

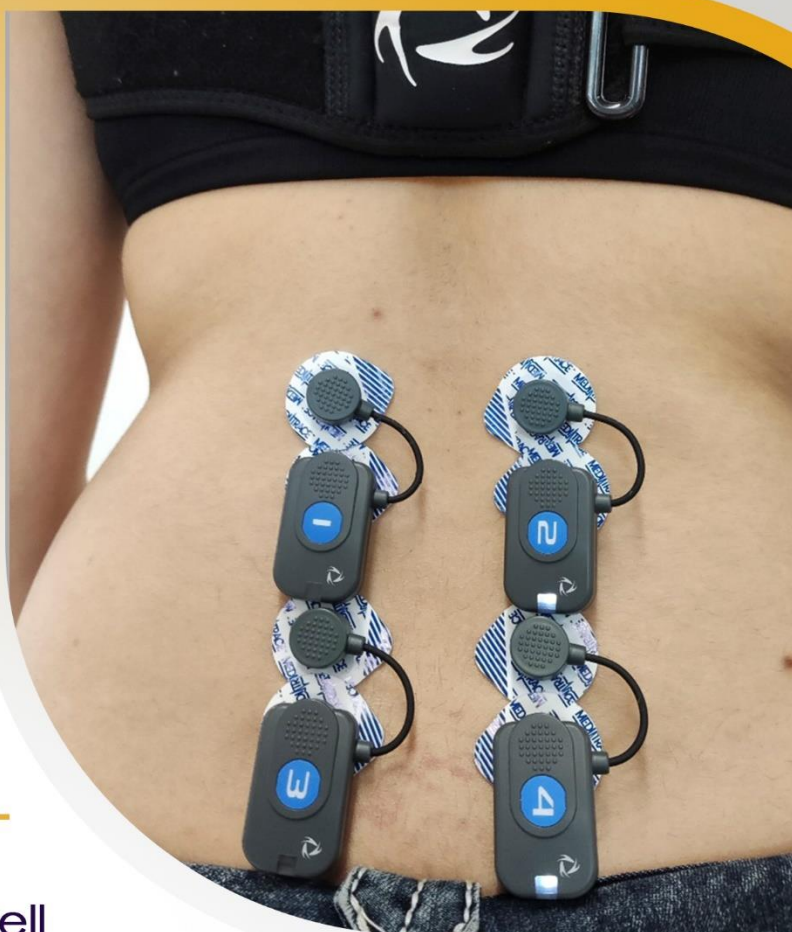


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES
UNIDAD JURIQUILLA

FACULTAD DE INGENIERÍA

Prueba de valoración biomecánica de flexión relajación con el **sensor inercial** y **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 flexión relajación con el sensor inercial y 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 especifica 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 7.

ISBN Volumen: 978-607-30-9317-0.

Diseño de portada: Lic. Ana Karen Valadez Rodríguez.

Agradecimientos:

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

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

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

A todos, muchas gracias.

Índice:

Introducción.....	1
El fenómeno de flexión relajación en la columna lumbar.	2
Tecnología disponible para el estudio de la biomecánica de los movimientos.	3
Sensor inercial y electromiografía de superficie.	4
Prueba de Flexión extensión de la columna.	6
Etapas de preparación.....	6
1. Preparación del área de trabajo.	6
2. Instalación de las cámaras de video en el plano frontal y sagital del paciente.	6
3. Conectar el equipamiento a la computadora.	6
4. Ofrecer indicaciones del paciente sobre la prueba a realizar.	9
5. Introducir los datos del paciente y seleccionar el protocolo de prueba.	9
6. Definir una sesión de trabajo.....	10
7. Colocar los electrodos con las sondas en el paciente.	12
8. Colocar el sensor inercial al paciente.....	13
Etapas de captura.	14
9. Iniciar proceso de grabación de video con las cámaras	14
10. Iniciar el proceso de captura.....	14
Etapas de creación del reporte.....	17
11. Generar el reporte.....	17
Indicaciones para la aplicación del protocolo en las clases prácticas.	23
Referencias.	27

Introducción.

Los trastornos musculoesqueléticos afectan la funcionalidad de las personas para realizar sus actividades cotidianas. El dolor en la región lumbar es el trastorno más frecuente y la principal causa de discapacidad a nivel mundial, los años vividos con discapacidad causada por lumbalgia aumentaron un 54 % entre 1990 y 2015, principalmente debido al aumento de la población, así como el envejecimiento de ésta. La mayoría de las personas con nuevos episodios de dolor lumbar se recuperan rápidamente; sin embargo, la reincidencia es común y en una pequeña proporción de personas la lumbalgia se vuelve crónica e incapacitante (Clark & Horton, 2018).

El protocolo de flexión relajación (Flexión-Relaxation) con el sensor inercial y electromiografía permite realizar un análisis rápido, preciso y sencillo del movimiento de flexión-relajación del tronco. En este protocolo de flexión extensión, se solicita que el paciente que realice el movimiento de flexión de tronco hacia el frente hasta alcanzar la flexión voluntaria máxima, en esta posición se aprecia una inactividad de los músculos erectores de la columna, que es menor que en posición erguida, conocido como fenómeno de Flexión-Relajación (FR) (Kim et al., 2017).

Es posible obtener la estrategia motora que adopta el paciente, como es el reclutamiento muscular para verificar si el paciente tiene una activación excéntrica inferior a la activación concéntrica de los erectores de columna lumbares, coordinación y simetría de la actividad muscular durante el movimiento o en cambio sí, debido a trastornos neurológicos u ortopédicos, sus movimientos están comprometidos y alterados de tal manera que no logre el rango de movilidad o la presencia del fenómeno de flexión relajación.

Este manual se orienta a fortalecer el aprendizaje de la valoración biomecánica de la flexión extensión 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 flexión relajación con el sensor inercial y electromiografía” antes de realizar la prueba como preparación independiente. El profesor debe proporcionar la dirección de internet para su consulta.

El fenómeno de flexión relajación en la columna lumbar.

La columna vertebral es el componente estructural para dar soporte a la parte superior del cuerpo humano y proteger la médula espinal. Sus curvaturas anatómicas en el plano sagital le ofrecen la posibilidad de recibir cargas de compresión, que van aumentando conforme se acerca a las extremidades inferiores. A cada región de la columna vertebral se le suma el peso de las extremidades superiores y la cabeza, la región del tronco que corresponde al nivel de la columna vertebral (Fig. 1).

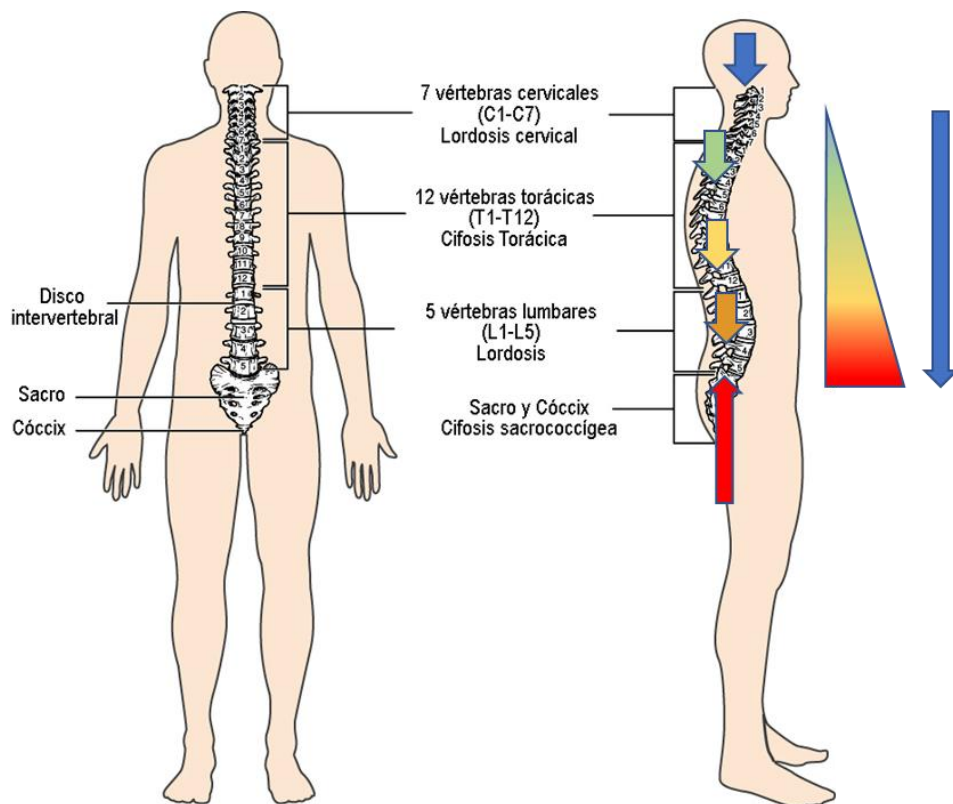


Fig. 1. Curvas anatómicas de la columna vertebral y cargas de compresión para diferentes niveles.

Fuente: Adaptación de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:715_Vertebral_Column.jpg. Licencia: CC-BY-3.0.

La movilidad de la columna se debe a su composición anatómica de segmentos óseos, fascia y músculos, uniones articulares facetarias y a los discos intervertebrales. Los grados de movilidad varían en cada región, entre otros factores, provocado por las diferencias estructurales y las costillas. Al nivel de la columna lumbar se permiten los movimientos de flexión extensión, flexión lateral y rotación. El ritmo lumbopélvico es un patrón organizado caracterizado por la coordinación de la columna lumbar, pelvis y articulación de la cadera, especialmente durante la flexión y extensión de columna.

En la flexión del tronco, el centro de masa (CoM, en inglés Center of mass) se desplaza hacia el frente, incrementando el brazo de palanca del peso de la parte superior del cuerpo, con el consiguiente incremento del momento, que debe contrarrestarse por los erectores de columna, que, por el contrario, mantienen el brazo de palanca y deben incrementar la fuerza del músculo. En la flexión voluntaria máxima se aprecia una inactividad de los músculos erectores de la columna, que es menor que en posición erguida, conocido como fenómeno de Flexión-Relajación (FR) (Kim et al., 2017).



Fig. 2. Flexión extensión de columna. En la flexión voluntaria máxima del tronco debe aparecer el silencio mioeléctrico conocido como fenómeno de flexión relajación.

Los pacientes con dolor lumbar pueden mostrar desviación de la pelvis debido a la asimetría de las longitudes de las extremidades inferiores, movimiento restringido en la articulación de la cadera, músculos glúteos y transverso del abdomen débiles, o contracturas en isquiotibiales, psoas ilíaco y/o cuadrado lumbar (Zawadka et al., 2018).

En personas con lumbalgia desaparece el fenómeno de FR (Alschuler et al., 2009), lo que constituye un biomarcador de la presencia de lumbalgia (Gouteron et al., 2021). Para examinar el fenómeno FR, se emplean las magnitudes de EMG durante la flexión máxima voluntaria (Fig. 2), o se calcula el índice de FR a partir de varias medidas de EMG. Rose-Dulcina et al. (2020) mostraron que entre los pacientes con lumbalgia la asimetría en el índice de FR de los músculos erectores de columna se correlacionó significativamente con la asimetría en el rango de movimiento lateral del tronco, sugirieron que la carga desequilibrada de la columna podría contribuir a la presencia o persistencia del dolor.

Tecnología disponible para el estudio de la biomecánica de los movimientos.

Las compensaciones que el individuo emplea en su marcha pueden encubrir alguna comorbilidad o patología preexistente, además de ser difíciles de diferenciar de las alteraciones primarias a simple vista.

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.

Sensor inercial y electromiografía de superficie.

Un acelerómetro es un dispositivo destinado a medir las aceleraciones. Basan su principio mediante la medición del cambio de capacidad eléctrica de un condensador que provoca el movimiento de una masa sísmica situada entre las placas de éste, que al moverse hace cambiar la corriente que circula entre las placas del capacitor.

Al combinar el acelerómetro de tres ejes, con un giroscopio y un magnetómetro, entonces se pueden obtener la aceleración lineal en cada eje, la velocidad angular, los desplazamientos angulares con una referencia al norte magnético. Tienen incorporado un sensor de temperatura para ajustar la medición de los parámetros y reducir el efecto de esta variable física. Los dispositivos que tienen estos sensores se conocen como sensores inerciales (Fong & Chan, 2010). Se emplean cinco tipos de algoritmos para estimar la orientación o las posiciones: integración, observación de vectores, filtrado de Kalman, filtrado complementario y otros algoritmos (López-Nava & Muñoz-Meléndez, 2016).

Un equipo que complementa las pruebas que se pueden realizar con el sensor inercial es el Electromiógrafo. La prueba que se realiza con este equipo se conoce como electromiografía de superficie (EMGs) y 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).

El sensor inercial G-Sensor de BTS Bioengineering es una técnica moderna, es compacto, de uso sencillo y además es una alternativa no tan costosa en comparación con sistemas de cámaras para identificar alteraciones ortopédicas, trastornos neurológicos, entre otras (Fig. 3a).

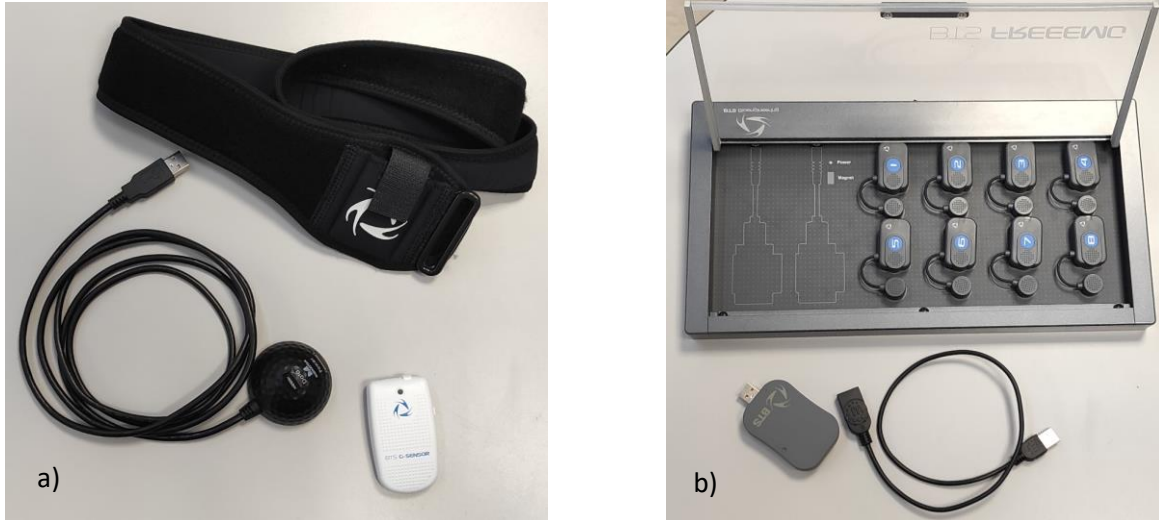


Fig. 3. Equipamiento para el análisis de la marcha: a) Sensor inercial G-Sensor con antena USD con cable de extensión cable y correa de sujeción, b) sondas electromiográficas FreeEMG en su estación de carga, antena USB y cable de extensión.

El FREEEMG 1000 de BTS Bioengineering es una tecnología avanzada para el análisis electromiográfico de superficie (Fig. 3b). 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. 4).

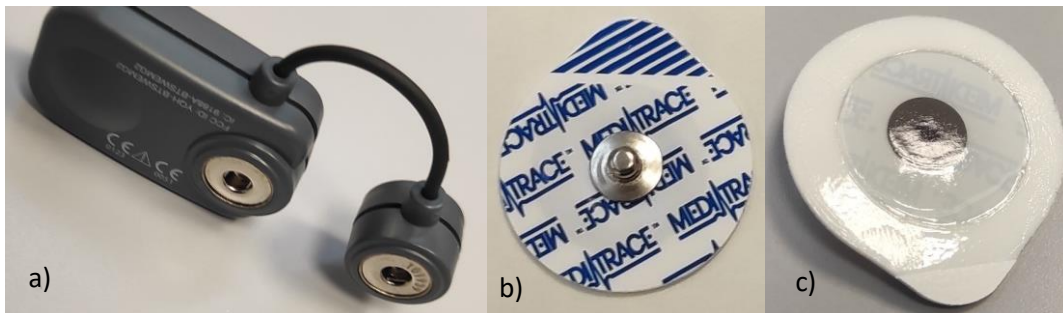


Fig. 4. Sistema de unión entre las sondas y los electrodos pre-gelificados. a) broche macho en las sondas, b) broche hembra en el electrodo, c) superficie pre-gelificada con el electrodo en la parte central del área circular.

La combinación de ambos equipos, el Sensor inercial y la Electromiografía, permite realizar el análisis instrumentado de varias pruebas de movimiento de los parámetros cinemáticos tempo-espaciales en los planos y ejes anatómicos de movimiento junto con ángulos relativos (sensor inercial) y 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 la combinación del FreeEMG y el G-Sensor 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 Flexión extensión de la columna.

En este protocolo de flexión extensión, se solicita que el paciente que realice el movimiento de flexión de tronco hacia el frente hasta alcanzar la flexión voluntaria máxima, en esta posición se aprecia una inactividad de los músculos erectores de la columna, que es menor que en posición erguida, conocido como fenómeno de Flexión-Relajación (FR) (Kim et al., 2017).

Permite comparar varias pruebas realizadas en el mismo paciente en diferentes momentos (previa y posterior al tratamiento) para establecer la efectividad de la rehabilitación. El protocolo ofrece los siguientes datos:

- Índice del fenómeno Flexión Relajación.
- Índice de relación flexión relajación.
- Cinemática del tronco.

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, con espacio suficiente para realizar la flexión y extensión de columna.

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

Colocar las cámaras para la captura del movimiento en el plano frontal y en el plano sagital, para analizar la relación entre las variables espacio temporales del sensor inercial, la activación muscular de la electromiografía y lo observado en el video.

De este modo se podrá describir también de manera cualitativa las diferentes etapas de la movilidad del tronco y las variaciones en las gráficas.

3. Conectar el equipamiento a la computadora.

Insertar la antena Bluetooth receptora del sensor inercial en el puerto USB (Fig. 5a) y prender el sensor inercial. El interruptor del sensor se encuentra, tomando como referencia la cara del logo del sensor, en

el lateral derecho (Fig. 5a). La luz del indicador LED blanco comenzará a parpadear, indicando que está prendido.

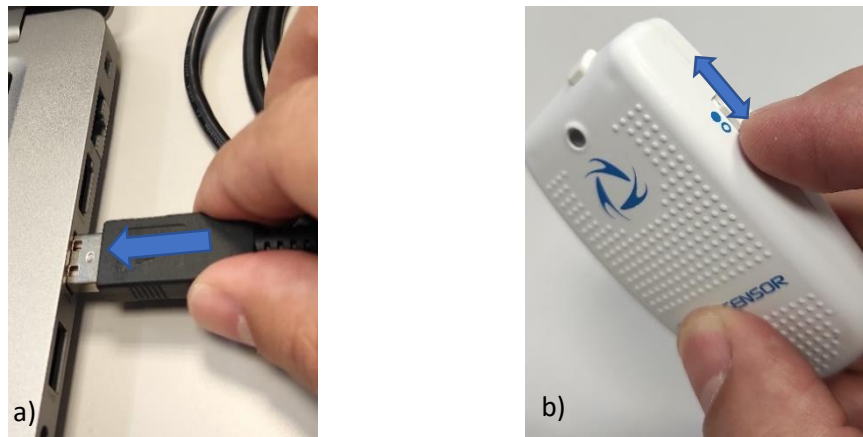


Fig. 5. Conexión de la antena al puerto USB de la computadora y encendido del sensor inercial.

Luego se debe 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.

Abrir el programa EMG Analyzer de BTS Bioengineering y conectar el sensor inercial. Comprobar que las sondas y el sensor se encuentran cargados. Para ello se despliega el menú Laboratory y se selecciona la opción Set EMG Device (Fig. 7).

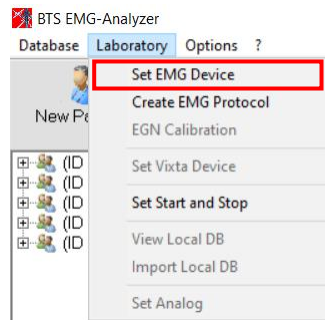


Fig. 7. Ventana para la activación del sensor inercial.

Luego aparece una ventana, en la que debe revisar que se encuentre seleccionada la opción *Enable G-Sensor*, así como el puerto COM que asigna el sistema a la conexión Bluetooth con el sensor inercial. En la figura aparece enmarcado en un rectángulo, en la esquina inferior derecha. Posteriormente haga clic en *Update* antes de cerrar la ventana (Fig. 8).



Fig. 8. Ventana para la activación del sensor inercial. Rectificar que el puerto sea el asignado por el sistema. Antes de cerrar, se debe actualizar para que se conecte el sensor inercial.

El sensor inercial también se puede conectar activando la opción *Connect GSensor* desde la barra de herramientas de funciones de uso rápido del programa (Parte superior y en el centro de la pantalla). En este momento ya estará activado el Sensor inercial, así como las sondas EMG que están encendidas. Se puede comprobar el estado de los sensores en la esquina superior derecha de la pantalla (Fig. 9).



Fig. 9. Conexión del sensor inercial desde la barra de herramientas de funciones de uso rápido.

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

Las indicaciones serán las siguientes:

Este protocolo consiste en realizar los movimientos de flexión extensión de columna. Desde la posición en bipedestación, usted deberá flexionar el tronco hacia el frente hasta alcanzar la flexión voluntaria máxima, permanecer durante 5 segundos en esta posición con los brazos relajados y extendidos, y regresar a posición inicial. Los movimientos los deberá realizar con suavidad y tratando de alcanzar la máxima amplitud voluntaria. Realizará 5 repeticiones, esperando la orden antes de ejecutar cada intento.

Al inicio de cada repetición, usted debe permanecer inmóvil durante unos segundos, debido a que necesitamos que el sensor que tiene colocado en la espalda se estabilice. Cuando este proceso haya concluido, se le indicará que puede iniciar el movimiento.

Al sujeto en evaluación se le colocará el sensor inercial en la parte posterior de la columna, al nivel de la línea que pasa por el ángulo escapular inferior. Se le colocarán cuatro pares de electrodos de superficie pre-gelificados sobre el erector espinal a la altura de las vértebras L2-L3 y en el multifidos a la altura de L4-L5, de forma simétrica en 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).

5. 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 (Fig. 10).



Fig. 10. 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 clínico, código del paciente, dirección, número telefónico y notas donde se podrán agregar los motivos del estudio, entre otras (Fig. 11).

Fig. 11. Ventana para capturar los datos del paciente.

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

6. 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. 12).



Fig. 12. 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. 13).



Fig. 13. 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 movimiento, desde el menú Laboratory, seleccione la opción *Create EMG Protocol* (Fig. 14).

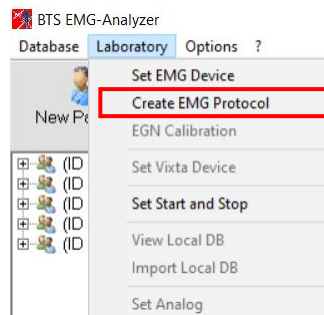


Fig. 14. Ventana para la selección del protocolo.

Aparecerá una ventana, en la que se listan todos los protocolos disponibles. Para esta prueba se selecciona el protocolo Flexion-Relaxation.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. 15).

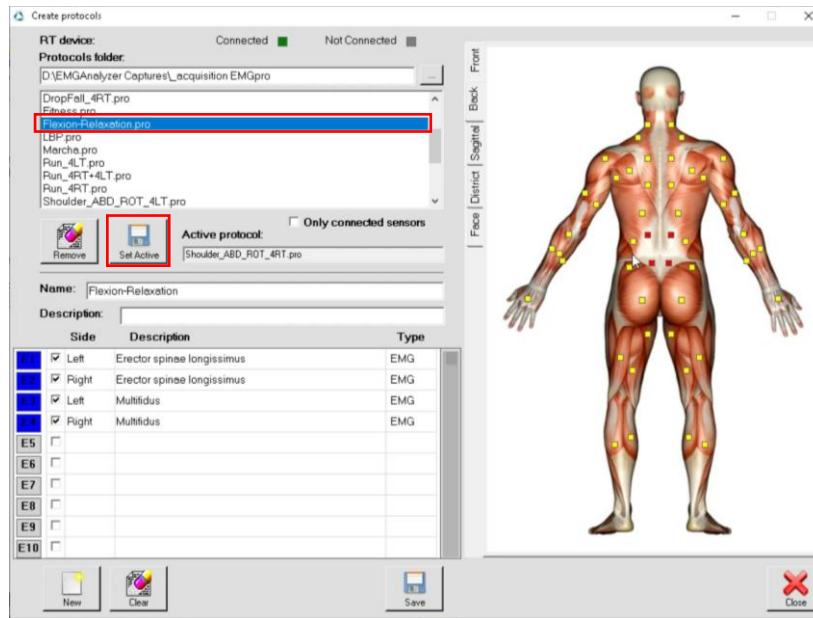


Fig. 15. Ventana para activar el protocolo seleccionado. En esta venta se listan los músculos que se deben colocar los electrodos y las sondas.

7. 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 erector espinal a la altura de L1-L2 y el multífido en L4-L5 (Fig. 15). 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. Debe palpar con los dedos (de preferencia el índice y el medio) la contracción muscular. Puede servir de guía donde colocar los electrodos. La separación entre los electrodos de la parte madre y satelital debe ser aproximadamente de 1 cm, ya que hay que tener en cuenta el importante flujo de piel que ocurre durante el movimiento de flexión anterior del tronco (Fig. 16).

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

Erector de columna L1-L2.

Para identificar la región donde colocar los electrodos, se solicitará al examinado (paciente) que se coloque en posición de bipedestación, coloque las manos sobre las crestas iliacas y los dedos pulgares dirigidos hacia la columna. Los dedos pulgares deben estar dispuestos en línea horizontal (Fig. 16a). De esta forma señalan el disco intervertebral L4-L5. Identifique las protuberancias de las apófisis y cuente las vértebras hasta identificar L1 y L2. También puede identificar el reborde inferior de la última costilla, siguiendo la línea hasta llegar a la columna, en este punto se identificará la vértebra T12. Descienda palpando las apófisis de las vértebras L1 y L2 (Fig. 16a). A ambos lados de estas vértebras identificadas, coloque los pares de electrodos a una separación simétrica respecto a la columna de 3 cm en dirección de las fibras de los músculos paraespinales.

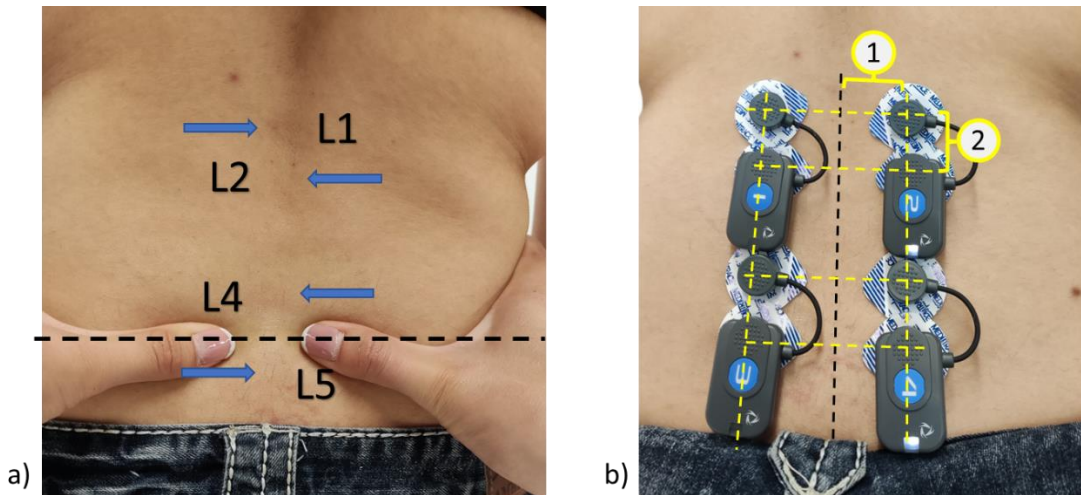


Fig. 16. Colocación de las sondas electromiográficas. a) identificación de las vértebras a partir de las crestas ilíacas, b) colocación de los electrodos, la distancia respecto a la columna (1) de 3 cm, mientras que la separación entre los electrodos de la parte madre y satelital (2) debe de ser aproximadamente de 1 cm.

Multífidos L4-L5.

Luego de identificar la posición del disco intervertebral L4-L5 según procedimiento de la Fig. 16a, descienda palpando la apófisis de la vértebra L5, y luego identifique la vértebra L5. De igual manera, a ambos lados de estas vértebras identificadas, coloque los pares de electrodos a una separación simétrica respecto a la columna de 3 cm en dirección de las fibras de los músculos paraespinales.

8. Colocar el sensor inercial al paciente.

El sensor se ubica en la parte posterior de la columna, al nivel de la línea que pasa por el ángulo escapular inferior. Identifique la posición anatómica antes mencionada y coloque, bien ajustada (cuidando el flujo sanguíneo) la correa, con el sensor centrado en la cabeza. Garantice que el sensor no se mueva y que el paciente no sienta una sensación de compresión en la zona.

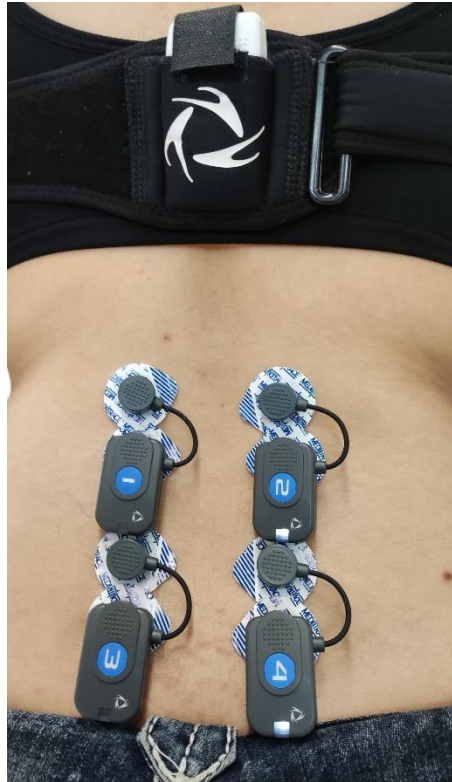


Fig. 17. Colocación de electrodos y sensor inercial al nivel de la línea que pasa por el ángulo escapular inferior.

Etapa de captura.

9. Iniciar proceso de grabación de video con las cámaras

Comprobar que la memoria cuente con espacio suficiente para grabar la prueba.

10. Iniciar el proceso de captura.

Comprobar que el protocolo activo corresponde con el de flexión-relajación 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. 18. 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. 19).



Fig. 19. 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 el movimiento de cuello a medir para que se activen los músculos (Fig. 20).

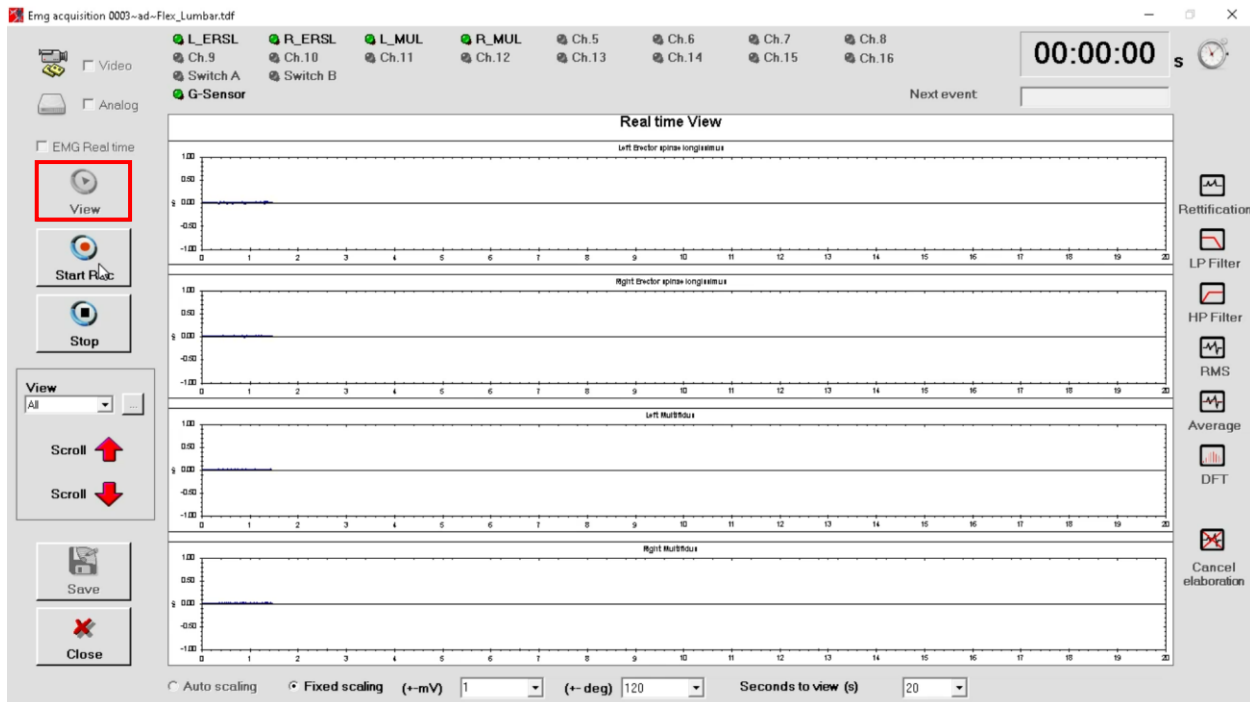


Fig. 20. Visualización de la actividad muscular antes de comenzar la prueba.

Para iniciar la captura, el programa requerirá estabilizar el sensor. Por tanto, es necesario indicar al paciente que permanezca inmóvil hasta terminar la estabilización y cuando este proceso termine, indique al paciente que puede comenzar la prueba (Fig. 21).

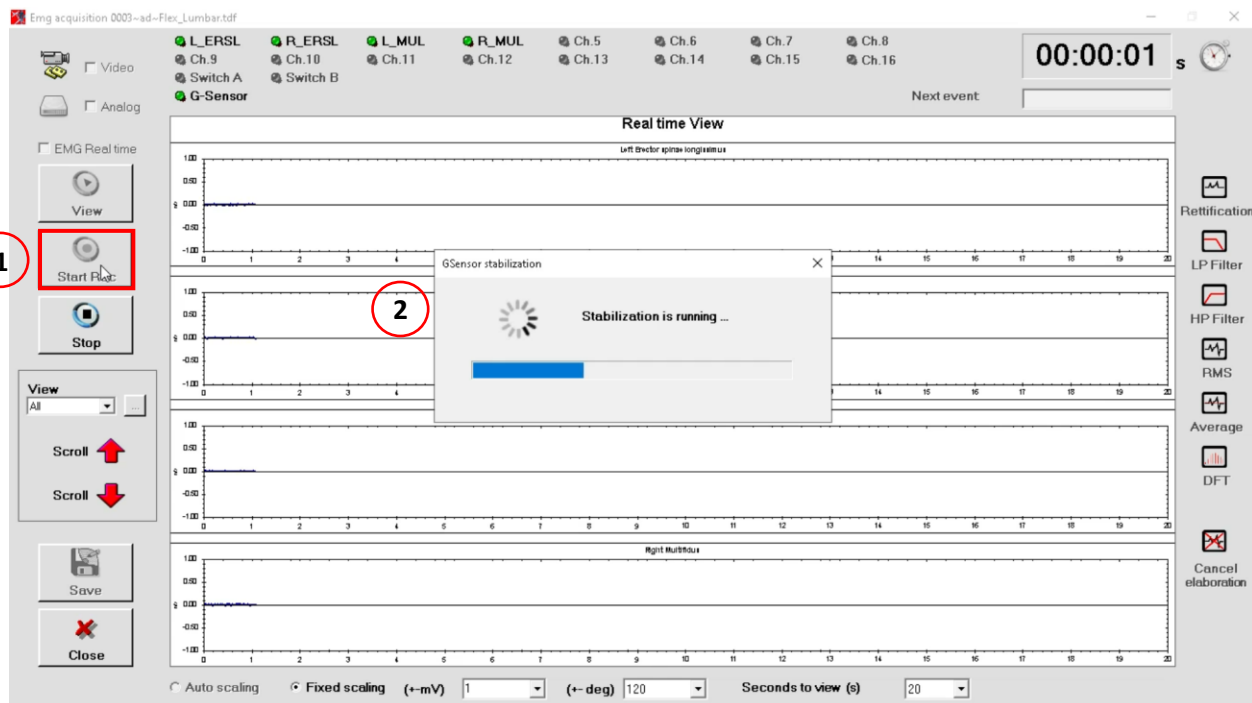


Fig. 21. Inicio de la estabilización del sensor inercial, cuando se cierre esta ventana, se podrá indicar al paciente que inicie la prueba.

Una vez que el paciente haya completado la repetición, se solicita que se mantenga en posición ortostática y seleccione detener la prueba. El programa iniciará el proceso de descarga de los datos desde las sondas EMGs hacia la computadora (Fig. 22).

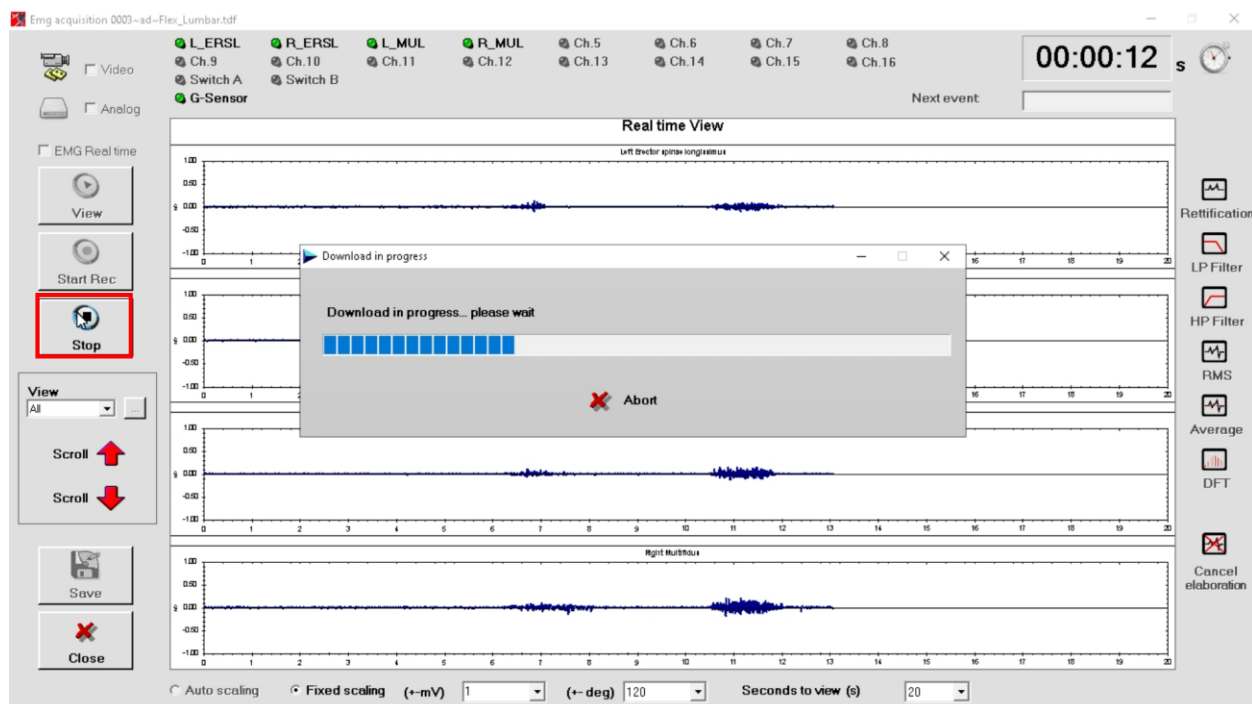


Fig. 22. Proceso de descarga de la información de las sondas y el sensor inercial a la computadora.

Se podrán observar en la pantalla la activación muscular del movimiento analizado. Una vez completada la descarga, seleccione guardar (Fig. 23).

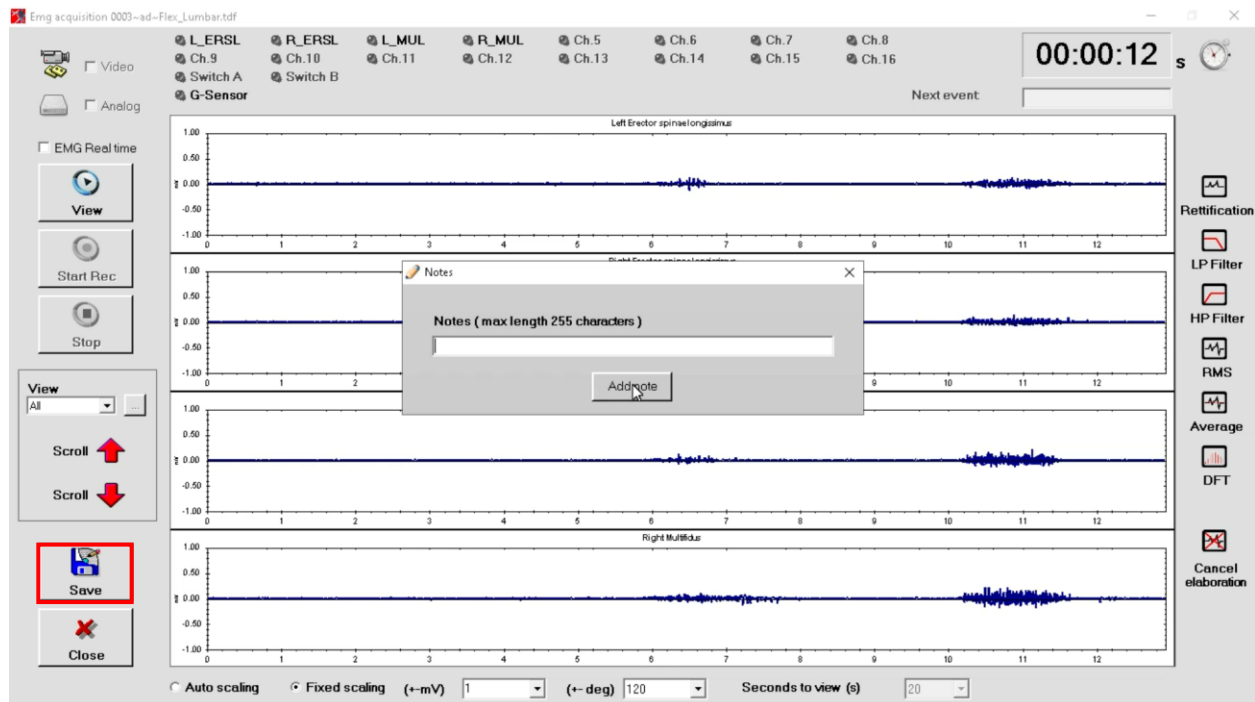


Fig. 23. Ventana donde se observa la actividad de los músculos.

Se repite el proceso para ejecutar una nueva flexión de tronco.

Etapas de creación del reporte.

11. 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. 24). Las capturas que se seleccionen aparecerán en la parte central de la pantalla (Indicado con 2 en la Fig. 24).
- d) Seleccionar el ícono del protocolo de flexión relajación. (Indicado con 3 en la Fig. 24).

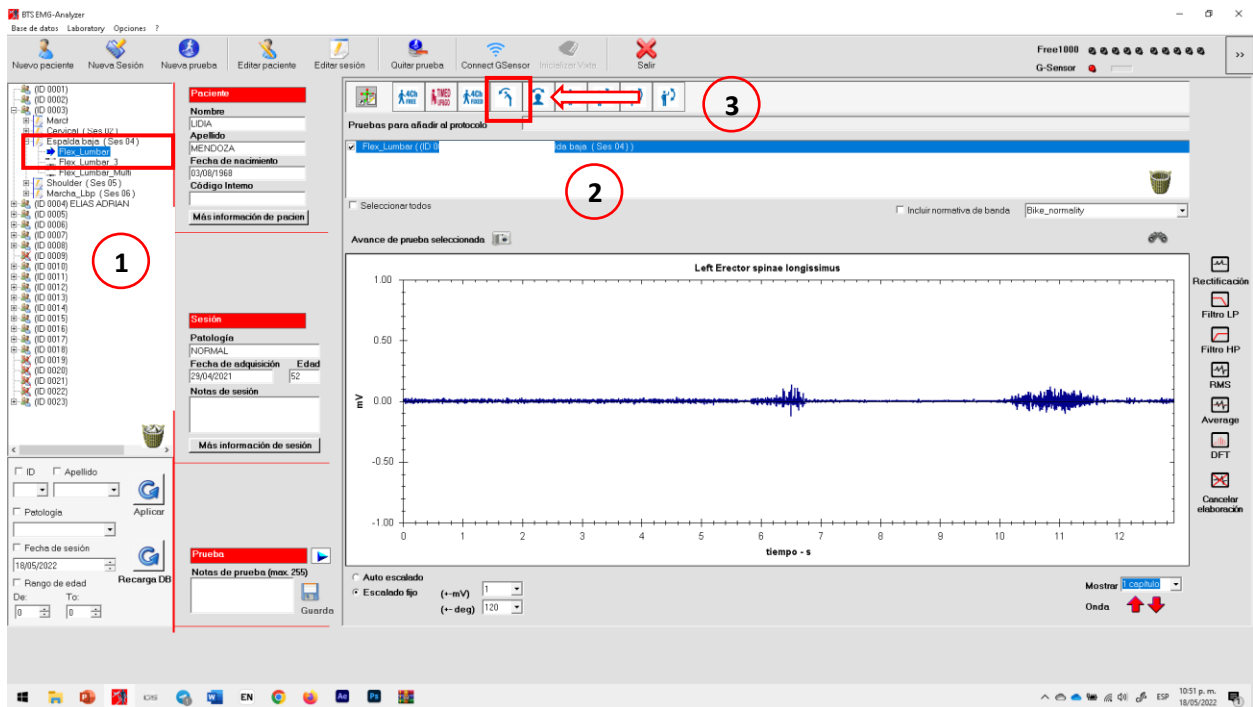


Fig. 24. Selección de las capturas para generar el reporte. Se debe seleccionar el ícono según sea el reporte por generar, en este caso es el de movilidad de cervical.

El programa inicia el proceso de generar el reporte que incluye los datos del movimiento de la cervical. 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.

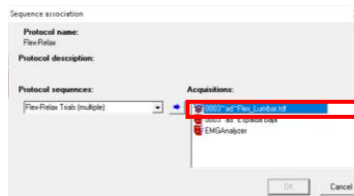


Fig. 25. Ventana para enlazar o vincular los datos necesarios para generar el reporte.

Luego se mostrarán una serie de ventanas para identificar los eventos del movimiento de la cervical, como el desplazamiento angular máximo, inicio, inversión o punto donde cambia de avance a regreso para cada brazo. La aplicación identifica de forma automática los eventos, pero ofrece la opción de modificarlos (Fig. 26). El reporte se generará y se podrá imprimir para su análisis.

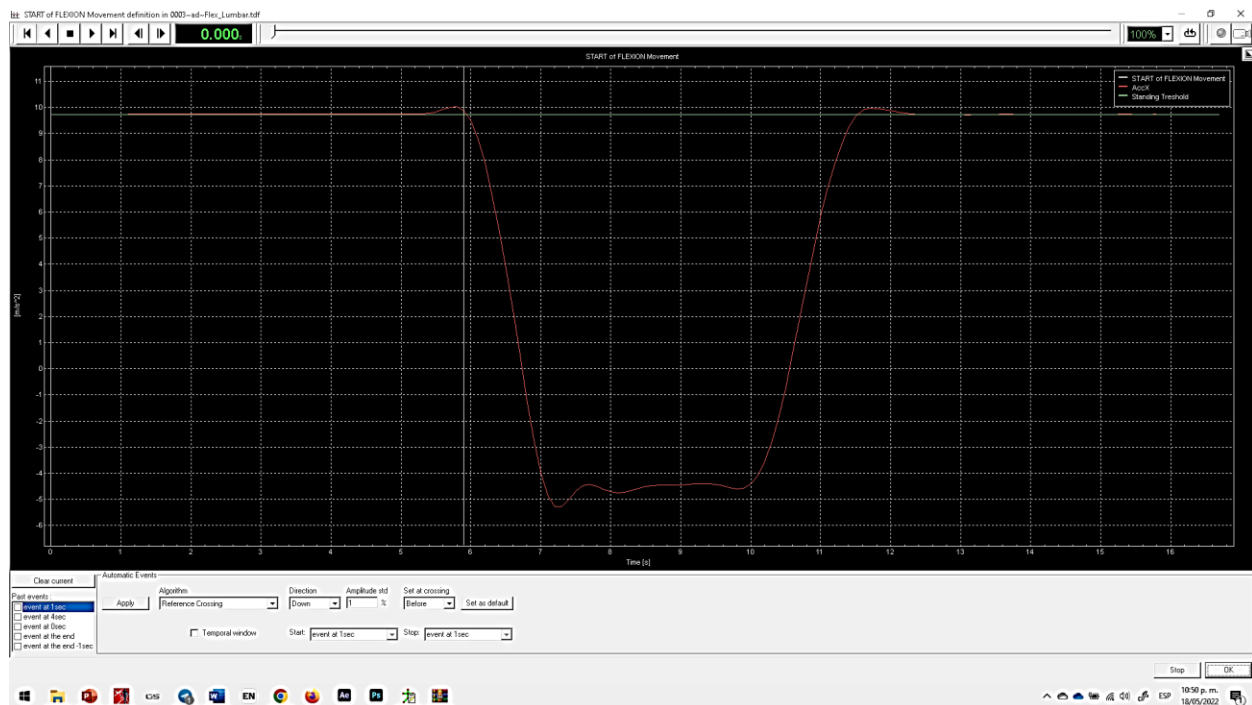


Fig. 26. Ventana para identificar los eventos del movimiento, en este caso es para identificar el inicio de la flexión. El programa identifica los eventos de forma automática.

Interpretación de la información del reporte:

Índice del fenómeno flexión-relajación (FRP):

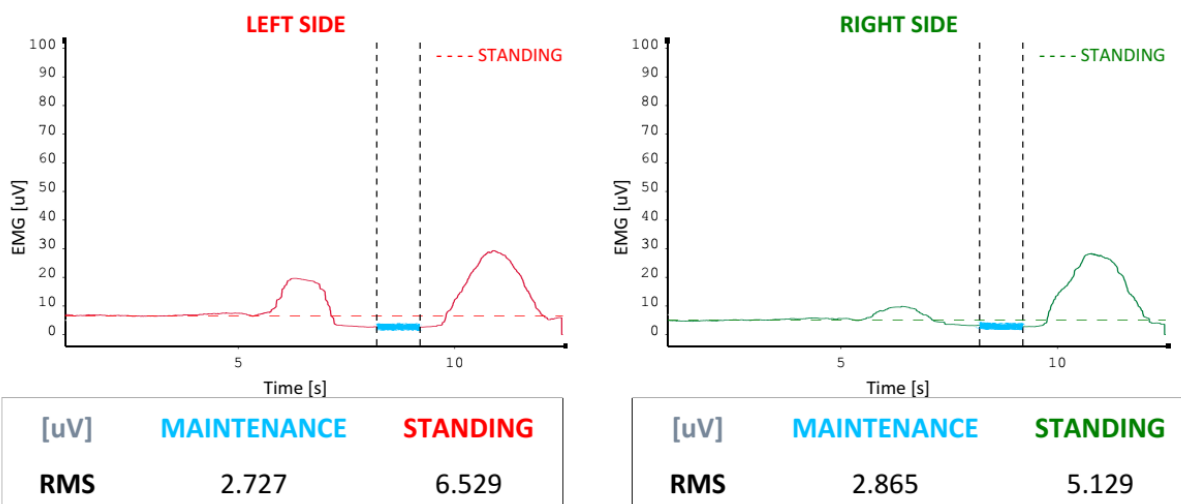
En la primera página se encuentra el índice del fenómeno de flexión relajación (FRP en inglés, Flexion Relaxation Phenomenon), que permite evaluar si se presenta correctamente el fenómeno de relajación de los músculos lumbares durante la fase de mantenimiento de la flexión anterior del tronco. Este índice expresa la energía residual (expresado como valor RMS) de los músculos lumbares durante la posición de flexión voluntaria máxima del tronco (fase de mantenimiento) respecto a la fase de bipedestación (fase ortostática inicial). El valor energético de la fase de mantenimiento debe ser inferior al de la fase de bipedestación, ya que se debe presentar un período de “silencio eléctrico” total a nivel de las fibras musculares en la fase de mantenimiento (Fig. 27).

La línea discontinua horizontal representa la actividad eléctrica en posición de bipedestación al inicio de la prueba. Las líneas discontinuas verticales indican la ventana de tiempo de la fase de flexión máxima voluntaria. El primer pico de la gráfica indica la contracción excéntrica de los músculos erectores cuando el tronco se flexiona hasta llegar a la flexión voluntaria máxima. El segundo pico indica la contracción concéntrica de los erectores de columna. Como se puede apreciar, el segundo pico es mayor que el primero. La actividad eléctrica entre las líneas verticales, resaltadas más gruesas en color azul, debe estar por debajo de la línea horizontal para que se cumpla el fenómeno flexión relajación (Fig. 27). En el ejemplo abordado, el músculo L4-L5 izquierdo no cumple el fenómeno de flexión relajación.

Si la línea azul más gruesa está por encima de la línea discontinua horizontal indica que los músculos se mantienen contraídos, aun cuando no deberían estarlo. Estar expuesto a esta condición durante un tiempo prolongado puede provocar el dolor en la región lumbar. Aunque la actividad electromiográfica

(EMG) media durante la flexión (contracción excéntrica) tiende a ser similar entre los participantes con dolor lumbar y los controles sanos, los pacientes con dolor lumbar tienden a mostrar una actividad EMG significativamente menor durante la extensión (contracción concéntrica).

ERECTOR SPINAE L1 - L2



ERECTOR SPINAE L4 - L5

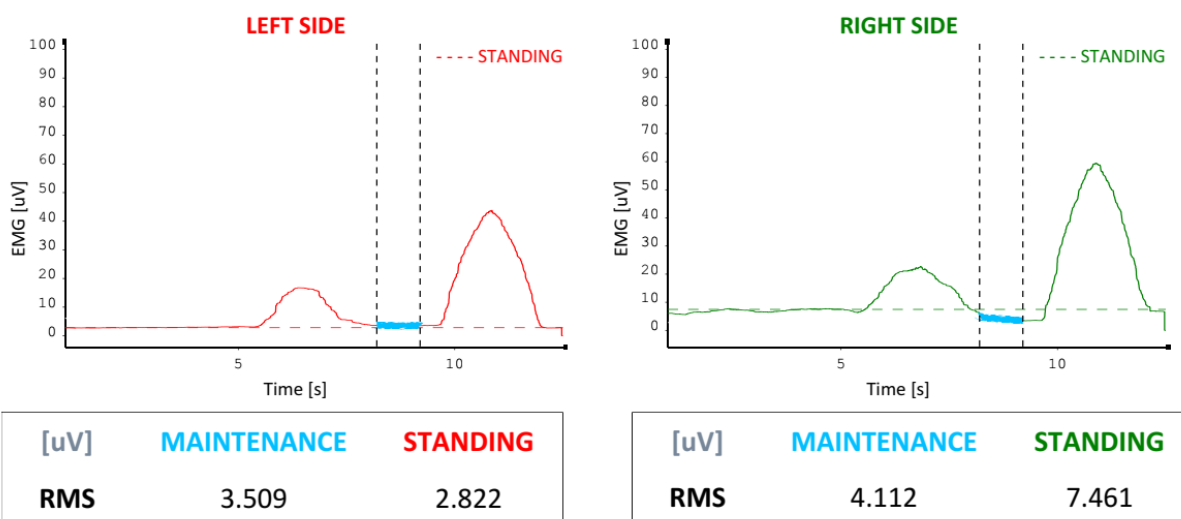


Fig. 27. Índice del fenómeno flexión relajación, en la fase mantenimiento debe ser inferior al de la fase de bipedestación, en este caso no se observa el fenómeno en el músculo L4-L5 de la izquierda, por lo que no deja de estar contraído cuando debería.

Índice relación flexión relajación:

El índice se calcula como la relación entre el valor energético (RMS) aportado por los músculos durante el movimiento de flexión anterior del tronco (línea azul oscuro más gruesa del primer pico, correspondiente a la contracción excéntrica) y la energía residual del músculo en la posición flexión voluntaria máxima (línea azul turquesa de la ventana de mantenimiento, del índice del fenómeno de flexión relajación) (Fig.

28). En los músculos erectores en L1-L2, el índice de relación flexión relajación debe ser al menos mayor que tres y para los músculos en L4 -L5 mayor que 7.

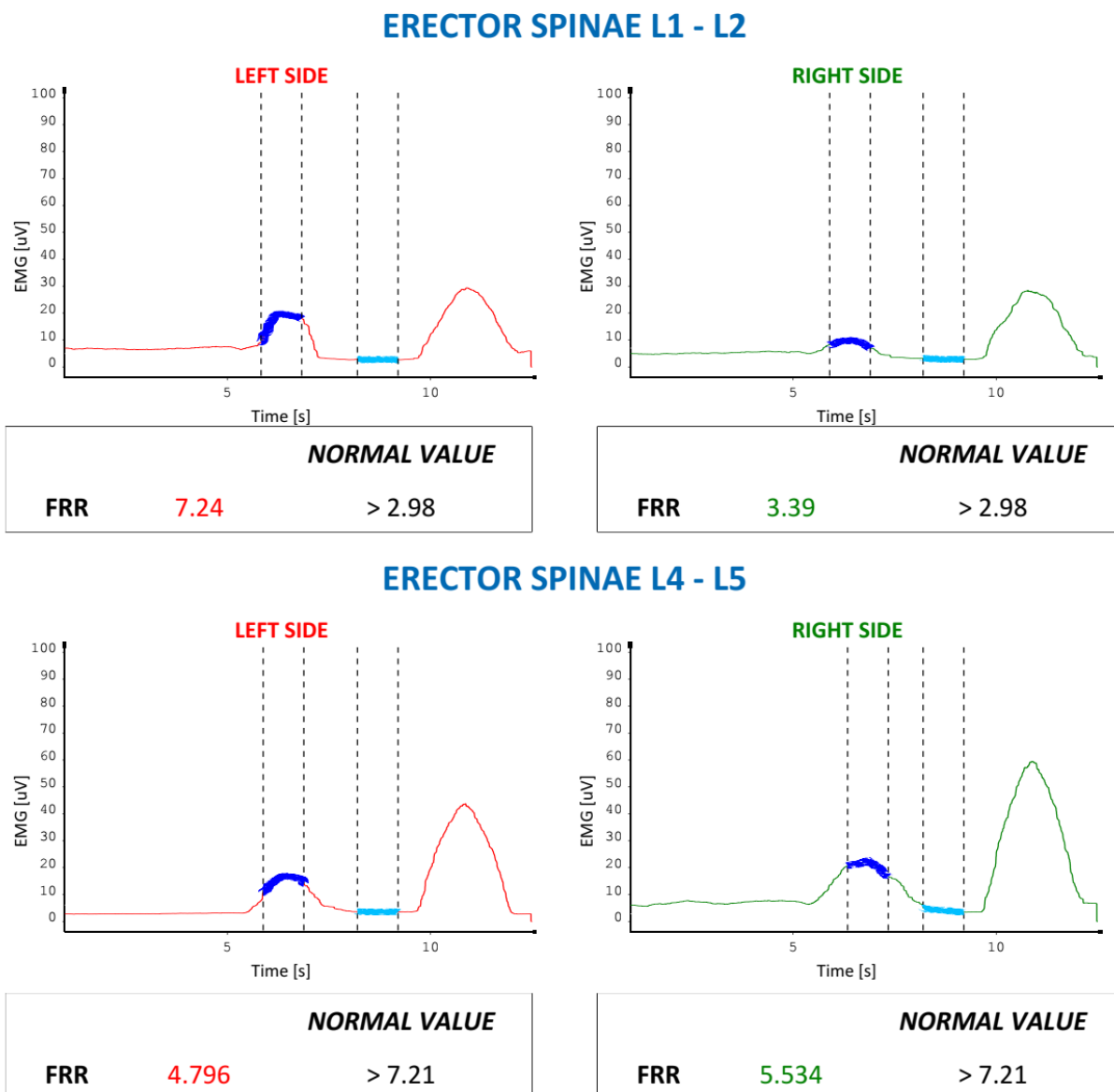


Fig. 28. Índice de relación flexión relajación, los músculos erectores en L4-L5 tienen dificultad para trabajar de modo excéntrico, además, el de la izquierda no se desactiva durante la fase de mantenimiento.

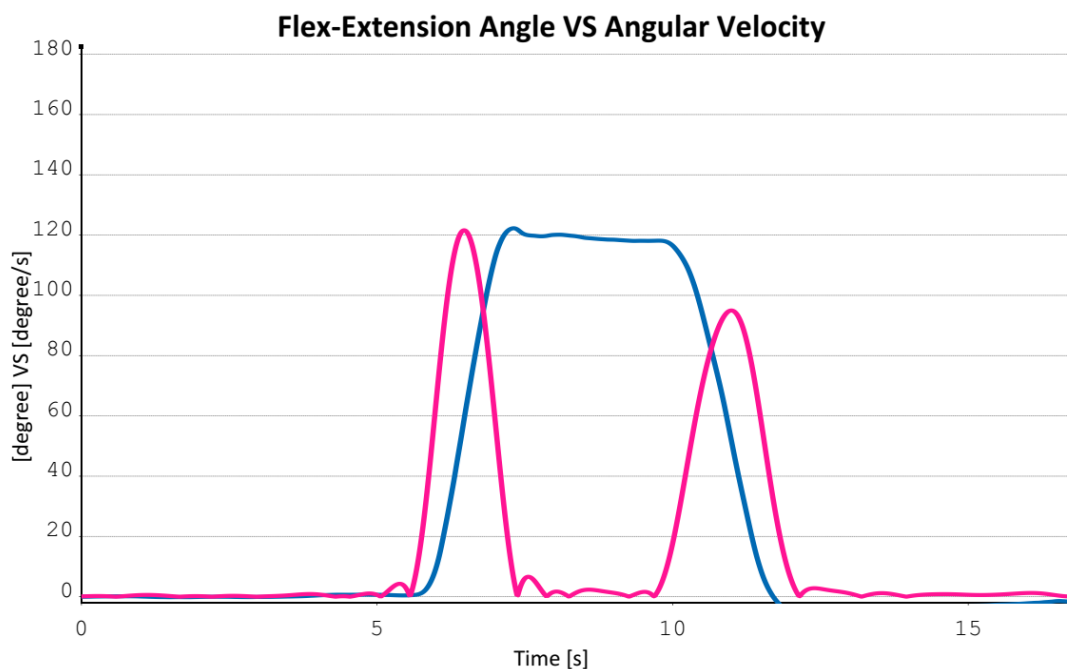
Una de las causas de que el índice esté por debajo del valor normal es que el índice del fenómeno de flexión relajación (FRP) sea alto y no se cumpla el fenómeno, entonces el aumento del valor de energía en el denominador reduce el valor del índice de relación flexión relajación y, por lo tanto, la causa es atribuible a la falla en detener el músculo que siempre permanece en contracción. Otra opción que puede observarse es que, a pesar de que el fenómeno de flexión relajación esté presente y el índice FRP sea normal, el índice sea menor que el valor normal porque la energía en la contracción excéntrica es baja,

por tanto, el músculo tiene dificultad para trabajar en modo excéntrico y para estirarse. En el caso de ejemplo, los músculos L4-L5 de la izquierda tienen el primer caso explicado, mientras que el de la derecha presentan la segunda situación (Fig. 28).

Cinemática del tronco:

Por último, se muestran las gráficas de la velocidad angular del tronco en la flexión anterior y el regreso a la posición de bipedestación, así como el desplazamiento angular y el control del paciente para mantener la posición de flexión voluntaria máxima. El primer pico representa la velocidad angular en la contracción excéntrica de los músculos, y el segundo pico la contracción concéntrica. En este caso, el paciente tiene una velocidad angular máxima en la flexión del tronco, y menor velocidad cuando los músculos realizan fuerza para extender el tronco en contra de la gravedad (Fig. 29). En este caso los movimientos no fueron muy suaves, las velocidades angulares son altas.

TRUNK KINEMATICS



The comparison between the Flex-Extension Angle and the Angular Velocity evaluates the subject capability of the trunk flexion ECCENTRIC control (first velocity peak) and the muscle CONCENTRIC activity to move up the trunk in extension against gravity (second velocity peak).

Peak of velocity during the Flexion phase [deg/s]:	121.596
Peak of velocity during the Extension phase [deg/s]:	94.981
Flexion Angle during the Manteinance phase [deg]:	118.79

Fig. 29. Variables cinemáticas de la flexión de tronco. La velocidad angular en la flexión fue mayor que en la extensión de tronco.

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. 30).

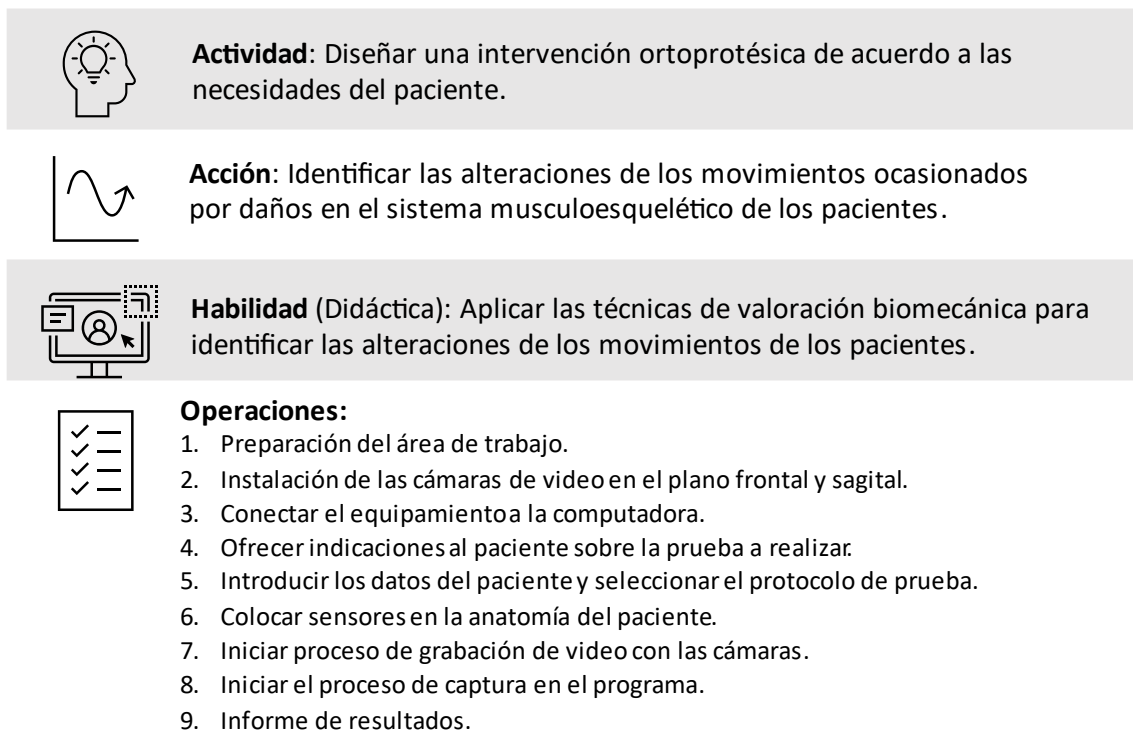


Fig. 30. Relación entre la actividad, acción, habilidades y operaciones para desarrollar las habilidades mediante la actividad práctica.

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. 31). 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.

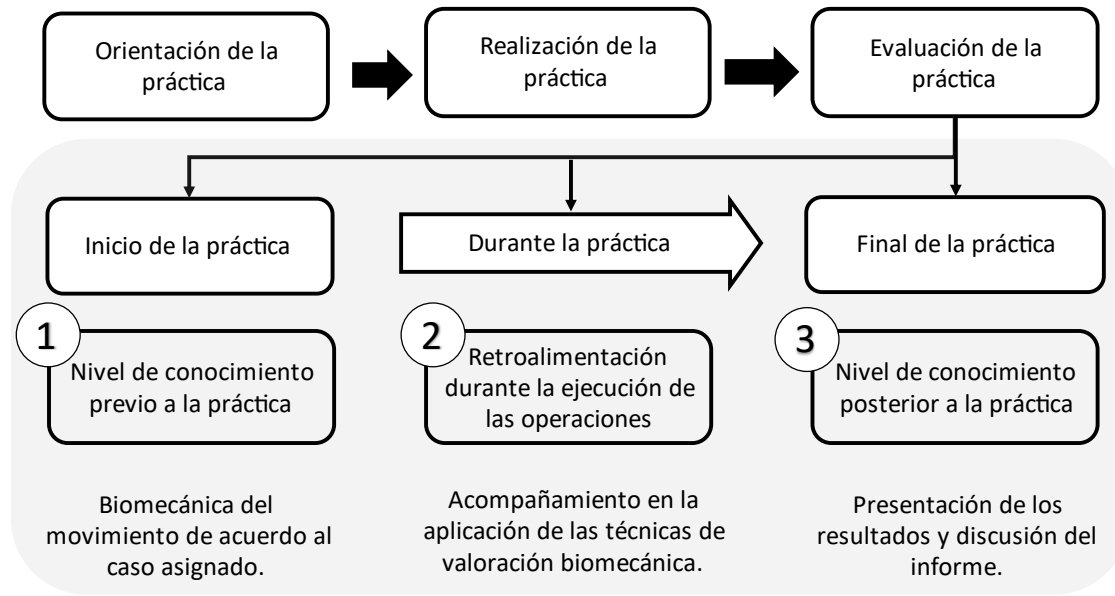


Fig. 31. Esquema de la evaluación del proceso de enseñanza-aprendizaje en tres momentos de la práctica.

Guía de la práctica.

Objetivo:

Identificar las alteraciones del movimiento del tronco provocadas por daños al sistema musculoesquelético mediante el empleo del sensor inercial y electromiografía.

Caso 1:

Paciente de 23 años, varón, bailarín profesional de ballet clásico y contemporáneo. Acude a fisioterapia con diagnóstico de una fractura del ángulo inferolateral derecho intrasustancia de L4 (cuarta vértebra lumbar) con edema óseo importante. Presenta como antecedentes lumbalgias de repetición asociadas al aumento considerable de las horas de entrenamiento diarias y comenzar a bailar, además de ballet clásico, danza contemporánea.

Presenta rectificación e inestabilidad cervical, dorso plano, lordosis diafragmática, rectificación lumbar. Inclínación izquierda a la flexión global de la columna para evitar el dolor por el choque de L4 con L5. Atrofia relativa de abdominales y musculatura de tren superior, incluido dorsal ancho. Hipertonía paravertebral lumbar (derecha ++), psoas ilíaco bilateral, musculatura pelvitrocantérea. Irritación de los ligamentos sacroilíacos e iliolumbares.

Caso 2:

Paciente masculino de 25 años. Trabaja como técnico de mantenimiento y acude a consulta presentando dolor a nivel lumbar que se acentúa al finalizar su jornada de trabajo. Tiene síntomas leves desde hace 6 meses, siendo estos mayores durante el último mes (tiempo que lleva trabajando). No ha recibido tratamiento médico ni fisioterapéutico.

Las principales tareas que el paciente realiza durante su jornada laboral son en bipedestación, se agacha en muchas ocasiones, sube y baja escaleras con frecuencia, realiza levantamientos de peso, transporte sobre carretilla elevadora, lo que supone a nivel biomecánico flexión y/o extensión de tronco, elevaciones de brazos, rotaciones de tronco y flexión de cadera y rodilla, entre otros. Afirma que en ocasiones al incorporarse después de realizar una flexión de tronco sufre pinchazos a nivel lumbar.

De la inspección física se observa un ligero aumento de lordosis fisiológica, escápulas aladas y pies en ligera rotación externa. Existe aumento del tono de la musculatura paravertebral, dolorosa a la palpación sobre todo en los segmentos L4-L5-S1, probablemente por una contracción muscular reactiva.

Caso 3:

Paciente masculino aparentemente sano de 38 años, que se presentó con dolor lumbar constante e incesante, con dolor punzante en la pierna izquierda desde el glúteo hasta el talón. También refirió la presencia de alfileres y agujas en el talón. Cualquier posición estática agravaba el dolor de espalda y piernas si se mantenía durante más de 15 minutos. Informó dificultad para dormir en las últimas 24 horas, pero no hubo diferencias significativas en el patrón de sus síntomas.

Presentó un episodio repentino de dolor en la región lumbar y en las piernas que comenzó hace 8 semanas. Informó una historia de 1-2 episodios de dolor lumbar localizado y dolor de pierna ocasional de bajo grado, pero nunca nada de esta magnitud.

Durante la exploración física fue incapaz de mantener una posición durante más de 1-2 minutos. Presenta movimientos restringidos y dolorosos en todos los planos, especialmente en flexión, que reproducen síntomas tanto en la espalda como en las piernas. Presenta sensibilidad local en las dos articulaciones distales de la columna lumbar (L4/L5), con espasmo muscular generalizado. La palpación de L4/L5 provocó síntomas en la pierna izquierda.

Si usted fuera a evaluar la flexión extensión de columna, indique:

- ¿Qué condiciones debe cumplir el lugar o laboratorio para realizar un examen?
- ¿Cuáles son los músculos que participan en la flexión y extensión de columna?
- ¿Cuál es el comportamiento esperado de la activación muscular en la flexión voluntaria máxima?
- ¿Cómo y con qué equipamiento se podría realizar una prueba objetiva de flexión extensión de columna?
- En la prueba de marcha con el sensor inercial y electromiografía, ¿cuáles son las variables espacio temporales que se podrán analizar? ¿Qué gráficas se pueden obtener en cuanto a la evaluación de los músculos?
- ¿Qué maniobras sugiere para identificar los músculos de la espalda que participan en la flexión extensión de tronco?

Instrumentos:

- Laptop con el sistema EMG-Analyzer.
- Sensor inercial G-Sensor.
- Cinturón.
- 4 canales de sondas electromiográficas.
- Bolsa de electrodos para sondas electromiográficas.
- Torundas o algodón.
- Alcohol grado medicinal.
- Dos cámaras de video y trípodes.

Técnica operatoria.

1. Preparación del área de trabajo.
2. Instalación de las cámaras de video en el final del recorrido y en lateral.
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 los electrodos con las sondas en el paciente.
7. Colocar el sensor inercial en el paciente.
8. Iniciar proceso de grabación de video con las cámaras.
9. Iniciar el proceso de captura.
10. 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.

- Alschuler, K. N., Neblett, R., Wiggert, E., Haig, A. J., & Geisser, M. E. (2009). Flexion-relaxation and Clinical Features Associated With Chronic Low Back Pain: A Comparison of Different Methods of Quantifying Flexion-relaxation. *The Clinical Journal of Pain*, 25(9), 760-766. <https://doi.org/10.1097/AJP.0b013e3181b56db6>
- Clark, S., & Horton, R. (2018). Low back pain: a major global challenge. *The Lancet*, 391(10137), 2302-2302. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)30725-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)30725-6)
- 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>
- Fong, D. T.-P., & Chan, Y.-Y. (2010). The Use of Wearable Inertial Motion Sensors in Human Lower Limb Biomechanics Studies: A Systematic Review. *Sensors*, 10(12), 11556-11565. <https://www.mdpi.com/1424-8220/10/12/11556>
- Gouteron, A., Tabard-Fougère, A., Bourredjem, A., Casillas, J.-M., Armand, S., & Genevay, S. (2021). The flexion relaxation phenomenon in nonspecific chronic low back pain: prevalence, reproducibility and flexion-extension ratios. A systematic review and meta-analysis. *European Spine Journal*. <https://doi.org/10.1007/s00586-021-06992-0>
- 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>
- Kim, C.-h., Gwak, G.-t., & Kwon, O.-y. (2017). Comparison of the flexion-relaxation ratio of the hamstring muscle and lumbopelvic kinematics during forward bending in subjects with different hamstring muscle flexibility. *Physical Therapy Korea*, 24(4), 1-10. <https://doi.org/10.12674/ptk.2017.24.4.001>
- López-Nava, I. H., & Muñoz-Meléndez, A. (2016). Wearable Inertial Sensors for Human Motion Analysis: A Review. *IEEE Sensors Journal*, 16(22), 7821-7834. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2016.2609392>
- 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>
- 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>
- Rose-Dulcina, K., Genevay, S., Dominguez, D., Armand, S., & Vuillerme, N. (2020). Flexion-Relaxation Ratio Asymmetry and Its Relation With Trunk Lateral ROM in Individuals With and Without Chronic Nonspecific Low Back Pain. *Spine*, 45(1), e1-e9. <https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000003196>
- Zawadka, M., Skublewska-Paszkowska, M., Gawda, P., Lukasik, E., Smolka, J., & Jablonski, M. (2018). What factors can affect lumbopelvic flexion-extension motion in the sagittal plane?: A literature review. *Human Movement Science*, 58, 205-218. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.humov.2018.02.008>