



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES
UNIDAD JURIQUELLA

FACULTAD DE INGENIERÍA

Prueba de valoración biomecánica de **postura** **estática con** **electromiografía**



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 electromiografía.

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 8.

ISBN Volumen: 978-607-30-9318-7.

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
El control postural estático.....	2
Tecnología disponible para el estudio del control postural.....	5
Electromiografía de superficie.....	5
Prueba de postura estática con cuatro sondas.....	7
Etapas de preparación.....	7
1. Preparación del área de trabajo.....	7
2. Conectar el equipamiento a la computadora.....	7
3. Ofrecer indicaciones del paciente sobre la prueba a realizar.....	8
4. Introducir los datos del paciente y seleccionar el protocolo de prueba.....	8
5. Colocar los electrodos con las sondas en el paciente.....	10
Etapas de captura.....	11
6. Iniciar el proceso de captura.....	11
Etapas de creación del reporte.....	14
7. Generar el reporte.....	14
Indicaciones para la aplicación del protocolo en las clases prácticas.....	18
Referencias.....	22

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).

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.

La electromiografía de superficie permite identificar la estrategia muscular del paciente para mantener una posición. En las pruebas se solicita al paciente permanecer en un periodo de tiempo para medir la actividad muscular de ambos lados de la anatomía, tomando como referencia la línea media del plano frontal (eje longitudinal) (Duchene et al., 2021; Fleming et al., 2021; Park & Yoo, 2012). Una contracción o estiramiento asimétrica de los músculos del tronco puede provocar una alteración en la postura del paciente, dolor en la región de la espalda, así como posturas inadecuadas que pueden ocasionar la pérdida del control postural.

En este protocolo de postura estática, se solicita al paciente que mantenga el tronco sin movimiento durante un intervalo de tiempo (puede ser 30 segundos o 1 minuto). Se puede aplicar a cualquier posición bajo condiciones isométricas, como por ejemplo permanecer en bipedestación o sentado. Cabe resaltar que es posible medir la actividad muscular en cualquier región del cuerpo. En el caso del protocolo que se describirá en este documento, se emplearán cuatro sondas para analizar la musculatura de la espalda en la región dorsal y lumbar. Se pueden comparar varias pruebas realizadas en el mismo paciente en diferentes momentos (previa, durante y posterior al tratamiento) para establecer la efectividad de la rehabilitación.

Este manual se orienta a fortalecer el aprendizaje de la valoración biomecánica del control postural del tronco. 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 la postura estática con electromiografía” antes de realizar la prueba como preparación independiente. El profesor debe proporcionar la dirección de internet para su consulta.

El control postural estático.

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) (Egoyan & Moistrapishvili, 2013).

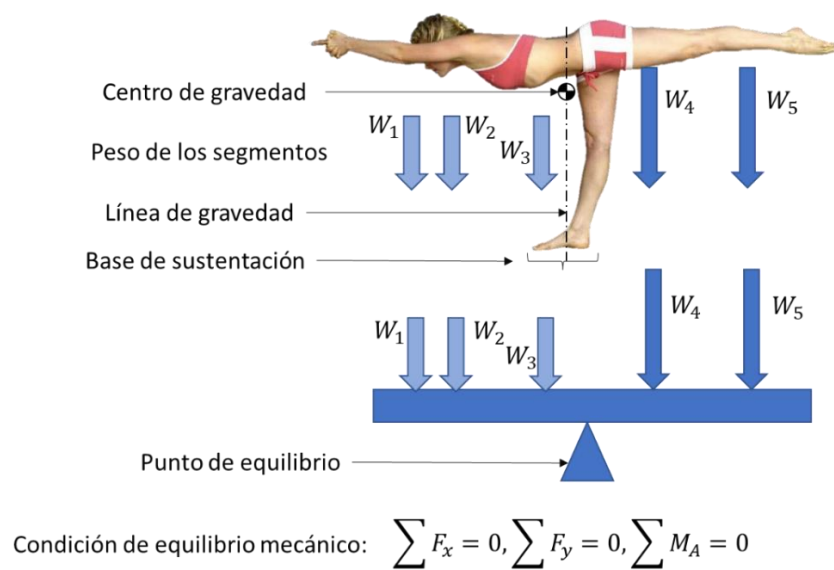


Fig. 1. Centro de gravedad ubicado por encima de la base de sustentación.

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.

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).

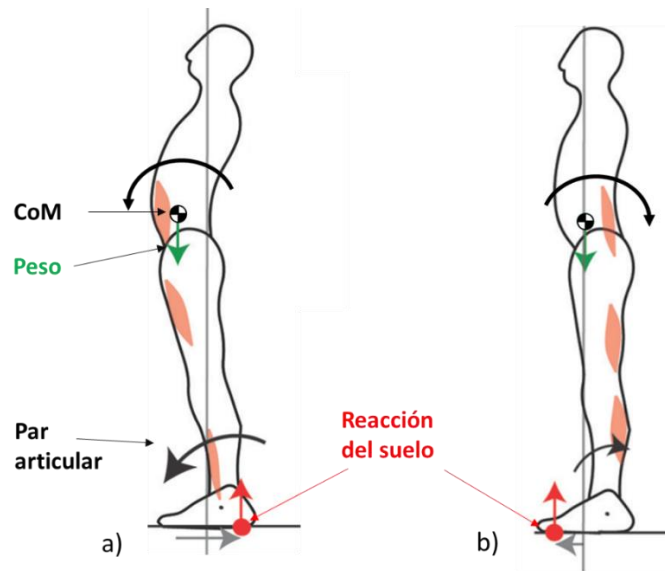


Fig. 2. Músculos anti gravitatorios encargados de mantener el control postural en bipedestación estática, activación de los músculos cuando la reacción del suelo está posterior al tobillo, b) cuando a reacción del suelo está anterior al tobillo. Fuente: Adaptación de (Le Mouel & Brette, 2017). Licencia: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

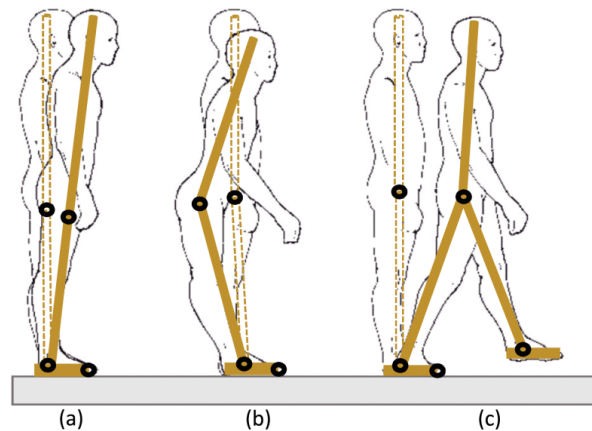


Fig. 3. Estrategias para recuperar el balance en dirección anteroposterior: a) estrategia de tobillo, b) estrategia de cadera, c) estrategia de paso al frente. Fuente: (Shen et al., 2020) Licencia: CC BY 4.0.

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 valgo o varo, pie equino varo, pie plano, cavo, en pronación o supinación, entre otras, también contribuyen a estas asimetrías. Las discrepancias estructurales de los miembros inferiores modifican la biomecánica de la pelvis, que a su vez alteran la curvatura de la columna. Aunque la escoliosis se manifiesta con mayor incidencia en el plano frontal o coronal, puede estar aparejada con modificaciones en el plano sagital, rotaciones en el plano transversal y alteraciones en las costillas (Lechner et al., 2017). Las curvaturas de la columna alteran la posición del CoM y por ende la actividad muscular. Otras causas de asimetrías posturales son los accidentes cerebrovasculares, parálisis cerebral, Parkinson, desordenes temporomandibulares (Gimenez et al., 2018).

La electromiografía de superficie permite identificar la estrategia muscular del paciente para mantener una posición. La elección de la musculatura a evaluar y la duración de la prueba será según el criterio que se persigue investigar o según las condiciones específicas del paciente (Babyar et al., 2021). Los músculos pueden ser de la parte posterior o anterior del tronco, siempre cumpliendo con la simetría tomando como referencia la línea media del tronco en el plano coronal. Estudios con electromiografía de superficie han demostrado que en adolescentes con escoliosis idiopática se presenta una asimetría en la contracción de los músculos de la espalda. De acuerdo con Park et al. (2021) existe una mayor activación muscular,

expresado en RMS, durante contracciones isométricas en el lado convexo que en el lado cóncavo a la altura del apex de la curvatura. En las curvaturas torácicas encontraron una relación entre la lateralidad y la configuración de la escoliosis, con mayor predominio de contracción en el lado derecho. Sin embargo, en un estudio previo, Liu et al. (2019) obtuvieron que la contracción mayor estuvo evidenciada del lado convexo y que la asimetría de la activación muscular guarda una estrecha relación con la severidad del ángulo de Cobb.

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.

Electromiografía de superficie.

La electromiografía de superficie (EMGs) consiste en registrar la actividad eléctrica del músculo esquelético con el propósito de evaluar la función nerviosa y muscular (Feldner et al., 2019). Las señales EMGs se generan debido a la contracción muscular, por tanto, se requiere identificar correctamente los grupos musculares que participan en la ejecución de los movimientos. Las sondas de la electromiografía capturan la actividad eléctrica del músculo y se colocan en la superficie de la piel mediante electrodos bipolares de superficie (Papagiannis et al., 2019). La piel ofrece una elevada resistencia eléctrica al paso de la corriente (impedancia), por lo que se recomienda la aplicación de un gel que mejore su conductividad. Dicho gel aporta otros beneficios como lograr una buena superficie de contacto y adherencia de los electrodos (Kilby et al., 2016).



Fig. 4. Equipamiento para el análisis de la postura estática: sondas electromiográficas FreeEMG en su estación de carga, antena USB y cable de extensión.

El FREEEMG 1000 de BTS Bioengineering es una tecnología avanzada para el análisis electromiográfico de superficie (Fig. 4). La precisión de la señal, la ausencia completa de cables, la ligereza y el tamaño extremadamente pequeño de las sondas permite llevar a cabo análisis de cualquier tipo de movimiento, para cada región del cuerpo, sin alterar en modo alguno el gesto motor del sujeto examinado. Las sondas del FreeEMG tienen unos broches que se unen directamente a los electrodos pre-gelificados para recolectar la señal, sin necesidad de hardware adicional (Fig. 5).

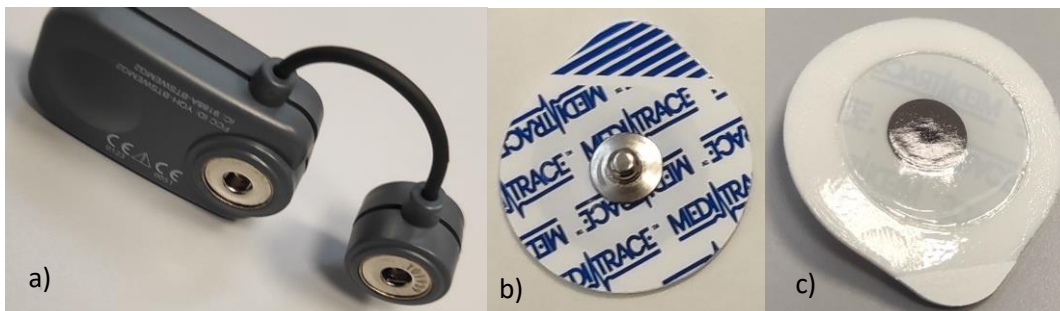


Fig. 5. Sistema de unión entre las sondas y los electrodos pre-gelificados. a) broche macho en las sondas, b) broche hembra en el electrodo, c) superficie pre-gelificada con el electrodo en la parte central del área circular.

La Electromiografía permite realizar el análisis instrumentado de varias pruebas de movimiento de los parámetros de la simetría de la actividad muscular, coordinación y mecanismos de compensación muscular durante el estudio, así como el análisis del “timing” de activación muscular (electromiografía).

Las pruebas son fáciles de realizar y los resultados son inmediatamente comparables con el rango de normalidad. Los protocolos integrados ofrecen la posibilidad de hacer análisis completos y detallados de las principales pruebas clínicas.

Entre las pruebas que ofrece el FreeEMG se encuentran los protocolos funcionales de:

- 1- Marcha.
- 2- Postura estática.
- 3- Flexión relajación de columna.
- 4- Movilidad del hombro.
- 5- Movilidad de la columna cervical.
- 6- Oclusión dental.

Prueba de postura estática con cuatro sondas.

En este protocolo de postura estática, se solicita al paciente que mantenga el tronco sin movimiento durante un intervalo de tiempo (puede ser 30 segundos o 1 minuto). Se puede aplicar a cualquier posición bajo condiciones isométricas, como por ejemplo permanecer en bipedestación o sentado. Cabe resaltar que es posible medir la actividad muscular en cualquier región del cuerpo. En el caso del protocolo que se describirá en este documento, se emplearán cuatro sondas para analizar la musculatura de la espalda en la región dorsal y lumbar. Se pueden comparar varias pruebas realizadas en el mismo paciente en diferentes momentos (previa, durante y posterior al tratamiento) para establecer la efectividad de la rehabilitación. El protocolo ofrece los siguientes datos:

- Índice ARV (amplitud de la señal eléctrica de los músculos).
- Contribución de los músculos de ambos lados.
- Simetría muscular.

Para realizar la prueba es necesario realizar los siguientes pasos:

Etapas de preparación.

1. Preparación del área de trabajo.

La prueba se realiza con el paciente en posición erguida, de pie o sentado.

2. Conectar el equipamiento a la computadora.

Insertar la antena USB receptora del FreeEMG, prender las sondas EMGs y abrocharlas a los electrodos. Las sondas se encienden al pasar por el área magnética de la base del equipo. Se deben prender las sondas que se van a emplear, en este caso son cuatro sondas. Observe que las sondas se identifican con números.



Fig. 6. Conexión del FreeEMG al puerto de la computadora y encendido de las sondas electromiográficas.

3. Ofrecer indicaciones del paciente sobre la prueba a realizar.

Las indicaciones serán las siguientes:

Este protocolo consiste en medir la simetría de los músculos del tronco durante el control postural estático. En posición del tronco erguido, usted permanecerá en esta posición durante 1 minuto. A usted se le colocarán cuatro pares de electrodos de superficie pre-gelificados sobre el dorsal al nivel proximal y en el erector espinal iliocostal, de forma simétrica a ambos lados de la columna.

Antes de la colocación de los electrodos, la piel deberá rasurarse y limpiarse con alcohol al 5%, siguiendo las recomendaciones de las directrices para el empleo de electromiografía de superficie para la evaluación no invasiva de los músculos (SENIAM).

4. Introducir los datos del paciente y seleccionar el protocolo de prueba.

Para introducir los datos del paciente, seleccione el ícono de nuevo paciente en la barra de herramientas del programa EMG Analyzer de BTS Bioengineering (Fig. 7).



Fig. 7. Opción para la creación de un nuevo paciente en la base de datos del programa.

Se desplegará una ventana para capturar los datos del paciente, como nombre, apellidos, fecha de nacimiento, datos del personal clínico, código del paciente, dirección, número telefónico y notas donde se podrán agregar los motivos del estudio, entre otras (Fig. 8).

Fig. 8. Ventana para capturar los datos del paciente.

Una vez definido el paciente, se agregará a la lista de pacientes que se tenga capturada previamente.

Definir una sesión de trabajo.

Luego de definir los datos del paciente, el siguiente paso es crear una nueva sesión de trabajo. La sesión de trabajo es una forma de organizar los estudios. Como, por ejemplo, cuando se realiza una sesión de diagnóstico y una posterior para evaluar la efectividad de la estrategia de rehabilitación de una lesión. La sesión de trabajo está vinculada a un paciente, razón por la que tenemos que seleccionar primero el

paciente para definir la sesión de trabajo. Luego, en la barra de herramientas, seleccione definir nueva sesión (Fig. 9).



Fig. 9. Opción de creación de la sesión de trabajo, que servirá para organizar los estudios, de acuerdo al momento que se realice la prueba, como, por ejemplo, antes o después de una terapia.

Se abrirá una ventana para indicar el nombre de la sesión, la patología del paciente, el protocolo y dos espacios para colocar notas que puedan ayudar a identificar algún dato del paciente (Fig. 10).



Fig. 10. Ventana para la creación de la sesión de trabajo.

Una vez creada la sesión de trabajo, se podrá visualizar desplegando la lista de pacientes en la parte izquierda del programa.

Para definir el protocolo de captura de la prueba, desde el menú Laboratory, seleccione la opción *Create EMG Protocol* (Fig. 11).

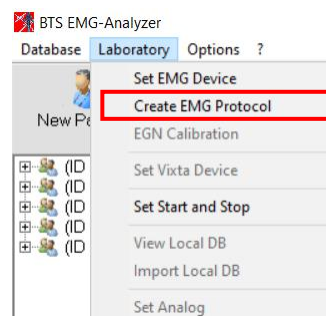


Fig. 11. Ventana para la selección del protocolo.

Aparecerá una ventana, en la que se listan todos los protocolos disponibles. Para esta prueba se selecciona el protocolo staticposture.pro. Una vez seleccionado el protocolo, se debe activar en el ícono *Set Active*. El programa ofrecerá un mensaje informando que se activará el protocolo (Fig. 12).

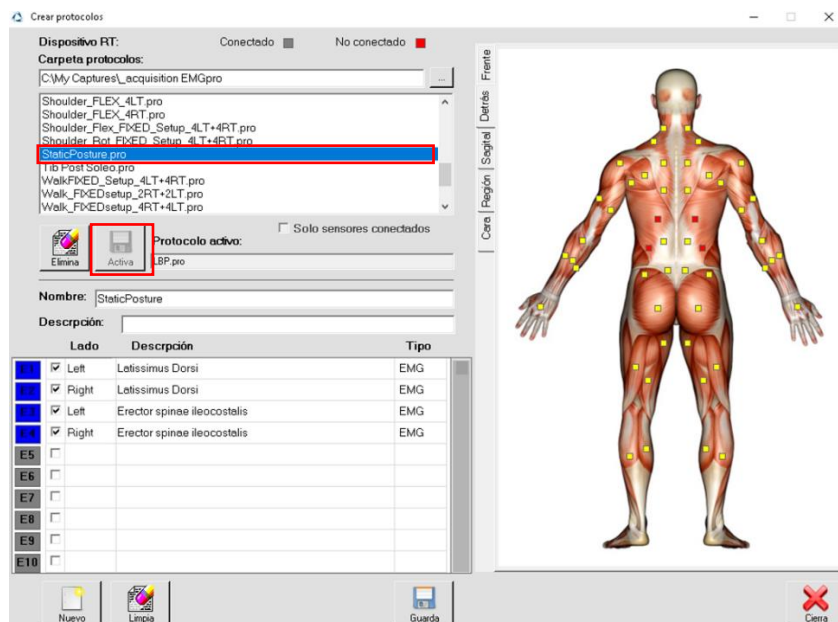


Fig. 12. Ventana para activar el protocolo seleccionado. En esta venta se listan los músculos que se deben colocar los electrodos y las sondas.

5. Colocar los electrodos con las sondas en el paciente.

Las sondas deberán estar cargadas, prendidas con el indicador de luz led parpadeando y abrochadas a los electrodos pre-gelificados. Identifique los músculos a evaluar, que son el dorsal al nivel proximal y en el erector espinal iliocostal (Fig. 12). Se debe tener especial cuidado de que el número de las sondas corresponda con el músculo a estudiar. En la derecha aparecen identificados la parte anatómica del cuerpo donde se deben colocar los electrodos.

Se deben colocar el electrodo madre y satelital de la sonda alineada en dirección de la fibra muscular. Puede servir de guía donde colocar los electrodos. La separación entre los electrodos de la parte madre y satelital debe ser aproximadamente de 2 a 3 cm.

5.1. Referencias anatómicas para la ubicación muscular y posicionamiento de sensores.

Dorsal mayor proximal.

Para localizar la región, se solicitará al examinado (paciente) que se coloque en posición de bipedestación, identifique el reborde inferior de la última costilla, siguiendo la costilla hasta llegar a la columna, en este punto se identificará la vértebra T12. Descienda palpando las apófisis de las vértebras L1. En esta región se realiza una división horizontal imaginaria de la columna para diferenciar la región proximal de la lumbar. Si se traza otra línea imaginaria para dividir la espalda en el lado derecho e izquierdo, se obtienen cuatro cuadrantes (Fig. 13).

El límite superior del cuadrante superior se encuentra delimitado por el borde inferior de la escápula. Identifique el centro de este cuadrante, para ello se divide entre dos la distancia existente entre borde inferior de la escápula y la intersección de las líneas imaginarias horizontal y vertical. En esta zona se identifica el dorsal proximal y deberá colocar las sondas en dirección de las fibras musculares, formando un ángulo de 45° como se ilustra en la Fig. 13.

Erector espinal iliocostal.

Una vez colocadas las sondas en los cuadrantes superiores, se procede a identificar el límite inferior de los cuadrantes lumbares, para ello se localizan los hoyuelos de Venus. Se define la posición de las sondas, las que deberán quedar igualmente en el medio de estos cuadrantes. En esta zona se identifica la región lumbar de la columna, específicamente los erectores iliocostales. Las sondas también deberán quedar en dirección de las fibras musculares, formando un ángulo de 45° como se ilustra en la Fig. 13. Es importante señalar que las sondas deben estar colocadas a la misma altura y a la misma distancia respecto a la columna vertebral.

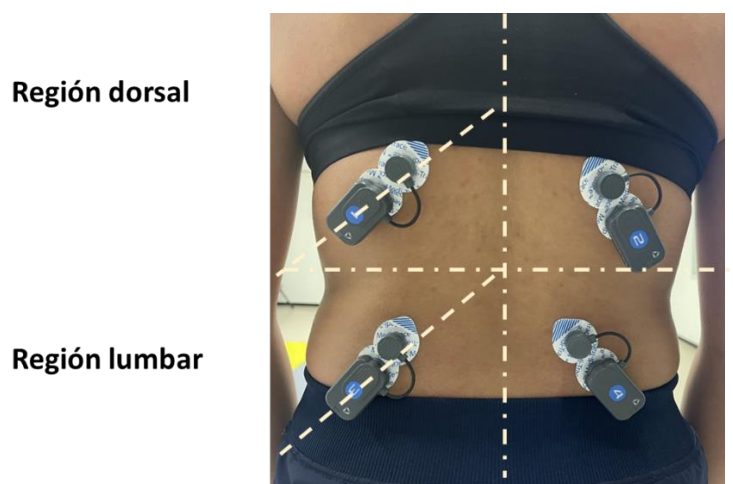


Fig. 13. Referencias anatómicas para identificar para colocar las sondas en los músculos dorsal y erector iliocostal. Las sondas deben estar colocadas a la misma altura y a la misma distancia respecto a la columna vertebral.

Etapas de captura.

6. Iniciar el proceso de captura.

Rectificar que el protocolo activo corresponde con el de postura estática y que la numeración de las sondas corresponde con las del protocolo. Seleccionar adquirir una nueva prueba. Para ello se selecciona la opción New Trial.



Fig. 14. Opción para definir una nueva prueba.

Aparecerá una ventana en la que el programa solicitará el nombre de la prueba. Es importante revisar que la casilla *G-Sensor events* se encuentre desactivada. Luego, seleccione Adquirir para iniciar la captura (Fig. 15).



Fig. 15. Ventana para nombrar la captura, debe estar desactivado el sensor inercial, con la casilla en blanco sin la palomita. La captura iniciará al dar clic en *Acquire*.

Deberá seleccionar visualizar la prueba, en esta pantalla comprobará si las sondas están midiendo la actividad muscular. Le puede solicitar al paciente que haga una ligera flexión de tronco para que se activen los músculos (Fig. 16).

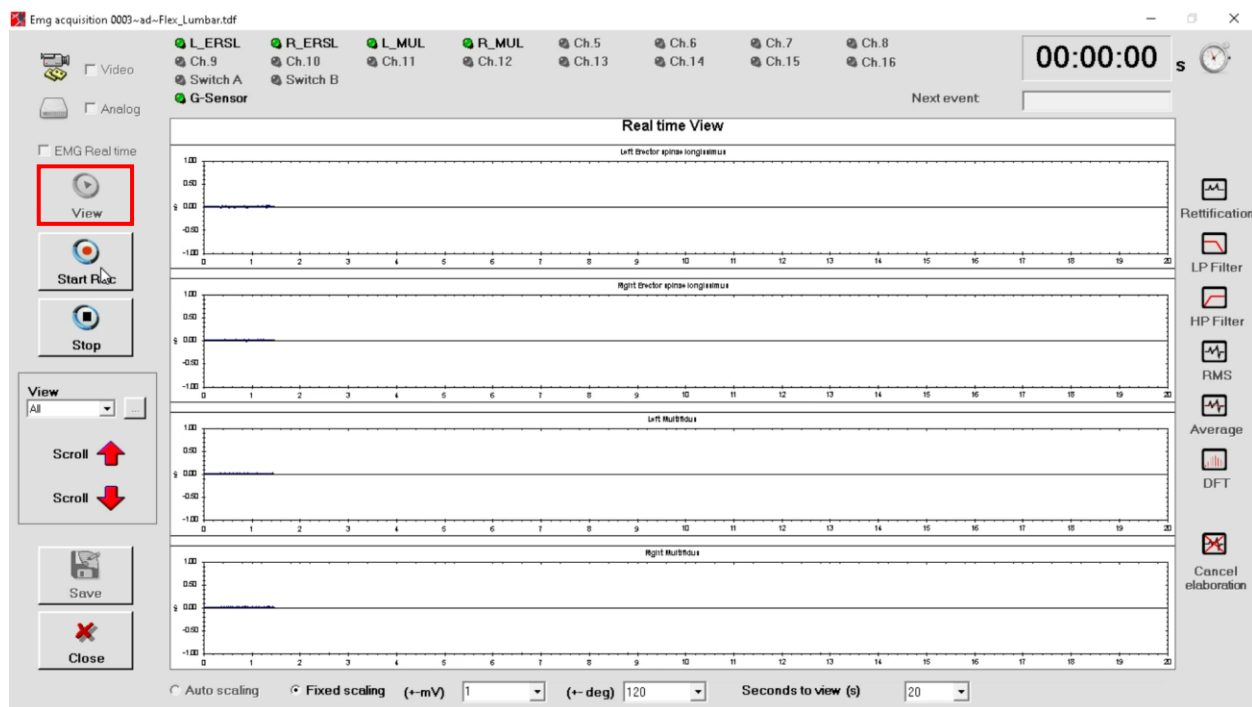


Fig. 16. Visualización de la actividad muscular antes de comenzar la prueba.

Luego puede iniciar la captura, en este protocolo no se emplea el sensor inercial, por lo que el programa no requerirá estabilizar el sensor. Por tanto, desde el momento que da clic en el ícono iniciar, la prueba comienza a registrar la actividad muscular (Fig. 17).

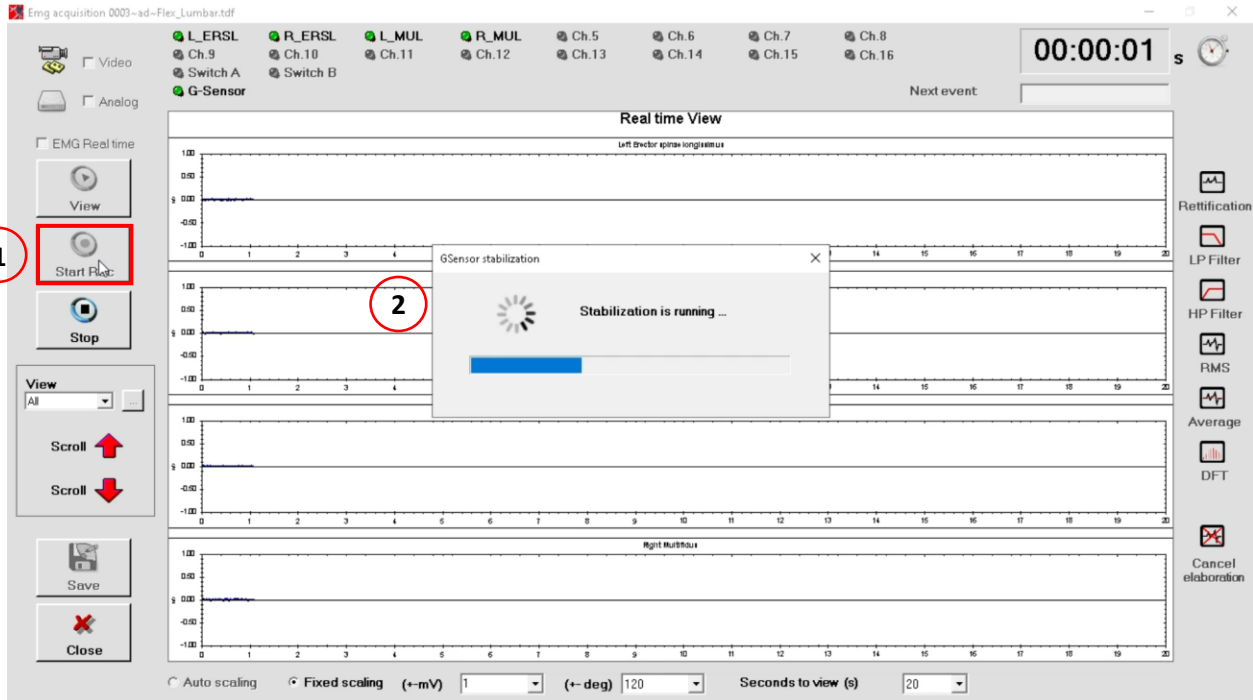


Fig. 17. Inicio de la captura de la actividad muscular requerida en el mantenimiento de la posición isométrica.

Una vez que el paciente haya completado el tiempo, seleccione detener la prueba. El programa iniciará el proceso de descarga de los datos desde las sondas EMGs hacia la computadora (Fig. 18).



Fig. 18. Proceso de descarga de la información de las sondas y el sensor inercial a la computadora.

Se podrán observar en la pantalla la activación muscular del movimiento analizado. Una vez completada la descarga, seleccione guardar (Fig. 19).

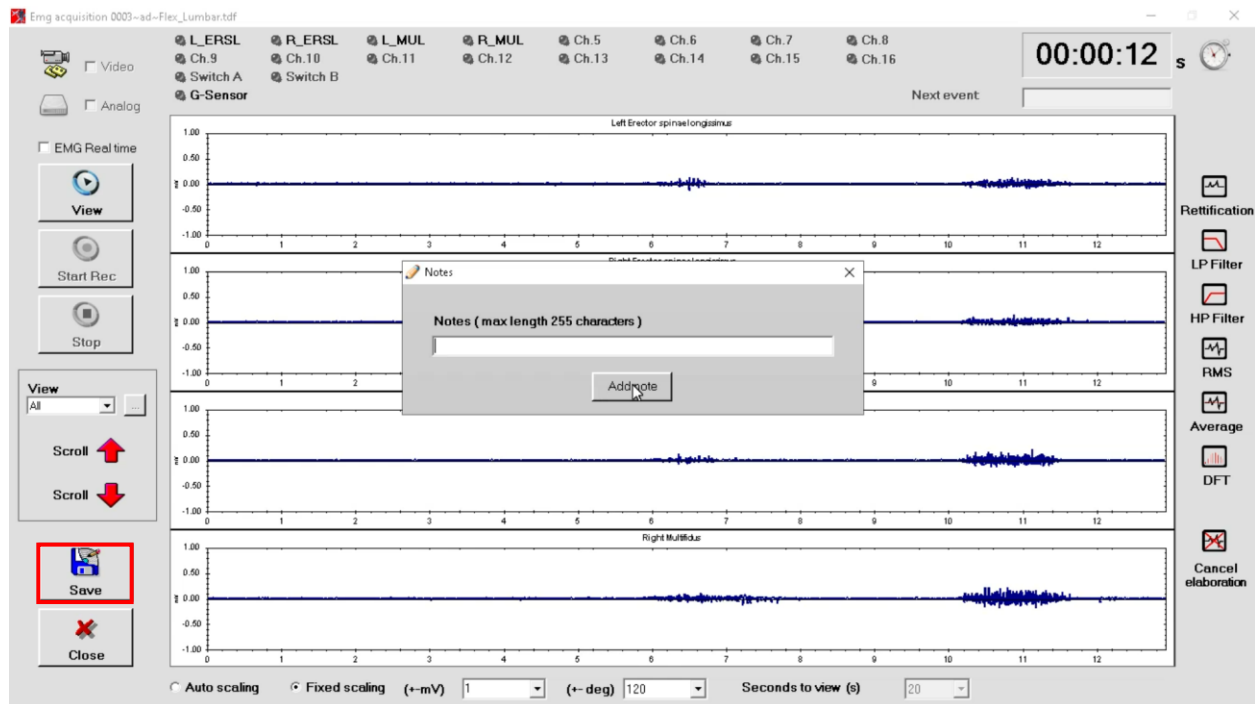


Fig. 19. Ventana donde se observa la actividad de los músculos.

Etapas de creación del reporte.

7. Generar el reporte.

Para generar el reporte, deben estar activas todas las pruebas que se incluirán en el informe. Para realizar su activación se realizarán los siguientes pasos:

- a) Seleccionar el paciente.
- b) Seleccionar la sesión en la que se grabaron los movimientos.
- c) Activar las pruebas al hacer doble clic sobre las capturas que se quieren incluir (Indicado con 1 de la Fig. 20). Las capturas que se seleccionen aparecerán en la parte central de la pantalla (Indicado con 2 en la Fig. 20).
- d) Seleccionar el ícono del protocolo de postura estática. (Indicado con 3 en la Fig. 20).

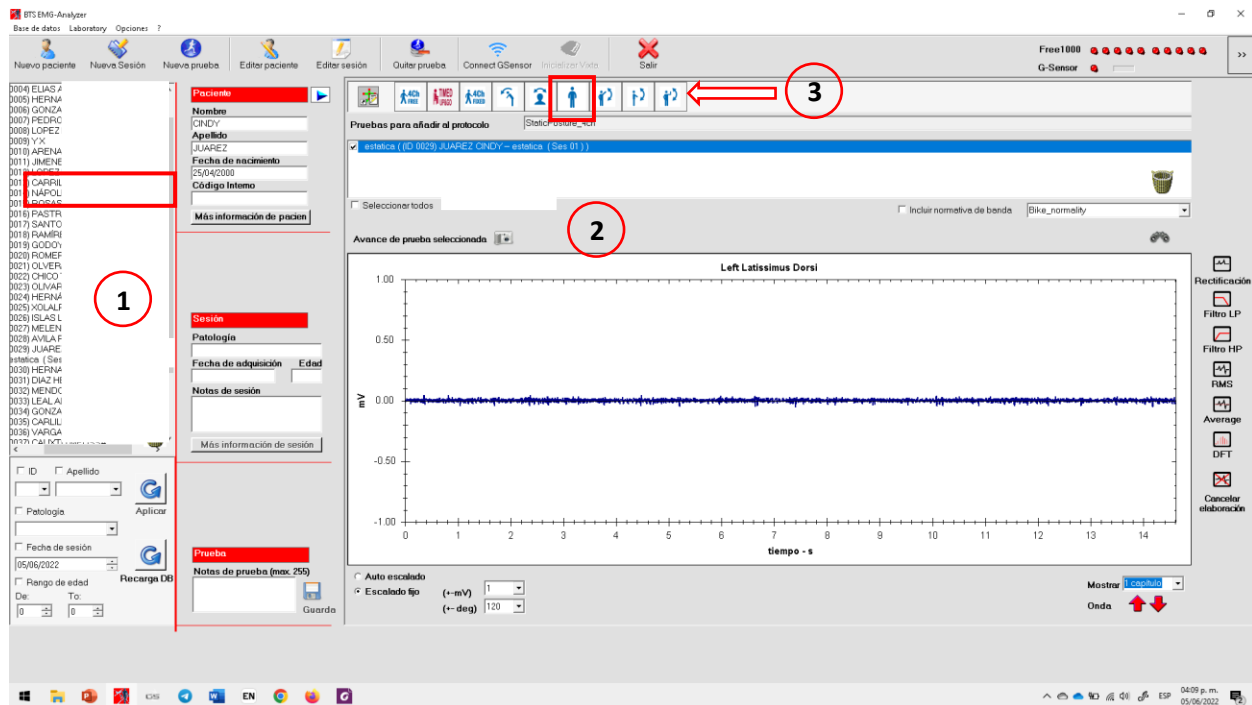


Fig. 20. Selección de las capturas para generar el reporte. Se debe seleccionar el ícono según sea el reporte por generar, en este caso es el de postura estática.

El programa inicia el proceso de generar el reporte que incluye los datos de la prueba de postura estática. Aparece una ventana en la que se enlaza el archivo con la información que solicita el programa. Los archivos se enlazarán en el siguiente orden: capturas de movimiento, sesión e imágenes del reporte. Los archivos se vinculan dando clic en la flecha azul.

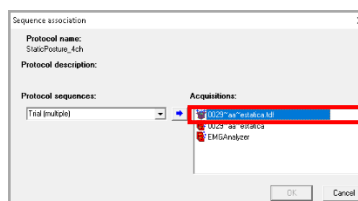


Fig. 21. Ventana para enlazar o vincular los datos necesarios para generar el reporte.

Interpretación de la información del reporte:

Índice del valor medio rectificado (ARV) y contribución muscular:

En la primera página se muestra el gráfico la actividad eléctrica muscular. El lado derecho se grafica en la parte superior del eje de coordenadas en color verde, mientras que en la parte inferior aparece la actividad muscular de la musculatura de la izquierda en color rojo. A la derecha del gráfico aparece el índice ARV, que muestra el valor promedio de la señal de la actividad muscular rectificada. En el gráfico también se identifica el índice ARV mediante una línea horizontal negra. Otro dato que aparece es la contribución energética porcentual conque cada músculo está participando para el mantenimiento de la postura. Aparecen las gráficas para los músculos dorsales y erectores iliocostales (Fig. 22).

El porcentaje de contribución energética de cada músculo se determina a partir de la relación entre la actividad de dicho músculo y la actividad que desempeñaron todos los músculos en el mantenimiento de la postura. Se puede identificar si existe simetría en la contribución energética y en el índice ARV de los músculos del lado derecho respecto al lado izquierdo. También se puede observar cuáles son los músculos que tuvieron una mayor participación en el mantenimiento de la postura. En el ejemplo que se muestra, se observa que los músculos dorsales tuvieron una mayor contribución que los músculos lumbares iliocostales. También tuvieron una mayor participación individual los músculos del lado izquierdo.

ARV Index and muscle contributions

The ARV Index (Average Rectified Value) estimates the amplitude of the electric muscle signal. It is calculated as the average value of the rectified signal. The % contribution of each muscle is calculated with respect to the total activity performed by all the investigated muscles and it indicates in which percentage the single muscle is contributing to the maintenance of the static posture.

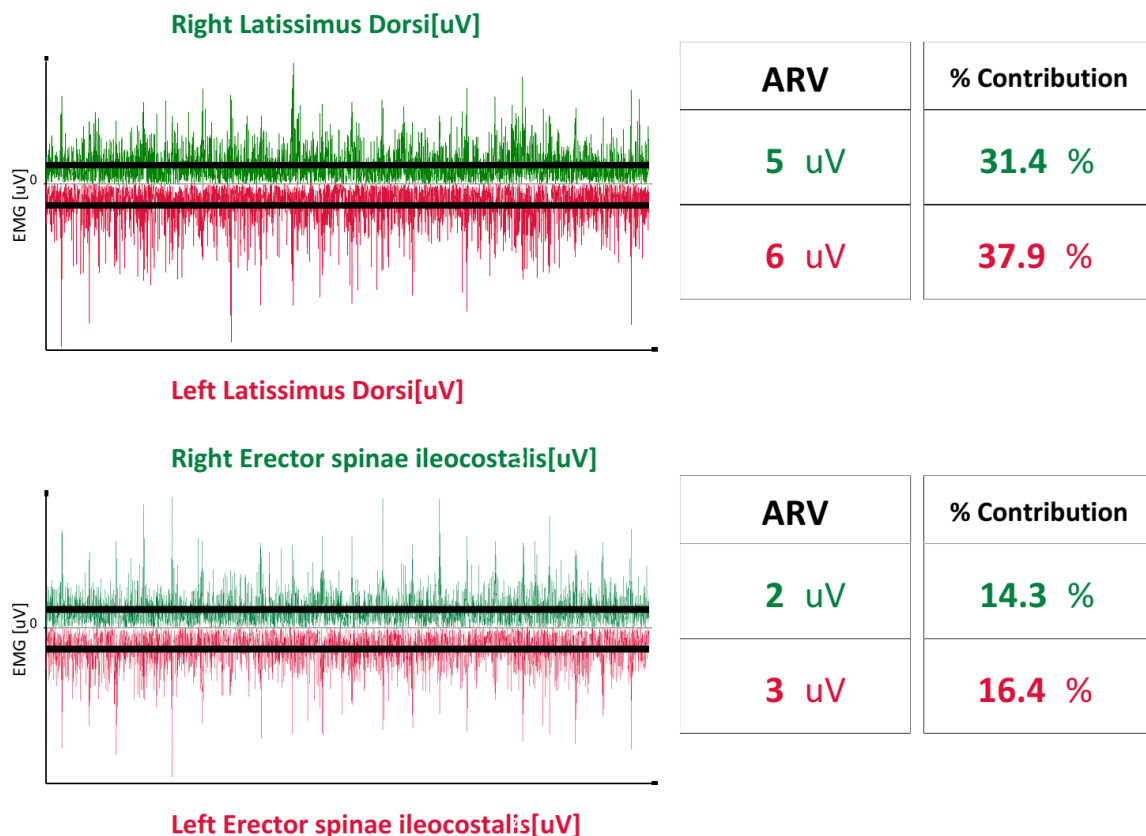


Fig. 22. Contribución de los músculos para mantener la postura. Índice ARV y contribución energética para cada músculo.

Simetría de la activación muscular:

A partir de la contribución energética de los músculos, se puede determinar la contribución global de los músculos del lado derecho respecto al izquierdo. Dicho resultado se muestra en la Fig. 23. En el ejemplo que se analiza, los músculos del lado izquierdo tuvieron una mayor contribución que los del lado derecho. Al analizar la postura del paciente se observó que tenía el hombro izquierdo descendido.

Muscle Symmetry

The Muscle Symmetry compares the total value of activity performed by the muscles of the right side with that one performed by the muscles of the left side.

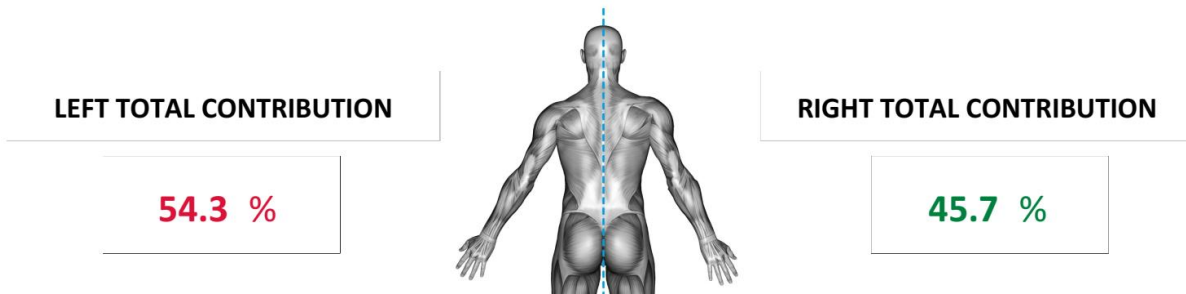


Fig. 23. Índice de relación flexión relajación, los músculos erectores en L4-L5 tienen dificultad para trabajar de modo excéntrico, además, el de la izquierda no se desactiva durante la fase de mantenimiento.

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. 24).

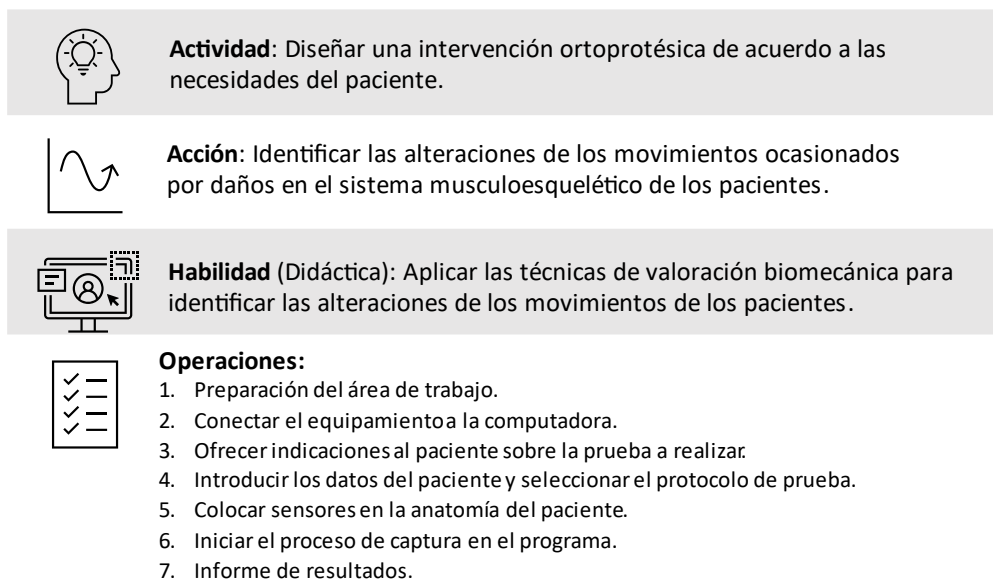


Fig. 24. Relación entre la actividad, acción, habilidades y operaciones para desarrollar las habilidades mediante la actividad práctica.

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. 25). 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.

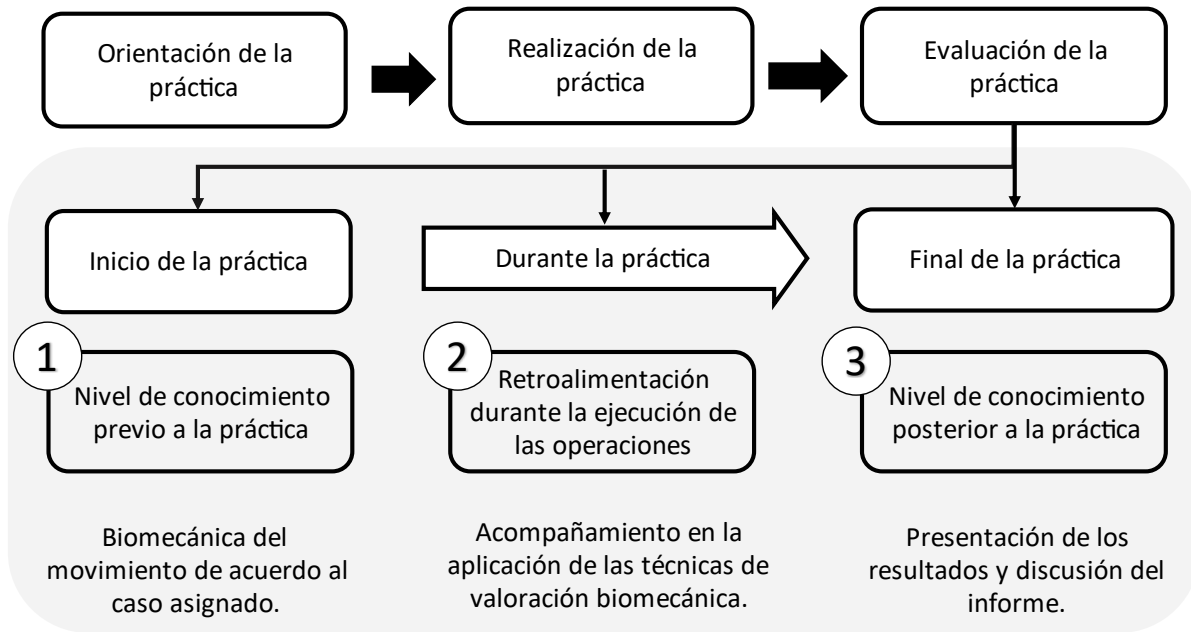


Fig. 25. Esquema de la evaluación del proceso de enseñanza-aprendizaje en tres momentos de la práctica.

Guía de la práctica.

Objetivo:

Identificar la actividad muscular durante el control postural estático mediante el empleo del sensor inercial y electromiografía.

Caso 1:

Se trata de paciente masculino de 45 años con diagnóstico de secuelas de Sx de Guillan Barre.

Paciente que es referido para una valoración biomecánica de la marcha debido a la alteración que presenta en la ejecución de la marcha.

Durante la exploración física se observa: paciente despierto, orientado y reactivo, obedece órdenes y ejecuta acciones, pupilas isocóricas normorreflexicas con adecuada coloración tegumentaria e hidratación de mucosas. Se observa una postura inestable asistida por bastón en bipedestación y marcha independiente claudicante, sin apoyo. Durante la valoración Muscular se encuentra debilidad generalizada con mayor énfasis en musculatura de la espalda 3+ en la escala de Lovett.

Ausencia de dolor, sin disminución sensitiva RoTs ++/++

Caso 2:

Síndrome de Debilidad progresiva

Paciente masculino de 64 años se presenta a la consulta posterior a infección en vías aéreas, refiere sentir falta de fuerza que se ha extendido hacia la parte posterior del tronco.

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, dorsal y lumbar. Presenta asimetría en musculatura paravertebral, dorsal y transversa con datos de inflamación y dificultad para el movimiento de flexo-extensión de tronco, así como para la rotación.

Caso 3:

Paciente masculino de 38 años acude a consulta con dolor lumbar (en cinturón) desde hace un año, tanto en reposo como en movimiento, y sin ningún traumatismo anterior. Cuenta que tiene irradiación constante hacia ambos glúteos, sobre todo al estar sentado. Tiene pequeñas protrusiones laterales izquierdas a nivel L4-L5 y L5-S1 (contacta con la raíz de S1 izquierda) sin alteración neurológica. Lumbalgias de repetición. Escoliosis idiopática desde pequeño (sin hacer ningún tratamiento).

Durante la Exploración física se observa posición de rectificación de la cabeza, cifosis poco marcada y una rectificación de la zona lumbar, pelvis ligeramente en retroversión. Hombro derecho más alto que el izquierdo (debido a la escoliosis idiopática), y en antepulsión. Escápula derecha alada. Disminución de la movilidad analítica dorsolumbar en los movimientos del tronco. Sacro en flexión. Varo de rodillas y mínimo valgo en tobillos. Test de Adams positivo al lado derecho con protrusión mayor al contralateral. Pliegues lumbares asimétricos.

Si usted fuera a evaluar la marcha, indique:

- ¿Qué condiciones debe cumplir el lugar o laboratorio para realizar un examen de postura estática?
- ¿Cuáles son los músculos que participan en el control postural?
- ¿Qué maniobras sugiere para identificar los músculos seleccionados?
- ¿Qué músculos seleccionaría para medir la actividad en la espalda y por qué?
- ¿Cómo y con qué equipamiento se podría realizar una prueba objetiva de valoración de la postura estática?

Instrumentos e insumos:

- Laptop con el sistema EMG-Analyzer.
- 4 canales de sondas electromiográficas.
- Bolsa de electrodos para sondas electromiográficas.
- Torundas o algodón.
- Alcohol grado medicinal.

Técnica operatoria.

1. Preparación del área de trabajo.
2. Conectar el equipamiento a la computadora.
3. Ofrecer indicaciones al paciente sobre la prueba a realizar.
4. Introducir los datos del paciente y seleccionar el protocolo de prueba.
5. Colocar los electrodos con las sondas en el paciente.
6. Iniciar el proceso de captura.
7. Generar reporte.

Informe de la clase práctica de laboratorio.

Elabore un informe en el que incluirá la descripción de la patología descrita en la introducción, así como las posibles causas. Incluya las gráficas del reporte que ofrece el programa del sistema de medición 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.

- Babyar, S. R., Holland, T. J., Rothbart, D., & Pell, J. (2021). Electromyographic Analyses of Trunk Musculature after Stroke: An Integrative Review. *Topics in Stroke Rehabilitation*, 29(5), 1-16. <https://doi.org/10.1080/10749357.2021.1940725>
- Devetak, G. F., Bohrer, R. C. D., Rodacki, A. L. F., & Manffra, 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>
- Duchene, Y., Mornieux, G., Petel, A., Perrin, P. P., & Gauchard, G. C. (2021). The trunk's contribution to postural control under challenging balance conditions. *Gait & Posture*, 84, 102-107. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2020.11.020>
- 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>
- Feldner, H. A., Howell, D., Kelly, V. E., McCoy, S. W., & Steele, K. M. (2019). "Look, Your Muscles Are Firing!": A Qualitative Study of Clinician Perspectives on the Use of Surface Electromyography in Neurorehabilitation. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 100(4), 663-675. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apmr.2018.09.120>
- Fleming, A., Huang, S., Buxton, E., Hodges, F., & Huang, H. H. (2021). Direct continuous electromyographic control of a powered prosthetic ankle for improved postural control after guided physical training: A case study. *Wearable Technologies*, 2, e3, Article e3. <https://doi.org/10.1017/wtc.2021.2>
- 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>
- Kilby, J., Prasad, K., & Mawston, G. (2016). Multi-Channel Surface Electromyography Electrodes: A Review. *IEEE Sensors Journal*, 16(14), 5510-5519. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2016.2569072>
- 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>
- Lechner, R., Putzer, D., Dammerer, D., Liebensteiner, M., Bach, C., & Thaler, M. (2017). Comparison of two- and three-dimensional measurement of the Cobb angle in scoliosis. *International Orthopaedics*, 41(5), 957-962. <https://doi.org/10.1007/s00264-016-3359-0>
- Liu, Y., Pan, A., Hai, Y., Li, W., Yin, L., & Guo, R. (2019). Asymmetric biomechanical characteristics of the paravertebral muscle in adolescent idiopathic scoliosis. *Clinical Biomechanics*, 65, 81-86. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2019.03.013>
- 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>
- Papagiannis, G. I., Triantafyllou, A. I., Roumpelakis, I. M., Zampeli, F., Garyfallia Eleni, P., Koulouvaris, P., Papadopoulos, E. C., Papagelopoulos, P. J., & Babis, G. C. (2019). Methodology of surface electromyography in gait analysis: review of the literature. *Journal of Medical Engineering & Technology*, 43(1), 59-65. <https://doi.org/10.1080/03091902.2019.1609610>
- Park, S.-y., & Yoo, W.-g. (2012). Effect of EMG-based Feedback on Posture Correction during Computer Operation [10.1539/joh.12-0052-OA]. *Journal of Occupational Health*, 54(4), 271-277. <https://doi.org/https://doi.org/10.1539/joh.12-0052-OA>
- Park, Y., Ko, J. Y., Jang, J. Y., Lee, S., Beom, J., & Ryu, J. S. (2021). Asymmetrical activation and asymmetrical weakness as two different mechanisms of adolescent idiopathic scoliosis. *Scientific Reports*, 11(1), 17582. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-96882-8>
- 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>