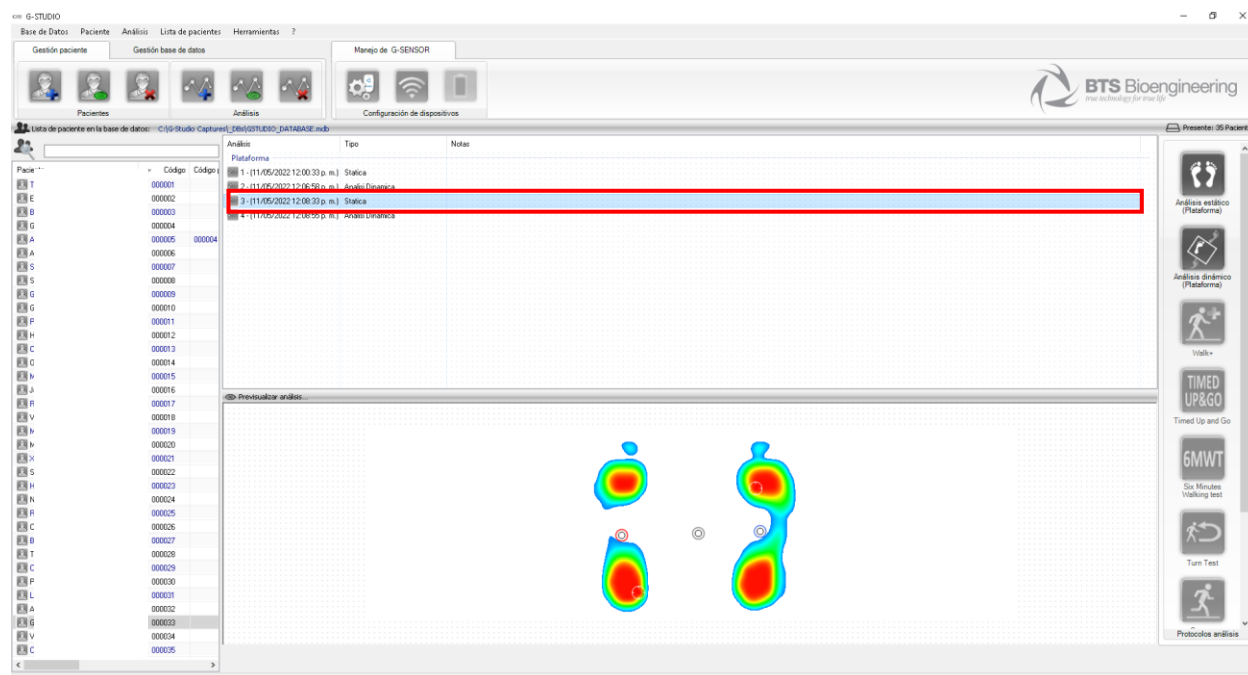


Fig. 13. Ventana para la selección de los resultados del análisis estático desde la base de datos del programa.

Interpretación de los resultados.

Gráfico de datos generales.

Los resultados de la prueba se muestran en varios gráficos, para visualizarlos se selecciona el ícono de la barra ubicada en la parte superior que corresponde a cada gráfico. El primer gráfico muestra los datos generales de la presión máxima y media (Fig. 14). Para interpretar los resultados se seccionó intencionalmente el gráfico en la parte central y luego en los dos bordes, las líneas discontinuas fueron añadidas, así como las anotaciones y flechas.

En la parte central se muestra la huella plantar, con un gradiente de colores cálidos a fríos que indican la presión plantar. En las zonas rojas aparecen las presiones máximas y en la azul las mínimas. En las zonas rojas se señalan con círculos estilo miras telescópicas los puntos de máxima presión. En la parte inferior del gráfico se encuentra una escala de colores para distinguir la presión de acuerdo con la región del pie. A la mitad de la altura de la huella plantar se pueden identificar los centros de presión (CoP) de ambas extremidades y del baricentro del cuerpo. El centro de presión (CoP) se calcula como el centroide del área que mide el número total de sensores activos (Buldt et al., 2018). A ambos lados de las huellas plantares

se observan dos gráficas de barra que representan la proporción del peso que carga cada extremidad. También se registran para cada pie la magnitud de la presión máxima que se identificó en las huellas plantares, la presión media y el área de la superficie de la huella plantar.

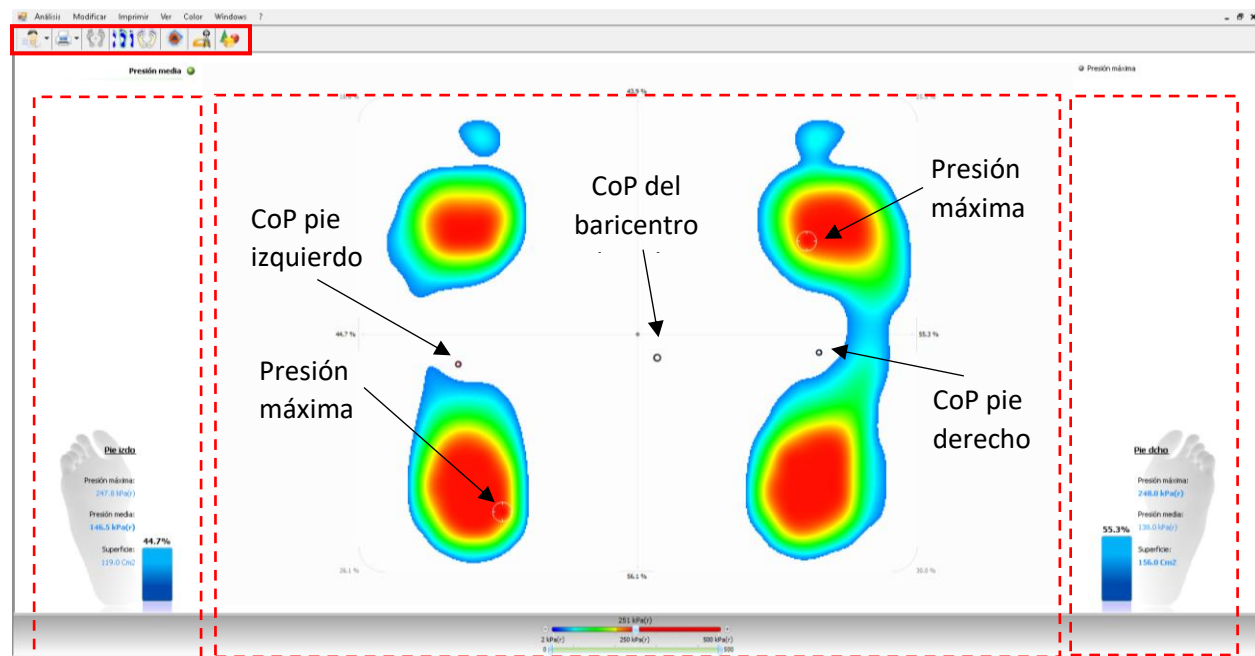


Fig. 14. Gráfico de Datos generales de la prueba. En la parte central representa la huella plantar, la ubicación de la presión máxima, la distribución de la presión plantar y la ubicación de los centros de presión. A ambos lados aparecen los datos para cada extremidad.

Como se puede apreciar en la Fig. 14, la huella del pie izquierdo no se apoya en el medio pie, el área de la huella plantar es de 119 cm². La presión máxima es de 247.8 kPa y se encuentra en la mitad medial del retropié y soporta el 44.7% del peso. El CoP de la extremidad se encuentra aproximadamente en la mitad del pie, pasando por delante de la articulación del tobillo. Por su parte, en el pie derecho la presión máxima fue 248 kPa, superior a la del pie izquierdo, aun cuando el área de la huella plantar es mayor también, con 156 cm². La presión máxima se encuentra aproximadamente entre el primer y segundo metatarsiano.

Gráfico de Tipología del pie.

Para la interpretación del gráfico, se seccionó en una parte central, dos extremos laterales y la parte inferior Fig. 15. En la parte central de la gráfica aparece la huella plantar analizada en la sección anterior, pero ahora se divide en las tres secciones, antepié (A), mediopie (B) y retropié (C). Se toma como referencia el eje axial del pie, que parte desde la mitad del talón hasta la cabeza del segundo metatarsiano. Esta longitud se divide en tres partes. El programa calcula el área de estas tres superficies de ambos pies y muestra el porcentaje que representan cada área respecto al área total del pie, en un diagrama de pastel. Los gráficos de pastel se muestran en los laterales del gráfico. Otro cálculo que realiza el programa a partir de las áreas de las partes del pie es el índice del arco plantar. Dicho índice 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). Por último, en la parte inferior del gráfico se aprecia la tipología del pie de según el índice del arco del pie.

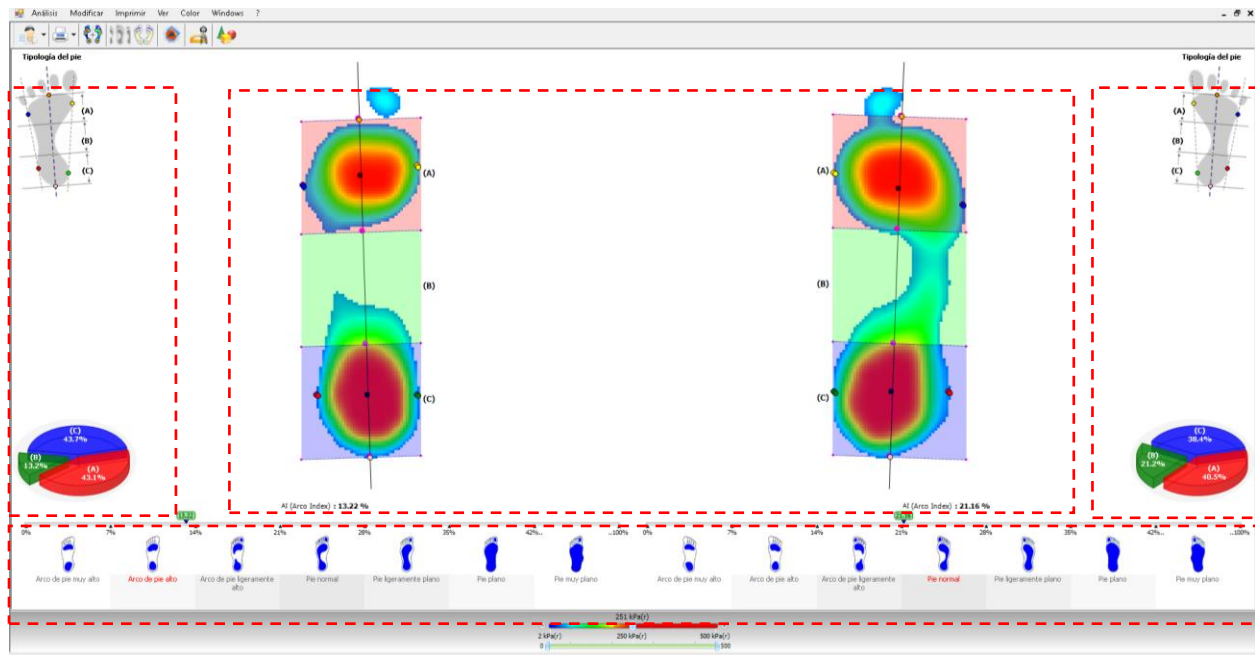


Fig. 15. Datos generales de la prueba, presión máxima, media, distribución de la presión plantar, ubicación de los centros de presión y proporción del peso por extremidades.

Gráfico de áreas del pie.

En este gráfico se muestra la huella plantar dividida en las áreas del pie. Se identifican las huellas de los dedos, de las cabezas de los metatarsianos, el medio pie y el talón medio y lateral. Para cada una de estas áreas se define la superficie de dicha área, el porcentaje que representa del área total del mismo pie, la fuerza 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 (Fig. 16).

Se puede comprobar que, en el pie izquierdo, las cabezas de los metatarsianos M2 y M3 y en el talón medio MH y lateral LH se alcanza la misma presión máxima de 248 kPa. Esta magnitud de presión se encuentra redondeada, por lo que se interpreta que estas cuatro áreas tienen una presión que puede estar en el rango de 247.5 kPa a 248.4 kPa. Sin embargo, al tomar como referencia la magnitud de la presión media de cada área, se observa que el talón medial es el que tiene mayor presión, con 179 kPa. En el reporte de la Fig. 14 se obtuvo que, en el pie izquierdo, la presión máxima estaba ubicada en el talón medio, que coincide con el mostrado en esta figura con un análisis más detallado por áreas del pie.

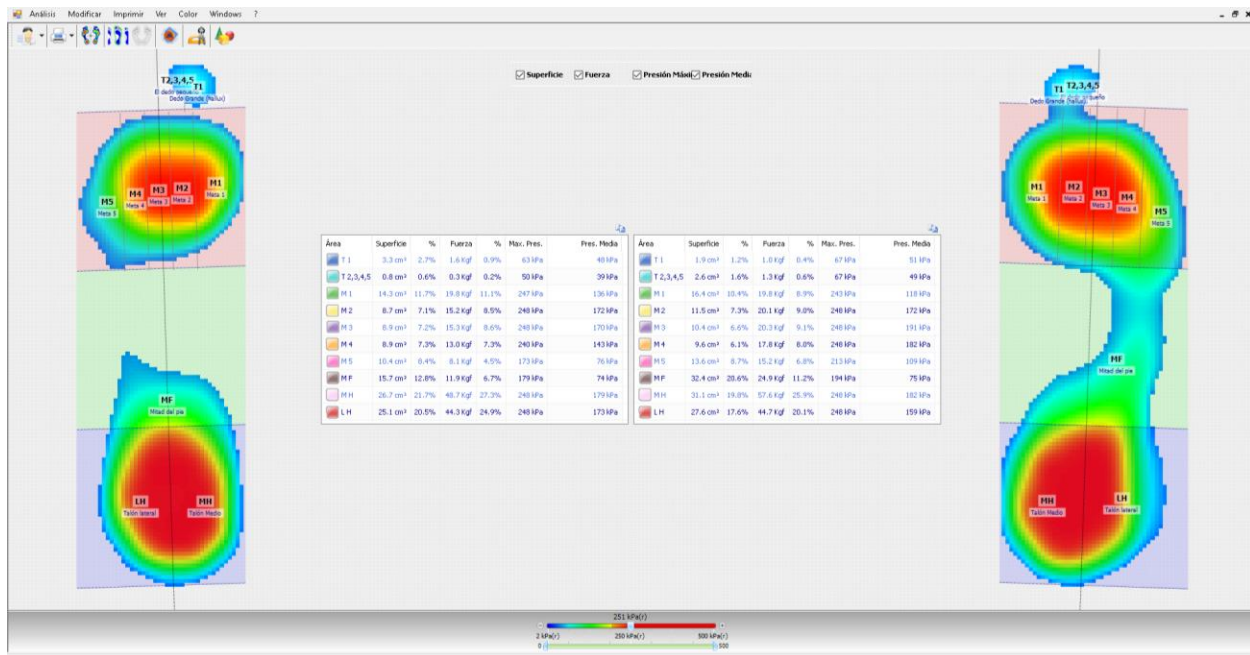
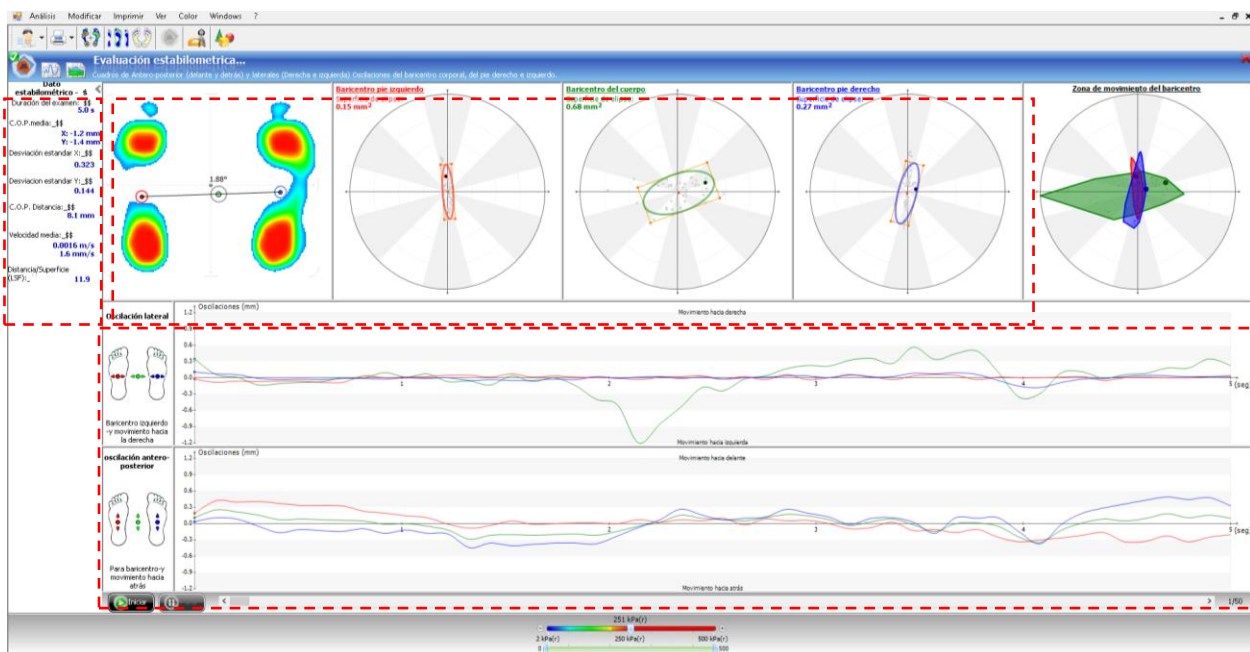


Gráfico de Evaluación estabilométrica.



El gráfico de la Fig. 17 se destina a la evaluación de la estabilometría del paciente. En la parte superior del gráfico, aparecen representados los centros de presión (CoP) del baricentro del cuerpo y de ambas extremidades. En este cuadro se muestra el mismo gráfico que se mostró en la parte central de la Fig. 14,

pero se incorpora una línea que une los CoP y que define el ángulo que forma dicha línea con la horizontal. En este caso es 1.88° en sentido antihorario. Esta línea es útil para identificar que el paciente tiene una postura rotada, sus dos extremidades no están alineadas.

Se ha mencionado que durante el control postural los CoP no permanecen inmóviles, por lo que sus proyecciones sobre la plataforma baropodométrica describirán trayectorias que se circunscriben en elipses, cuyas áreas se definen como áreas de balanceo de los centros de presión (CoPsa) y cuantifica el balanceo del cuerpo. En la parte superior, al lado del recuadro con los centros de presión se muestran las áreas de las elipses de los CoP.

En la parte inferior de la Fig. 17 se muestran los desplazamientos de los CoP en dirección anteroposterior y lateral, la gráfica de color verde representa el desplazamiento del baricentro, la roja del pie izquierdo y la azul del pie derecho. Con todas estas variables, entonces se determina el índice LSF (función longitud superficie) a partir de la distancia recorrida/CoPsa y la velocidad media del baricentro del cuerpo.

Gráfico tridimensional.

Por último, el programa facilita en la Fig. 18 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.

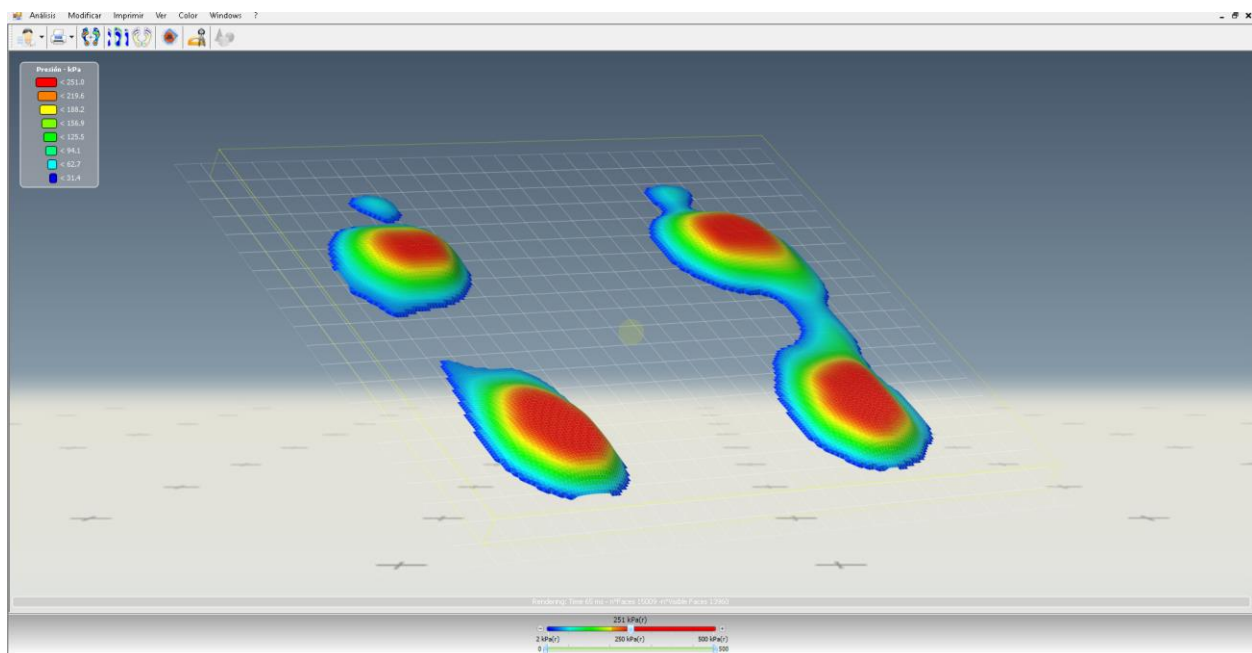


Fig. 18. Datos generales de la prueba, presión máxima, media, distribución de la presión plantar, ubicación de los centros de presión y proporción del peso por extremidades.

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. 19).



Actividad: Diseñar una intervención ortoprotésica de acuerdo a las necesidades del paciente.



Acción: Identificar las alteraciones de los movimientos ocasionados por daños en el sistema musculoesquelético de los pacientes.



Habilidad (Didáctica): Aplicar las técnicas de valoración biomecánica para identificar las alteraciones de los movimientos de los pacientes.



Operaciones:

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. Colocar sensores en la anatomía del paciente.
7. Iniciar proceso de grabación de video con las cámaras.
8. Iniciar el proceso de captura en el programa.
9. Informe de resultados.

Fig. 19. Relación entre la actividad, acción, habilidades y operaciones requeridas para desarrollar 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. 20). 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.

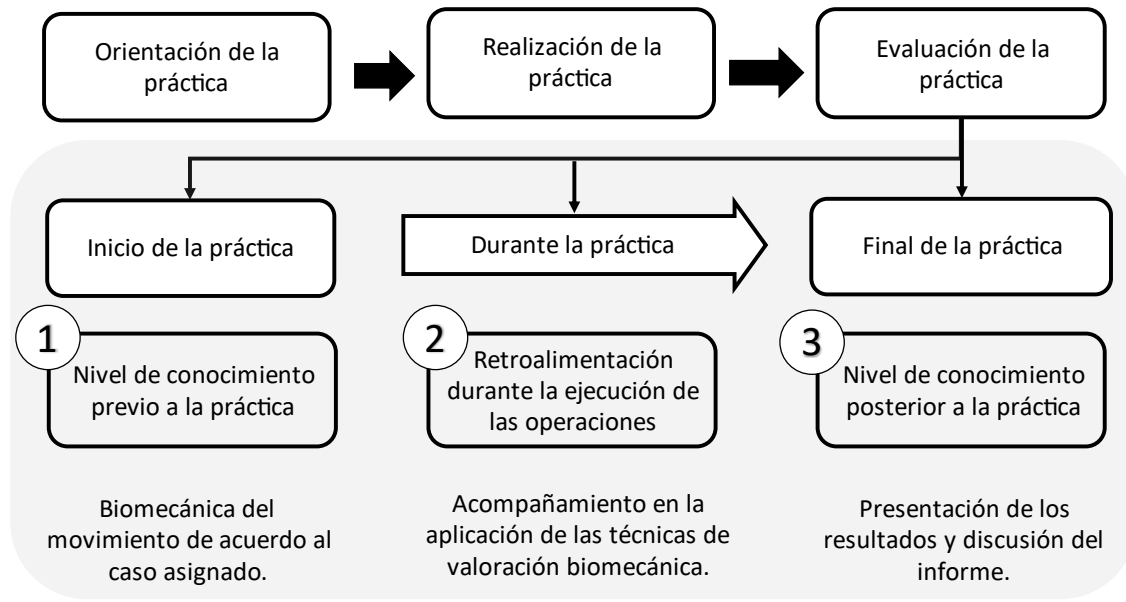


Fig. 20. Esquema de la evaluación del proceso de enseñanza-aprendizaje en tres momentos de la práctica.

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:

Glioblastoma Cerebeloso.

Paciente Femenino de 30 años que es referido por el servicio de neurología al laboratorio de biomecánica con alteración del equilibrio postural, derivado de la presencia de un tumor de tipo glioblastoma en fase 2. Se trata de paciente, despierta, reactiva y consciente, con adecuada orientación. A la exploración física se observa inestabilidad estática, Romberg Positivo y patrón de marcha atáxica. Paciente que se encuentra actualmente en seguimiento por Neuro oncología con esquema MIC de Quimioterapia.

Caso 2:

Acufenos.

Paciente masculino de 48 años que refiere un “pitido” en el oído bilateral, tinnitus, que aparece tras sufrir un fuerte episodio de estrés. Después de pruebas médicas que descartan un problema oftalmológico, el médico le manda un tratamiento ansiolítico muy potente pero su pitido se mantiene en intensidad y frecuencia.

Antecedentes:

AHF: Padre finado con antecedentes de DM2, desconoce si llevaba un tratamiento estandarizado. Madre finada por causa desconocida. Tres hijos sin antecedentes de importancia.

APnP: Habita en casa propia con todos los servicios de urbanización, adecuada ventilación, actualmente vive junto a su conyugue y dos de sus hijos, labora en un taller mecánico automotriz 5 días a la semana, refiere una alimentación balanceada realizando 3 -4 comidas al día. Refiere 5-7 horas de sueño al día.

APP: Niega enfermedades crónico-degenerativas, refiere haber sufrido una fractura de antebrazo secundaria a un traumatismo de alta intensidad en su trabajo hace 2 años con recuperación adecuada. Niega alergias.

A la exploración presenta los siguientes datos de importancia: Hipertonía generalizada de la cadena anterior del tronco y cuello (cordón central), con antepulsión de la cabeza. Hipertonía de trapecios superiores. Hipertonía de musculatura suboccipital, hipertonía pectoral mayor y menor bilateral. Dificultad al realizar los arcos de movilidad de la columna cervical y lumbar. Presenta asimetrías en el movimiento de los huesos temporales en el cráneo. La coordinación entre ambos conductos auditivos es mala. Imbricación de cóndilos occipitales con primera vértebra cervical. Ritmo cráneo-sacro errático y con escasa amplitud.

Se trata de paciente masculino de 9 años con Dx de PCI, el cual es enviado por el servicio de Neurología para evaluar el balance post risotomía bilateral y tratamiento fisioterapéutico (10 sesiones).

Caso 3:

Traumatismo Craneoencefálico

Paciente Masculino de 12 años con diagnóstico de TCE G2 Post reparación quirúrgica, se solicita valoración del balance postural en bipedestación tras observarse en valoración clínica que presenta dificultad para mantenerse sin movimiento al estar de pie.

Paciente que no cuenta con antecedentes de importancia para el padecimiento, vive con sus padres, casa propia de dos pisos, cuenta con todos los servicios. Actualmente asiste a sexto año de primaria con un rendimiento adecuado.

Padecimiento que inicia tras haber caído del primer piso de su casa, perdiendo la conciencia. Refiere la madre haber llamado a servicios de emergencia con un tiempo estimado de 15 min en su atención. Al llegar a nosocomio, se toma imagen con lo que se observa pérdida de la continuidad en hueso occipital requiriendo atención quirúrgica inmediata.

El paciente refiere tropezar continuamente desde su padecimiento y que ha notado que cuando se queda inmóvil de pie, no logra controlar su cuerpo lo cual le provoca estar balanceándose de un lado a otro y en ocasiones le es necesario separar las piernas para mantener el control.

Si usted fuera a evaluar la postura estática, indique:

- ¿Qué condiciones debe cumplir el lugar o laboratorio para realizar un examen de marcha?
- ¿Cuáles son las fases 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 de 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.

- 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>
- Devetak, G. F., Bohrer, R. C. D., Rodacki, A. L. F., & Manfra, E. F. (2019). Center of mass in analysis of dynamic stability during gait following stroke: A systematic review. *Gait & Posture*, 72, 154-166. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2019.06.006>
- Duclos, N., Duclos, C., & Mesure, S. (2017). Control postural: fisiología, conceptos principales e implicaciones para la readaptación. *EMC - Kinesiterapia - Medicina Física*, 38(2), 1-9. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1293-2965\(17\)83662-8](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1293-2965(17)83662-8)
- Egoyan, A., & Moistsrapishvili, K. (2013). Equilibrium and Stability of the Upright Human Body. *The General Science Journal*, 1-10. <http://scireprints.lu.lv/237/1/1302.0119v1.pdf>
- 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>
- Gimenez, F. V., Stadnik, A. M. W., & Maldaner, M. (2018, 18-21 July 2018). Analyses of Baropodometry Protocols Through Bibliometric Research. 2018 40th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC),
- Horak, F. B. (2009). Postural Control. In M. D. Binder, N. Hirokawa, & U. Windhorst (Eds.), *Encyclopedia of Neuroscience* (pp. 3212-3219). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-29678-2_4708
- Jastrzębski, D., Żebrowska, A., Rutkowski, S., Rutkowska, A., Warzecha, J., Ziaja, B., Pałka, A., Czyżewska, B., Czyżewski, D., & Ziora, D. (2018). Pulmonary Rehabilitation with a Stabilometric Platform After Thoracic Surgery: A Preliminary Report. *Journal of Human Kinetics*, 65(1), 79-87. <https://doi.org/10.2478/hukin-2018-0044>
- Le Mouel, C., & Brette, R. (2017). Mobility as the Purpose of Postural Control [Hypothesis and Theory]. *Frontiers in Computational Neuroscience*, 11. <https://doi.org/10.3389/fncom.2017.00067>
- Lobo, A. A., Joshua, A. M., Nayak, A., Mithra P, P., Misri, Z., & Pai, S. (2021). Effect of Compelled Body Weight Shift (CBWS) Therapy in Comparison to Proprioceptive Training on Functional Balance, Gait, and Muscle Strength Among Acute Stroke Subjects. *Annals of Neurosciences*, 28(3-4), 162-169. <https://doi.org/10.1177/09727531211063132>
- Lugade, V., Lin, V., & Chou, L.-S. (2011). Center of mass and base of support interaction during gait. *Gait & Posture*, 33(3), 406-411. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2010.12.013>
- Lyu, H., Fan, Y., Hao, Z., & Wang, J. (2021). Effect of local and general fatiguing exercises on disturbed and static postural control. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 56, 102487. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2020.102487>
- Maïano, C., Hue, O., Tracey, D., Lepage, G., Morin, A. J. S., & Moullec, G. (2018). Static postural control among school-aged youth with Down syndrome: A systematic review. *Gait & Posture*, 62, 426-433. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.03.027>
- Mariana Haro, D. (2014). Laboratorio de análisis de marcha y movimiento. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 25(2), 237-247. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0716-8640\(14\)70034-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0716-8640(14)70034-3)
- 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>
- Rajendran, V., Roy, F. G., & Jeevanantham, D. (2012). Postural control, motor skills, and health-related quality of life in children with hearing impairment: a systematic review. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, 269(4), 1063-1071. <https://doi.org/10.1007/s00405-011-1815-4>
- 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>
- Shen, K., Chemori, A., & Hayashibe, M. (2020). Human-Like Balance Recovery Based on Numerical Model Predictive Control Strategy. *IEEE Access*, 8, 92050-92060. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2995104>