



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES
UNIDAD JURIQUELLA

FACULTAD DE INGENIERÍA

Prueba de valoración biomecánica de la **movilidad del hombro 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 la movilidad del hombro 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. Avenida Universidad 3000, Coyoacán, Ciudad de México, 04510.



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 5.

ISBN Volumen: 978-607-30-9217-3.

Diseño de portada: Lic. Ana Karen Valadez Rodríguez.

Agradecimientos:

Trabajo realizado con el apoyo del Programa UNAM-DGAPA-PAPIME PE100121.

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
Alteraciones en el hombro.....	2
Exploración física del hombro:	3
Tecnología disponible para el estudio de la biomecánica de los movimientos.....	4
Sensor inercial y electromiografía de superficie.....	4
Prueba de Movilidad del hombro.	6
Etapas de preparación.....	7
1. Preparación del área de trabajo.....	7
2. Instalación de las cámaras de video en el plano frontal y sagital del paciente.....	7
3. Conectar el equipamiento a la computadora.....	7
4. Ofrecer indicaciones del paciente sobre la prueba a realizar.....	9
5. Introducir los datos del paciente y seleccionar el protocolo de prueba.....	10
6. Colocar los electrodos con las sondas en el paciente.....	13
7. Colocar el sensor inercial al paciente.....	15
Etapas de captura.....	15
8. Iniciar proceso de grabación de video con las cámaras.....	16
9. Iniciar el proceso de captura.....	16
Etapas de creación del reporte.....	19
10. Generar el reporte.....	19
Interpretación de la información del reporte:	21
Indicaciones para la aplicación del protocolo en las clases prácticas.....	26
Referencias.....	30

Introducción.

Los seres humanos realizan sus actividades gracias a la movilidad de sus segmentos corporales, para ello, dependen entre otros, de sus articulaciones y de los topes articulares que estabilizan, protegen y limitan los rangos de movimiento. Esta movilidad permite a las personas llevar a cabo sus actividades de la vida diaria de una manera autónoma y eficiente, desde actividades personales como bañarse, vestirse, alimentarse, actividades de traslado como conducir, sujetarse, tomar un transporte, hasta actividades laborales que conllevan la realización de movimientos donde se involucran las diferentes estructuras de la extremidad superior, y de manera preponderante la articulación del hombro (Greenberg, 2014; Lindgren et al., 2018; Oosterwijk et al., 2018).

El hombro puede entenderse como la articulación más compleja del cuerpo humano, en gran parte por su configuración de cinco articulaciones que forman la cintura escapular: tres verdaderas (Glenohumeral, Esternoclavicular y Acromioclavicular) y dos falsas (Coracoclavicular y Escapulotorácica) (Soo Hoo, 2019). Los movimientos del hombro se describen como la flexión y extensión, la abducción y aducción, la rotación interna y externa y la circunducción (Gill et al., 2020).

El protocolo de movilidad del hombro con el sensor inercial y electromiografía permite realizar un análisis rápido, preciso y sencillo de los movimientos mencionados en el párrafo anterior. Los datos resultantes de la prueba garantizan un análisis objetivo de los gestos motores y los resultados de la terapia seleccionada. Es posible obtener la estrategia motora que adopta el paciente, como es el reclutamiento muscular para verificar si el paciente tiene una buena coordinación y simetría 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 los parámetros cinemáticos (Vásquez-Ucho et al., 2021).

En este protocolo se pueden obtener los desplazamientos angulares, la primera derivada del desplazamiento angular (velocidad angular), la segunda derivada (aceleración angular) y tercera derivada (índice de Jerk o suavidad de los movimientos). El protocolo permite comparar ambas extremidades superiores. Rufo et al. (2021) realizó una comparación de la actividad muscular en personas con y sin dolor de hombro durante la tarea de abducción en el deltoides anterior, deltoides medio, trapecio superior y trapecio medio, concluyó que el dolor provocó cambios significativos en la actividad del deltoides medio y anterior. No se reporta la actividad de los músculos estabilizadores de la articulación.

Este manual se orienta a fortalecer el aprendizaje de la valoración biomecánica de la movilidad del hombro. 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 movilidad del hombro 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.

Alteraciones en el hombro.

La Asociación para el Estudio de la Osteosíntesis (AO) y la Academia Americana de Cirujanos Ortopedistas (AAOS) han definido que esta configuración de articulaciones permite una amplitud o rango de movimiento (ROM) de 180° para la flexión, 60° de extensión, 180° de abducción, 40° de aducción y hasta 90° de rotación interna y externa (Gill et al., 2020)(Fig. 1). Por su parte Namdari et al. (2012) definieron el ROM del hombro requeridos para realizar las 10 tareas funcionales, estos fueron $121^\circ \pm 6,7^\circ$ de flexión, $46^\circ \pm 5,3^\circ$ de extensión, $128^\circ \pm 7,9^\circ$ de abducción, $116^\circ \pm 9,1^\circ$ flexión horizontal medido desde el plano coronal, $59^\circ \pm 10^\circ$ de rotación externa con el brazo a 90° en abducción, y $102^\circ \pm 7,7^\circ$ rotación interna con el brazo al costado.

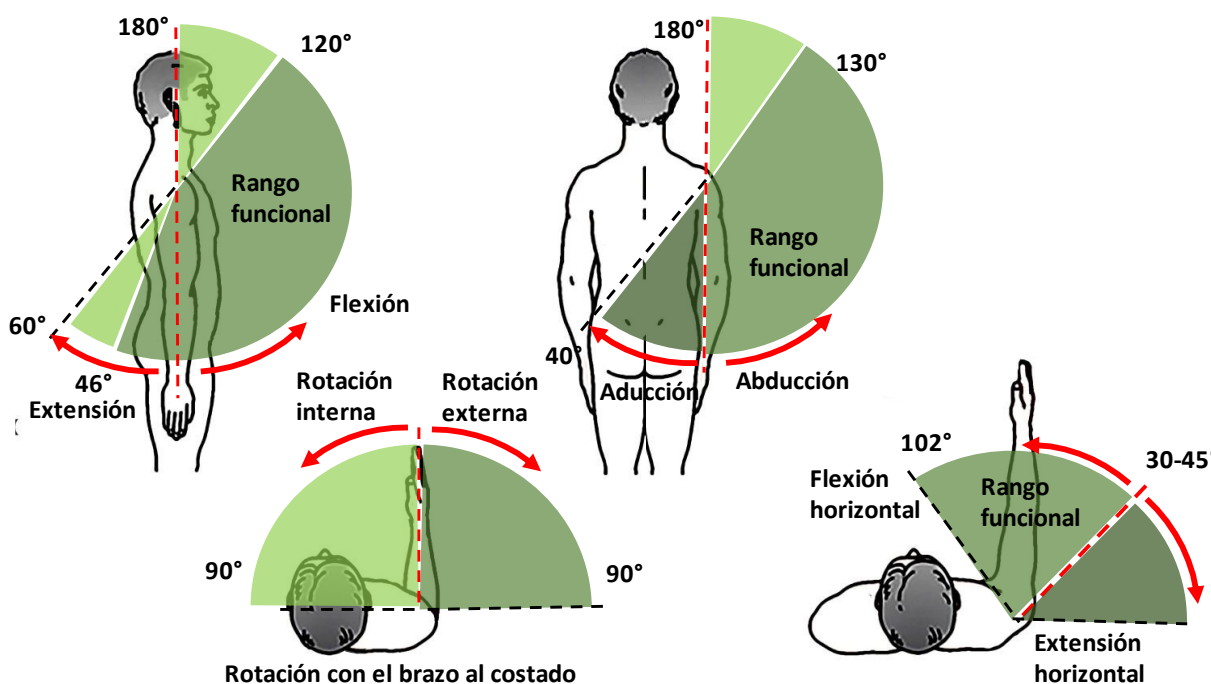


Fig. 1. Rangos de movimiento del hombro según la Academia Americana de Cirujanos Ortopedistas y valores funcionales de movimiento según Namdari et al. (2012).

El cuidado del hombro es imprescindible para que la persona tenga una adecuada funcionalidad. Las alteraciones como el dolor de hombro representan la tercera causa de dolores musculoesqueléticos, solo superados por dolores de columna vertebral y de rodilla. El 66% de las personas presentan dolor de hombro, se presenta un pico de incidencia en personas mayores 45 años (Hodgetts et al., 2021). Algunas alteraciones que se pueden encontrar en el complejo del hombro y de acuerdo con las estructuras afectadas son:

- De origen tendinoso:
 - Tendinopatía Supraespinoso
 - Tendinopatía Subescapular
 - Tendinopatía Infraespinoso
- De origen musculares:
 - Puntos gatillo activos (dolorosos)

- Contracturas
- Acortamiento
- Desgarro o esguince
- Otras lesiones:
 - Fractura
 - Síndrome Subacromial
 - Calcificaciones

Exploración física del hombro:

Una de las etapas más importante en la atención de pacientes con alteraciones motoras de hombro es la identificación de sus causas. La exploración física es la etapa clínica y terapéutica clave. A partir de la anamnesis, la inspección, la palpación y la valoración funcional del paciente se puede formular un diagnóstico preciso y orientar el tratamiento (Bakhsh & Nicandri, 2018).

Anamnesis.

La anamnesis como base de la atención al igual que en las diversas patologías, permite identificar el motivo de la consulta, la historia de la enfermedad, los antecedentes, el tratamiento en curso y el modo de vida. Información como los síntomas del paciente, su edad, tiempo que ha vivido con los trastornos y su evolución orientan el diagnóstico. Además, el conocimiento sobre sus actividades de profesión, deporte o las actividades de tiempo libre, la extremidad dominante y el lado afectado, proporcionan datos complementarios. En general, a partir de la anamnesis es posible definir con el paciente las expectativas y los objetivos terapéuticos.

Hábitus externo.

Una vez realizada la entrevista con el paciente, es necesario hacer una inspección general de su estado físico donde se obtendrá información sobre su estado de conciencia, hidratación, coloración y dependiendo de la lesión, podrá inspeccionarse la zona lesionada, buscando alteraciones anatómicas que indiquen algún proceso.

Valoración del paciente.

Una vez iniciada la exploración física es importante observar la autonomía funcional del hombro afectado, para esto, es indispensable solicitar al paciente que, en medida de sus posibilidades, realice los movimientos normales, esto nos permitirá detectar de primer momento, si el paciente tiene una deficiencia que le impida lograr ejecutar los rangos de movimiento del hombro.

Palpación.

La palpación es un proceso que debe de hacerse de manera cuidadosa para evitar agravar el estado del paciente, así como realizarse en dos formas, una palpación superficial que permitirá delimitar la zona afectada, detectar cambios cutáneos, relieves anatómicos o aumento de temperatura local, mientras que la palpación profunda permitirá realizar la búsqueda de puntos dolorosos, contracturas musculares, entre otras afectaciones.

Movilidad pasiva.

Una vez explorada la autonomía funcional del hombro y realizado una palpación, es importante realizar una movilidad pasiva que nos permita conocer de manera más específica, la movilidad que guarda la articulación, así como detectar los probables topes patológicos que se presenten (es importante precisar que, en sospecha de una fractura de hombro o lesión mayor de la extremidad, no se deberá realizar ninguna maniobra de exploración y el paciente deberá ser referido al área de urgencias)

Pruebas tendinosas

Es fundamental valorar de la manera más analítica posible todos los músculos del hombro.

- Infraespinoso
- Porción larga del bíceps
- Deltoides
- Trapecio superior
- Subescapular
- Supraespinoso

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

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 este, 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 la 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. 2a).

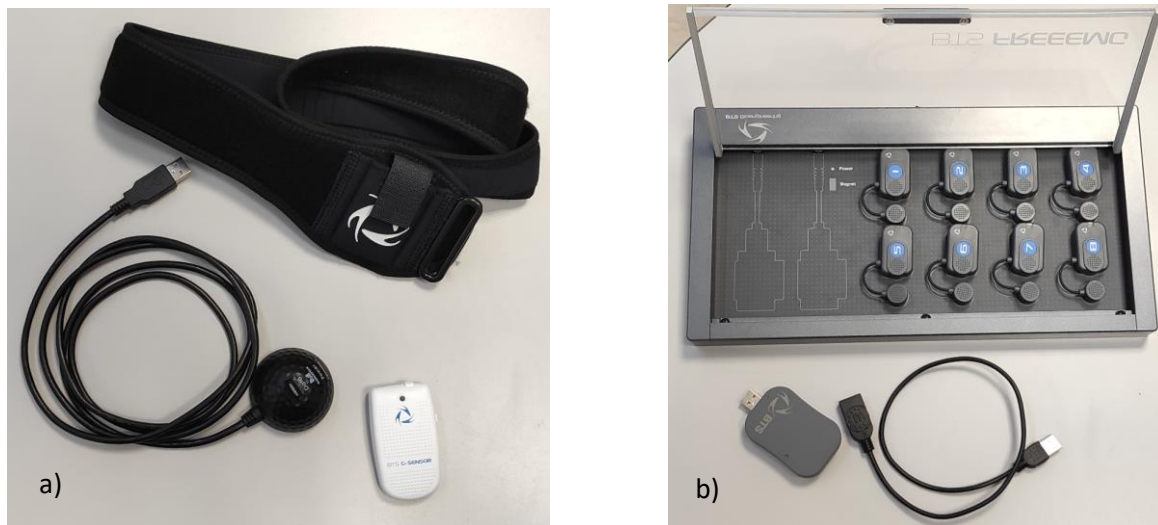


Fig. 2. Equipamiento para el análisis de la movilidad del hombro: a) Sensor inercial G-Sensor con antena USD con cable de extensión cable y correa de sujeción, b) sondas electromiográficas FreeEMG en su estación de carga, antena USB y cable de extensión.

El FREEEMG 1000 de BTS Bioengineering es una tecnología avanzada para el análisis electromiográfico de superficie (Fig. 2b). 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. 3).

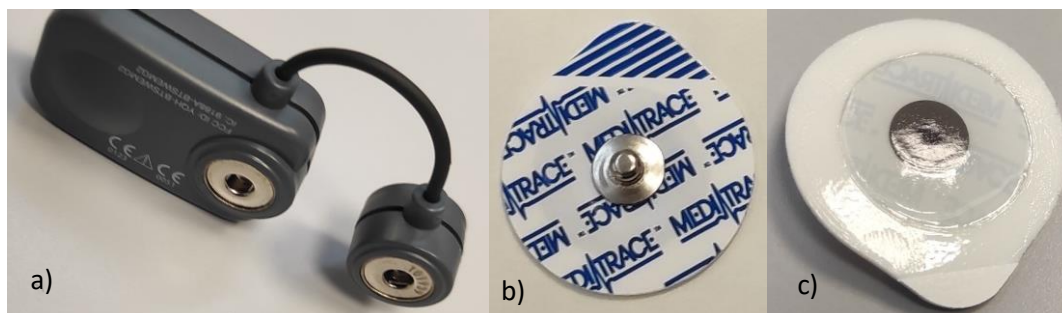


Fig. 3. Sistema de unión entre las sondas y los electrodos pre-gelificados. a) broche macho en las sondas, b) broche hembra en el electrodo, c) superficie pre-gelificada con el electrodo en la parte central del área circular.

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 Movilidad del hombro.

El protocolo de movilidad del hombro permite realizar un análisis rápido, preciso y sencillo del movimiento de flexión, abducción y rotación del hombro. Los datos resultantes del ensayo garantizan un análisis objetivo de las habilidades motoras y los resultados de la terapia seleccionada. Es posible verificar si el paciente tiene una buena coordinación y simetría del movimiento o en cambio sí, debido a trastornos neurológicos u ortopédicos, sus movimientos están comprometidos y alterados que no permiten alcanzar el rango de movilidad o los parámetros cinemáticos.

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

- Movilidad en la abducción
- Movilidad en la flexión

- Movilidad en la rotación:

Variables espacio temporales:

- Rango de movimiento del hombro para ambos brazos.
- Relación entre el desplazamiento y la velocidad angulares para ambos brazos.
- Índice de suavidad de movimiento o promedio de Jerk.
- Velocidad angular para ambos brazos.
- Contribución y coordinación muscular de ambos brazos.

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 de pie o sentado con espacio suficiente para realizar los tres movimientos: abducción, flexión y rotación.

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 hombro 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. 4a) 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. 4a). La luz del indicador LED blanco comenzará a parpadear, indicando que está prendido.

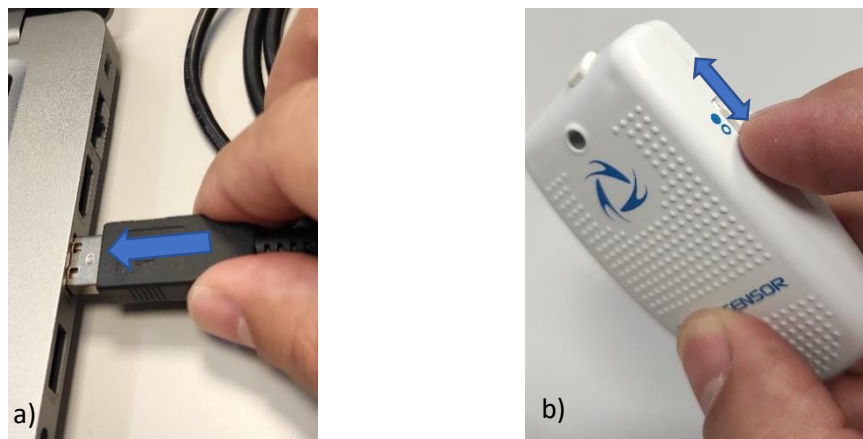


Fig. 4. Conexión de la antena al puesto USB de la computadora y encendido del sensor inercial.

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

Abrir el programa EMG Analyzer 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. 6).

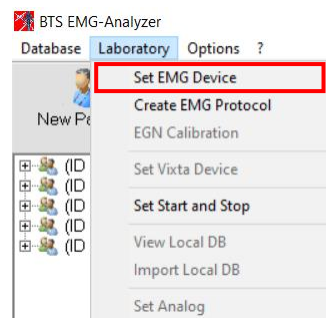


Fig. 6. Ventana para la activación del sensor inercial.

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 izquierda. Posteriormente haga clic en *Update* antes de cerrar la ventana (Fig. 7).



Fig. 7. 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. 8).



Fig. 8. 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 abducción, flexión y rotación.

La flexión consiste en elevar la extremidad desde el costado del cuerpo hasta llegar a los 180°, subiendo la extremidad hacia delante o hacia el frente. Debe descender por la misma trayectoria. Se parte con la extremidad estirada relajado al costado del cuerpo y la palma de la mano deberá estar orientada hacia la línea media del cuerpo y deberá cuidar esta orientación de la mano durante el movimiento de avance y regreso. Los movimientos debe realizarlos a una velocidad natural. El codo debe permanecer extendido.

La abducción consiste en elevar la extremidad desde el costado del cuerpo hasta alcanzar un desplazamiento angular de 180°, despegando la extremidad desde la línea media del cuerpo en dirección lateral. Posteriormente descenderá la extremidad siguiendo la misma trayectoria de la elevación. Se parte con la extremidad estirada relajado al costado del cuerpo y la palma de la mano deberá estar orientada

hacia el interior y deberá cuidar esta orientación de la mano durante el movimiento de avance y regreso. Los movimientos debe realizarlos a una velocidad natural. La articulación de codo debe permanecer extendida.

Para realizar la rotación, se coloca la extremidad en abducción a 90° respecto al tronco, posición que mantendrá durante toda la prueba. El antebrazo se flexiona hacia delante en posición horizontal con el suelo, formando un ángulo de 90° con la extremidad. Desde esta posición inicial, se gira el antebrazo hacia atrás hasta alcanzar los 90° o una posición que no le cause dolor y se regresa a la posición neutra. Los movimientos los deberá realizar a una velocidad angular que no le cause molestia y hasta la posición que pueda.

Al inicio de la prueba, para cada movimiento, usted debe permanecer inmóvil durante unos segundos, debido a que se necesita que el sensor que tiene colocado en el brazo se estabilice. Cuando este proceso haya concluido, se le indicará que puede iniciar el movimiento. Realizará 5 repeticiones en cada brazo.

A usted se le colocará el sensor inercial por medio de un cinturón elástico, abrazando el brazo inmediatamente después del codo. Se le colocarán cuatro pares de electrodos de superficie pre-gelificados sobre el deltoides anterior (para los movimientos de flexión) o deltoides medio (para la abducción y rotación), trapecio descendente, infraespinoso y porción larga del bíceps para los tres movimientos.

Antes de la colocación del electrodo, la piel donde se ubicarán los electrodos deberá estar preferentemente rasurados, limpiar con alcohol al 5% y con un papel abrasivo suave para reducir la impedancia de la piel, siguiendo las recomendaciones de las directrices para el empleo de electromiografía de superficie para la evaluación no invasiva de los músculos (SENIAM).

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

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

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

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. 9).



Fig. 9. 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. 10).

Fig. 10. Ventana para capturar los datos del paciente.

Una vez definido el paciente, se agregará a la base de datos.

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 cual hay que seleccionar primero el paciente para definir la sesión de trabajo. Luego, en la barra de herramientas, seleccione definir nueva sesión (Fig. 11).



Fig. 11. Opción de creación de la sesión de trabajo, que servirá para ordenar los estudios, se 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. 12).



Fig. 12. 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. 13).

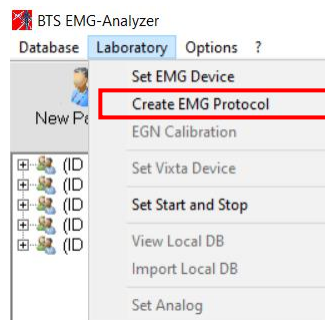


Fig. 13. Ventana para la selección del protocolo.

Aparecerá una ventana, en la que se listan todos los protocolos disponibles. Para la valoración del hombro se estudian los movimientos de flexión, abducción y rotación externa y es necesario seleccionar el protocolo que corresponda al movimiento. En este caso, el programa ofrece dos protocolos para la flexión del hombro derecho e izquierdo (SHOULDER_FLEX_4RT.pro y SHOULDER_FLEX_4LT.pro) y para la Abducción y rotación del hombro derecho e izquierdo (SHOULDER_ABD_ROT_4RT.pro y SHOULDER_ABD_ROT_4LF.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. 14).

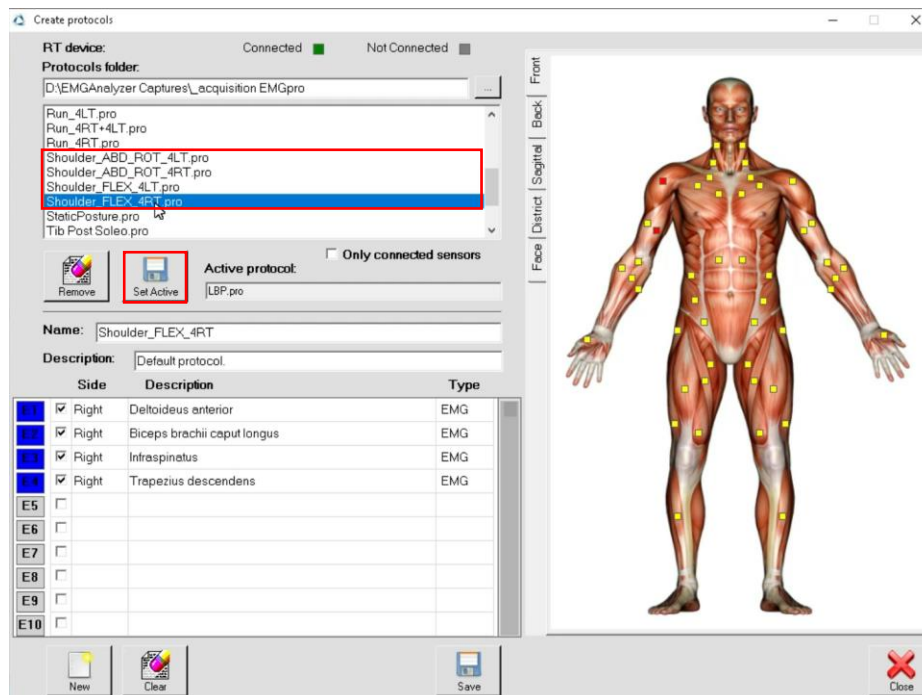


Fig. 14. Ventana para activar el protocolo seleccionado. En esta venta se listan los músculos que se deben colocar los electrodos y las sondas.

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

Las sondas deberán estar cargadas. Se prenderán las sondas pasándolas por el magneto de la caja del equipo. La luz led de la sonda comenzará a parpadear. Luego abroche las sondas en los electrodos. Identifique los músculos a evaluar, en el protocolo para flexión y rotación se evalúan los músculos deltoides anterior o medio, porción larga del bíceps braquial, infraespinoso y el trapecio descendente. En la ventana del programa se indican los músculos (Fig. 14). Se debe tener especial cuidado de que el número de las sondas corresponda con el músculo a estudiar. Por ejemplo, la sonda 1 (E1) es asignada al deltoides anterior para el protocolo de flexión, mientras que en la prueba de abducción y rotación la sonda 1 se asigna al Deltoides medio. En la parte 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 la contracción muscular. Puede servir de guía donde colocar los electrodos. La separación entre los electrodos de la parte madre y satelital debe ser entre 2 a 3 cm (Fig. 15).

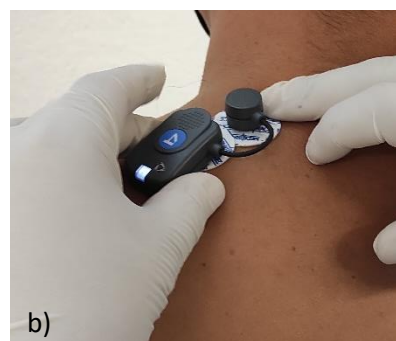


Fig. 15. La separación entre los electrodos de la parte madre y satelital debe ser entre 2 a 3 cm.
Colocación de electrodos en: a) Deltoides anterior, b) Trapecio descendente.

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

Deltoides anterior.

Para localizar este músculo, se solicitará al examinado (paciente) que realice la acción de elevar la extremidad hacia el frente logrando al menos 45° grados de flexión de hombro, en seguida, el evaluador aplicará una fuerza de presión sobre el tercio distal del humero o brazo tratando de regresarlo a la posición inicial, (solicitar al paciente que haga fuerza para resistir la presión evitando que el examinador mueva su brazo. El músculo deltoides se activará durante esta acción la cual podrá ser observable y palpable en la zona frontal del hombro (ubicación de la masa muscular del deltoides anterior) Una vez ubicado el músculo, el electrodo madre se coloca en dirección vertical y debajo del electrodo satélite.

Deltoides medio.

En el caso de la aplicación del protocolo para la valoración de la abducción y la rotación, se cambia el electrodo del deltoides anterior al deltoides medio, en este sentido la porción medial se ubica en la cara lateral del húmero, su palpación y activación se observan solicitando al examinado/paciente que realice una elevación lateral de la extremidad al menos de 45° y hasta 90°, el examinador aplicara presión sobre el tercio distal de la extremidad en sentido del cuerpo, el examinado/paciente resistirá esta fuerza evitando que la extremidad se mueva. El electrodo satelital se coloca hacia arriba.

Porción larga del Bíceps Braquial.

La porción larga del bíceps tiene su inserción en el tubérculo superior de la cavidad glenoidea (donde se articula la porción de la cabeza del húmero), para su exploración y localización, se solicita al examinado/paciente que realice una flexión de codo a 90° con una ligera rotación externa de brazo (esto con el fin de lograr el máximo aislamiento del movimiento), el examinador aplicará una fuerza de presión contra el tercio medio del antebrazo intentando extender el codo. Solicitar al examinado/paciente, no permita que se realice el movimiento. La activación del musculo podrá ser visible y palpable en la cara anterior y lateral de la extremidad. Los electrodos se colocan alineados con las fibras del músculo, con el electrodo satélite en la parte superior.

Infraespinoso.

Para localizar el músculo infraespinoso hay que recordar que, de acuerdo con su nombre, este se ubica en la cara posterior e inferior a la espina de la escápula cubriendo prácticamente los dos tercios mediales de esta estructura, su inserción se ubica en el tubérculo mayor del humero, por lo que apoya en la rotación lateral/externa de la articulación del hombro además de apoyar en la estabilización de esta articulación. Para evaluar u observar su activación, se solicitará al examinado/paciente que realice una abducción de 90° de hombro, una flexión de 90° de codo y una rotación lateral/externa, el examinador aplicará una fuerza en sentido contrario a la rotación externa sobre el tercio medio del antebrazo, el paciente procurará una resistencia a la presión. Al observarse o palpase la activación sobre la escapula, se coloca el sensor orientado hacia la articulación glenohumeral cuidando que el electrodo satélite se ubique hacia el hombro.

Trapecio fibras superiores o descendentes

El músculo trapecio es una estructura grande, la cual abarca dos tercios de la espalda, sin embargo, para localizar la porción superior o descendente (útil para la evaluación de este protocolo) el examinador tan solo debe palpar en la zona posterior del cuello (bajo la nuca) y seguir en un trayecto diagonal hacia el tercio distal de la clavícula (en dirección del hombro), los electrodos se colocan aproximadamente en la mitad de la distancia entre el hombro y el cuello, con el electrodo satélite hacia el cuello.

7. Colocar el sensor inercial al paciente.

Primero inserte el sensor en el bolsillo de la correa. El logo de BTS del sensor debe quedar apuntando hacia la parte externa de la correa, con el indicador de luz del sensor parpadeando.

El sensor se ubica en la parte superior del codo por arriba de los epicondilos, en la parte lateral del brazo.

Identifique la posición anatómica antes mencionada y coloque, bien ajustada (cuidando el flujo sanguíneo) la correa, con el sensor centrado sobre el húmero. Garantice que el sensor no se mueva y que el paciente no sienta una sensación de compresión en la zona.



Fig. 16. Colocación de electrodos y sensor inercial en la extremidad izquierda, para la prueba de flexión.
Sonda E1 en el Deltoides anterior.

Etapas de captura.

8. Iniciar proceso de grabación de video con las cámaras

Rectificar que tengan suficiente espacio para grabar la prueba.

9. Iniciar el proceso de captura.

Rectificar que el protocolo activo corresponde con el de flexión, abducción o rotación según corresponda.

Rectificar que la numeración de las sondas corresponde con las del protocolo seleccionado y con el lado de la extremidad a analizar. Seleccionar adquirir una nueva prueba. Para ello se selecciona la opción New Trial.



Fig. 17. Opción para definir una nueva prueba.

Aparecerá una ventana en la que el programa solicitará el nombre de la prueba. Es recomendable identificar la prueba de acuerdo con el protocolo y el lado de la extremidad, por ejemplo: FLEX_DER. Es importante revisar que la casilla *G-Sensor events* se encuentre desactivada. Luego, seleccione Adquirir para iniciar la captura (Fig. 18).

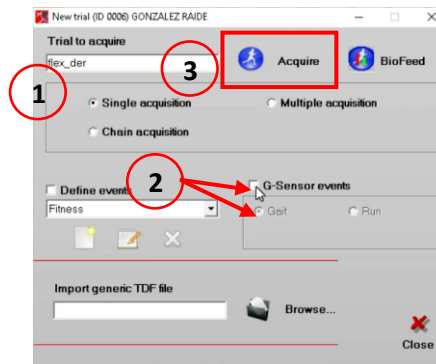


Fig. 18. Ventana para nombrar la captura, debe estar desactivado el sensor inercial, con la casilla en blanco sin la palomita. La captura iniciará al dar clic en *Acquire*.

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 hombro que corresponde al protocolo para que se activen los músculos (Fig. 19).

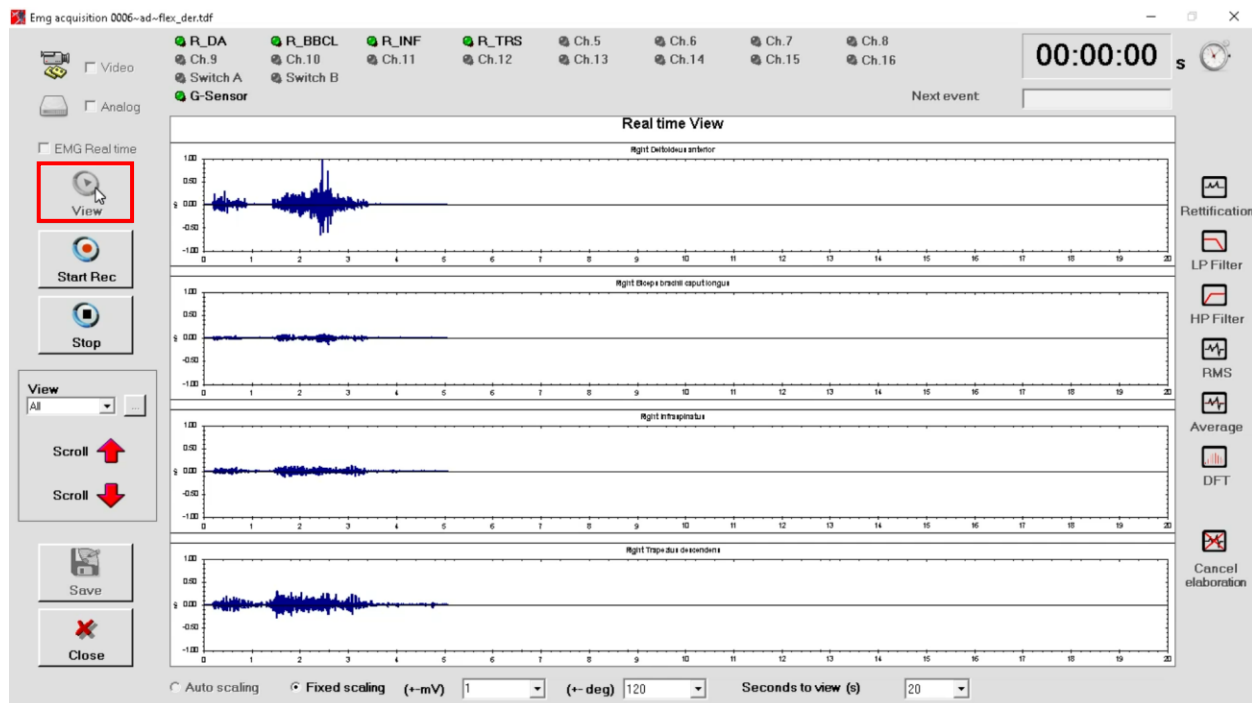


Fig. 19. Visualización de la actividad muscular antes de comenzar la prueba.

Para iniciar la captura, el programa requerirá estabilizar el sensor. Por tanto, es necesario indicar al paciente que se coloque en posición ortostática hasta terminar la estabilización y cuando este proceso termine, indique al paciente que puede comenzar la prueba (Fig. 20).

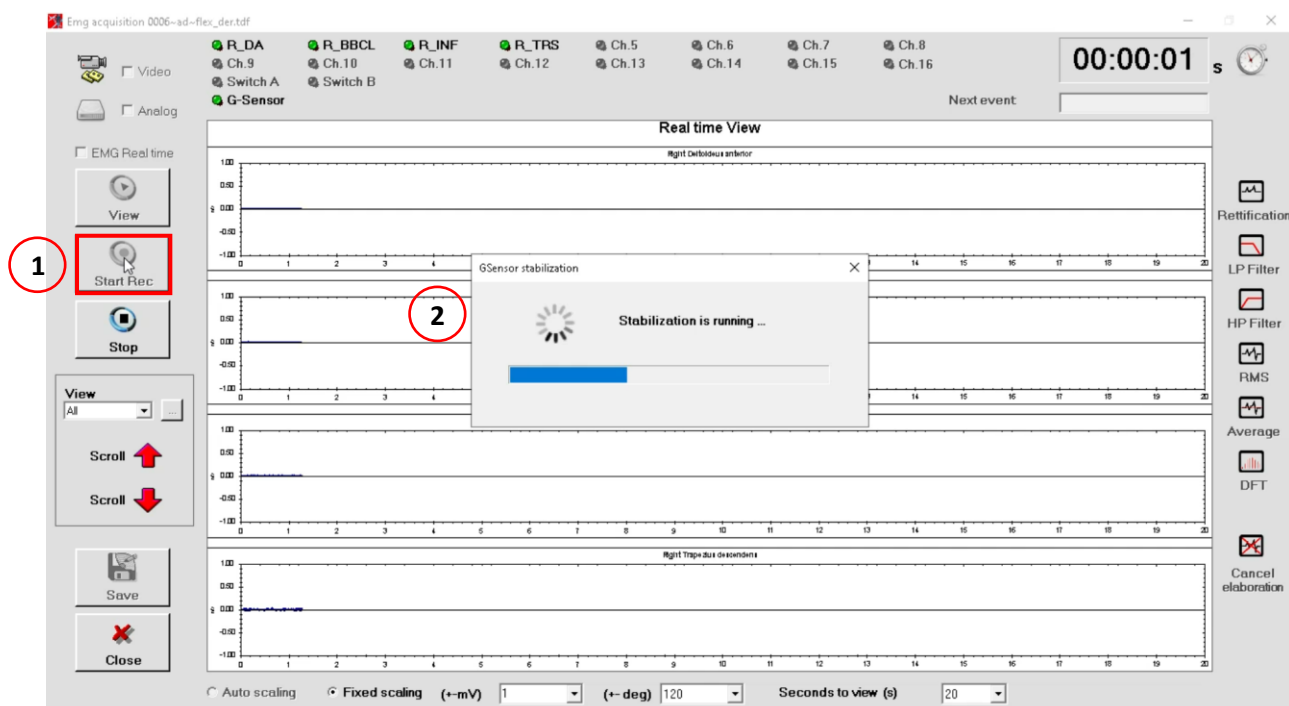


Fig. 20. Inicio de la estabilización del sensor inercial, cuando se cierre esta ventana, se podrá indicar al paciente que inicie la prueba.

Una vez que el paciente haya completado las 5 repeticiones como mínimo, 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. 21).

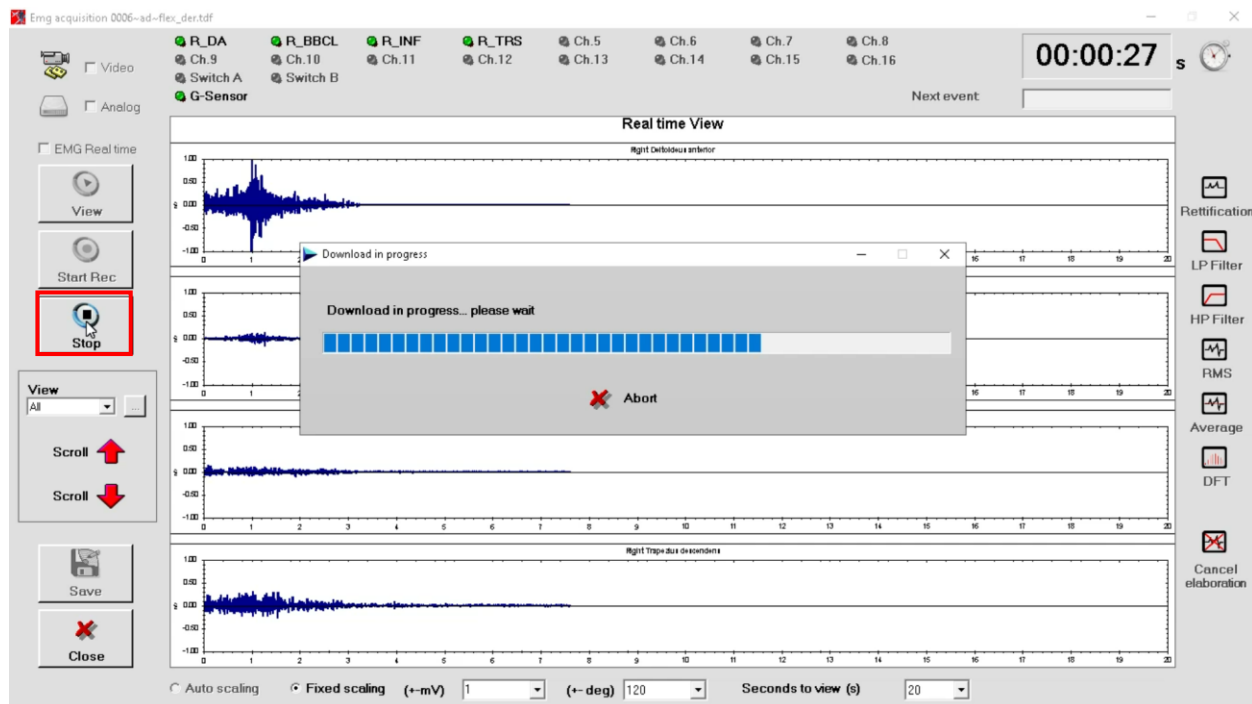


Fig. 21. Proceso de descarga de la información de las sondas y el sensor inercial a la computadora.

Se podrán observar en la pantalla la activación muscular del movimiento analizado. Una vez completada la descarga, seleccione guardar (Fig. 22).

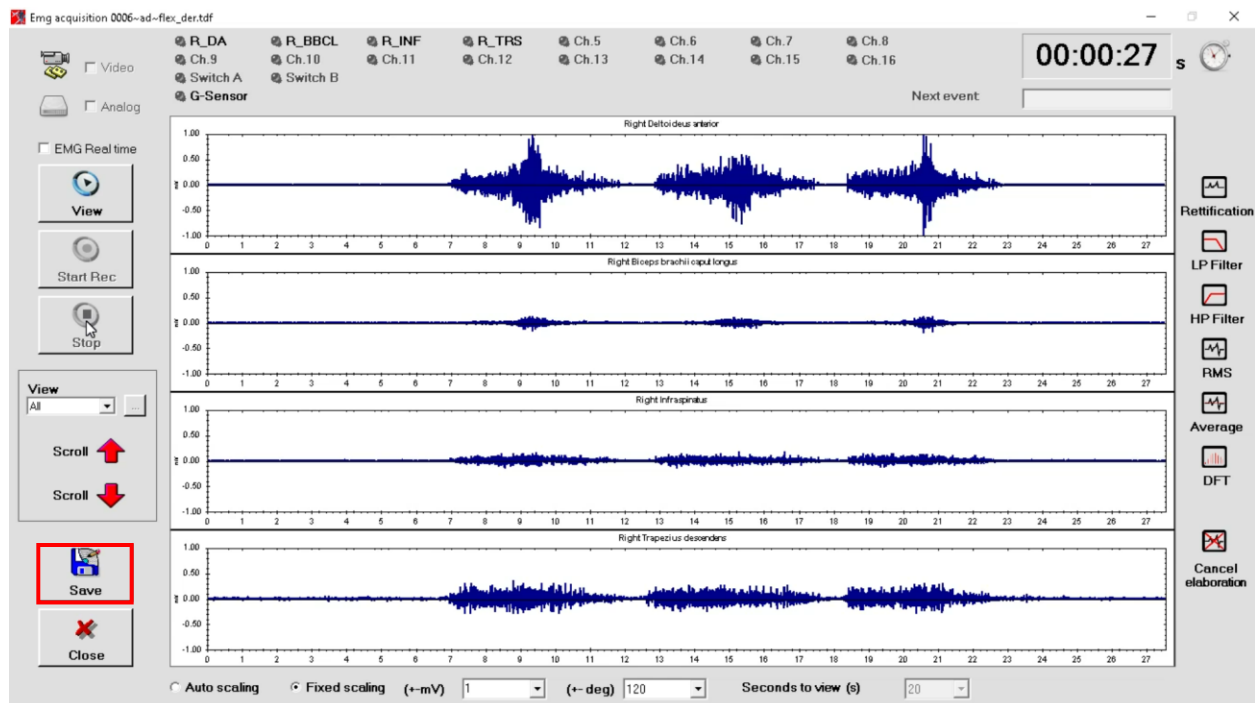


Fig. 22. Ventana donde se observa la actividad de los músculos.

Se deben tomar capturas de movimiento para ambas extremidades para poder establecer la comparación entre las variables espacio temporales, la suavidad, la contribución y coordinación muscular.

Se repite el proceso para cada movimiento y para cada extremidad superior.

Etapa de creación del reporte.

10. 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:

- Seleccionar el paciente.
- Seleccionar la sesión en la que se grabaron los movimientos.
- Activar las pruebas al hacer doble clic sobre las capturas que se quieren incluir (Indicado con 1 de la Fig. 23). Las capturas que se seleccionen aparecerán en la parte central de la pantalla (Indicado con 2 en la Fig. 23).
- Seleccionar el ícono del protocolo de flexión, abducción o rotación según corresponda al movimiento que se quiere analizar (Indicado con 3 en la Fig. 23).
- Realizar las mismas acciones (a-d) para los demás movimientos.

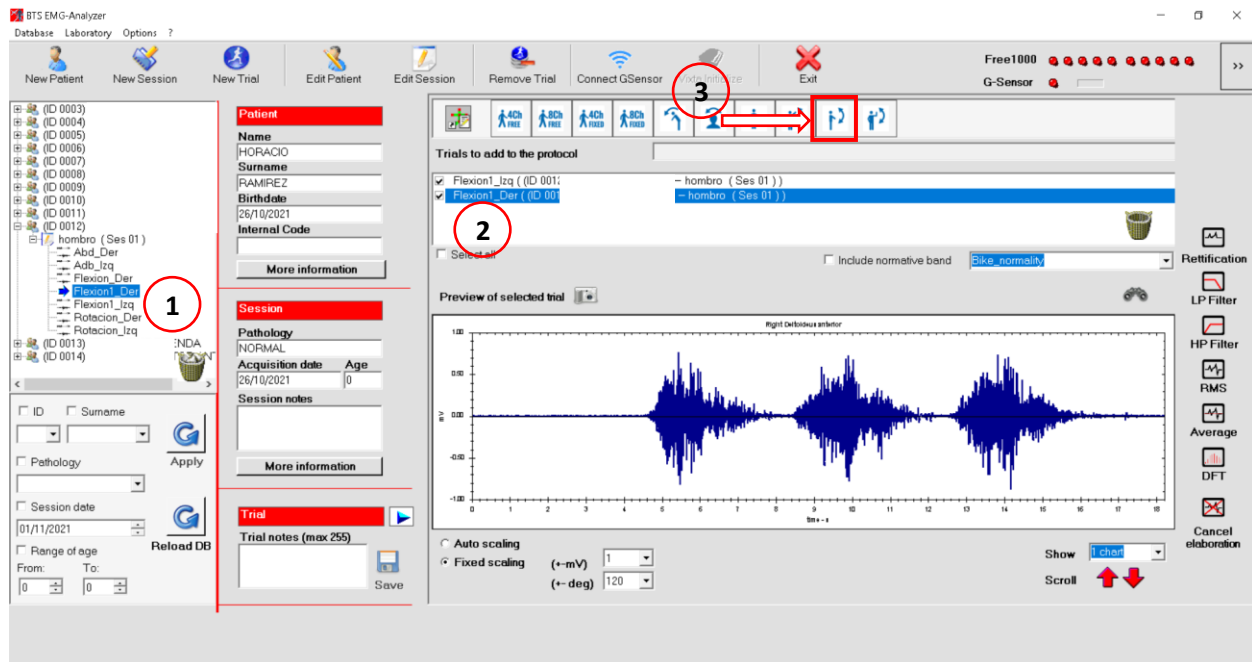


Fig. 23. Selección de las capturas para generar el reporte. Se debe seleccionar el ícono según sea el reporte por generar, en este caso es flexión de hombro.

El programa inicia el proceso de generar el reporte que incluye los datos del movimiento del hombro, según protocolo seleccionado. 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.

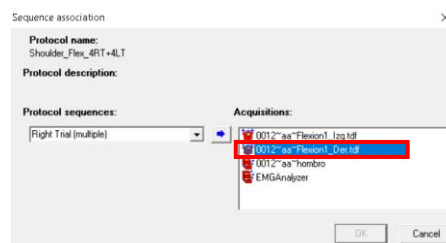


Fig. 24. Ventana para enlazar o vincular los datos necesarios para generar el reporte.

Luego aparecerán una serie de ventanas para identificar los eventos del hombro, 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. 25). El reporte se generará y se podrá imprimir para su análisis.

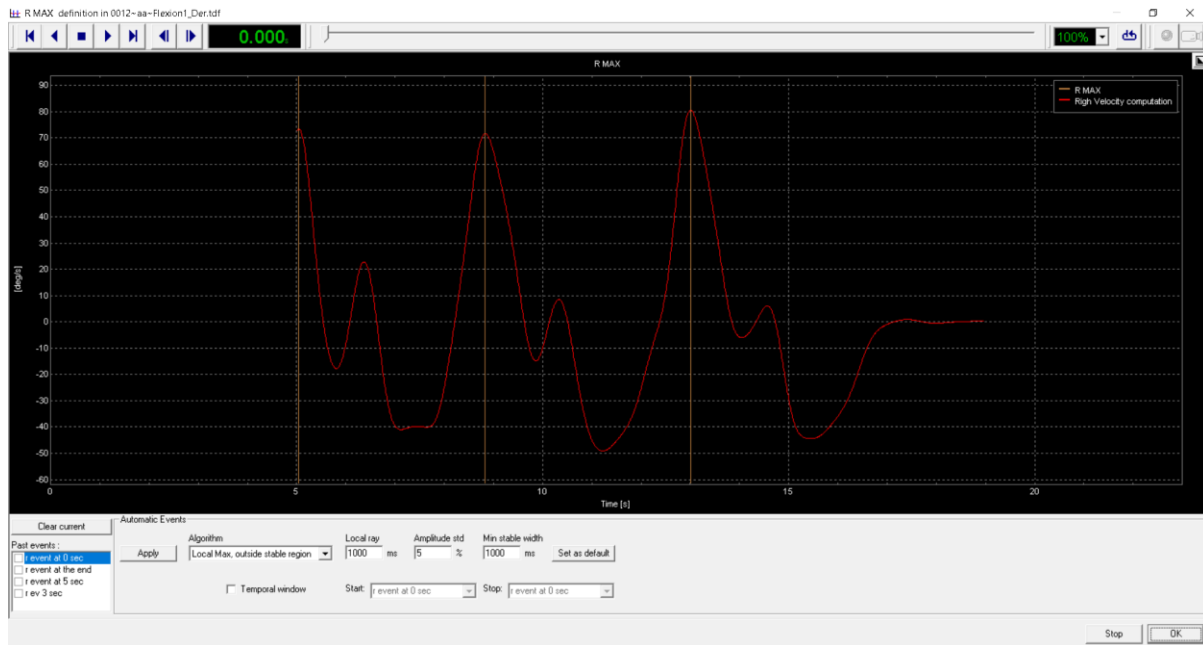


Fig. 25. Ventana para identificar los eventos del movimiento, en este caso es para la flexión de hombro. El programa identifica los eventos de forma automática.

Interpretación de la información del reporte:

Reporte para la flexión de hombro.

Cinemática del hombro: Rango de movimiento:

El reporte muestra el rango de movimiento de cada brazo (Fig. 26). Se identifica la extremidad derecha con color verde y el izquierdo con el rojo. La línea continua gruesa representa el ciclo promedio y la desviación estándar se representa por la banda del mismo color. El eje horizontal indica el porcentaje del ciclo de movimiento y el eje vertical el valor del ángulo en grados. El aumento del ángulo identifica un movimiento de flexión, mientras que una reducción en el valor angular identifica un movimiento de extensión. Los valores negativos se asocian con hiperextensión de la extremidad.

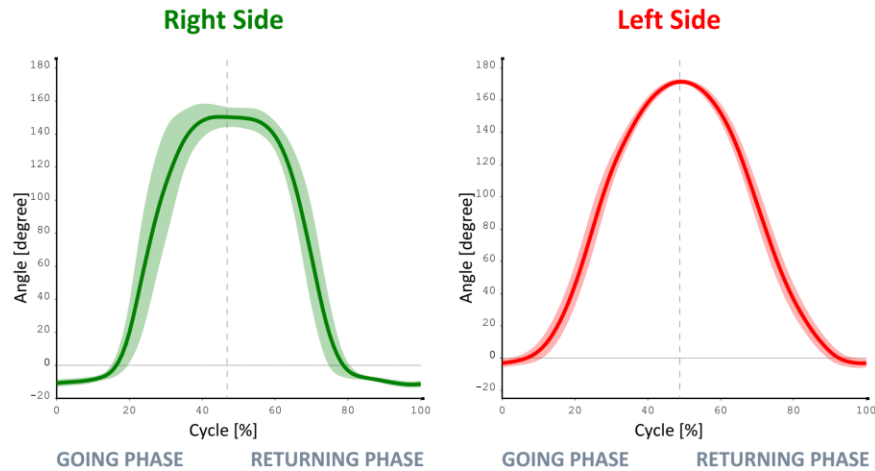


Fig. 26. Rango de movimiento de la extremidad derecha e izquierda.

En la prueba de flexión, la activación muscular coordinada de los músculos flexores demostrará la capacidad del examinado/paciente para realizar un movimiento voluntario activo libre en contra de la gravedad 3/5 en escala Medical Research Council (MRC) con una amplitud de movimiento (ROM) de 150° a 180° de acuerdo con la Association for the Study of Osteosynthesis (AO), American Academy of Orthopedic Surgeons (AAOS). En la tabla se muestran los valores máximos de flexión para cada brazo (Fig. 27).

	RIGHT	LEFT
Maximum Flexion (degree)	152.4 ± 6.4	171.7 ± 1.5

Fig. 27. Valores máximos de flexión para cada brazo. Se espera un valor entre 150 y 180° para sujetos sanos.

Cinemática del hombro: Ángulo vs Velocidad angular.

Otro gráfico que se muestra en el reporte es el comportamiento del ángulo respecto a la velocidad angular (Fig. 28). En el eje vertical se representa el ángulo y en el horizontal la velocidad angular. Para cada ciclo se muestra una curva. De este modo, se podrá observar la repetibilidad que tiene el individuo para realizar los movimientos. En el movimiento de avance, la velocidad incrementa rápidamente al inicio del desplazamiento angular, alcanzando su mayor valor en aproximadamente un tercio del avance. En el segundo tercio puede incrementarse ligeramente, hasta alcanzar la mitad del recorrido de avance, cuando empieza a descender la velocidad angular. En el último tercio, la velocidad disminuye hasta llegar a cero. Cuando la velocidad angular es nula, indica que la extremidad no está en movimiento. Esto ocurre en el instante inicial del movimiento de avance y cuando se alcanza el ángulo máximo. En el regreso se observa que la velocidad angular nuevamente se incrementa en el primer tercio del movimiento, para comenzar a disminuir.

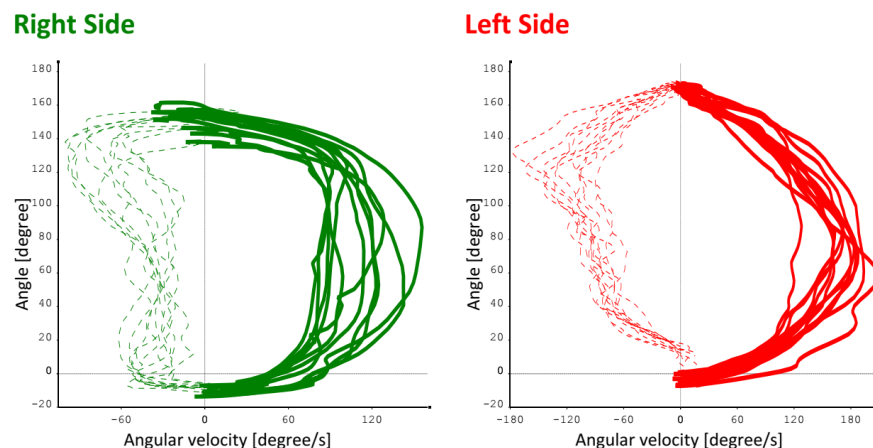


Fig. 28. Comportamiento del ángulo respecto a la velocidad angular. La línea continua es la etapa de avance y la discontinua el regreso.

La tabla muestra el valor máximo de velocidad tanto en la fase avance como en la fase de regreso y el índice Jerk (Fig. 29). Este índice es un indicador de la fluidez del movimiento, que un menor valor representa una mayor fluidez del movimiento, puesto que representa la razón de cambio de la aceleración.

	RIGHT	LEFT
Average Jerk - AJ (m/s ³)	1.89 ± .19	2.39 ± .45
Going Velocity (degree/s)	45.9 ± 7.8	74.4 ± 3.5
Returning Velocity (degree/s)	-39.6 ± 5.2	-66.5 ± 9.5

Fig. 29. Valor máximo de velocidad tanto en la fase avance como en la fase de regreso y el índice Jerk, mientras más pequeño es su valor, indica una mayor suavidad en los movimientos.

Coordinación y contribución muscular.

Por último, el reporte ofrece las gráficas de la señal de la actividad muscular de la electromiografía normalizada para el ciclo de movimiento (avance y retroceso) y para cada uno de los músculos. Como en las gráficas anteriores, la línea gruesa representa la actividad promedio, mientras que la banda de color representa la desviación estándar. Cuando se observa una banda estrecha, cercana a la línea gruesa, entonces la activación del músculo tiene una mejor repetibilidad. La línea punteada vertical identifica el evento cuando la extremidad llega a su desplazamiento máximo y cambia de avance a regreso (Fig. 30 y Fig. 31). En este mismo gráfico se pueden observar las contribuciones de energía expresada en RMS (Root Mean Square expresado en μV) en las dos fases del movimiento y el porcentaje de contribución de cada músculo para la ejecución del movimiento.

Right Side

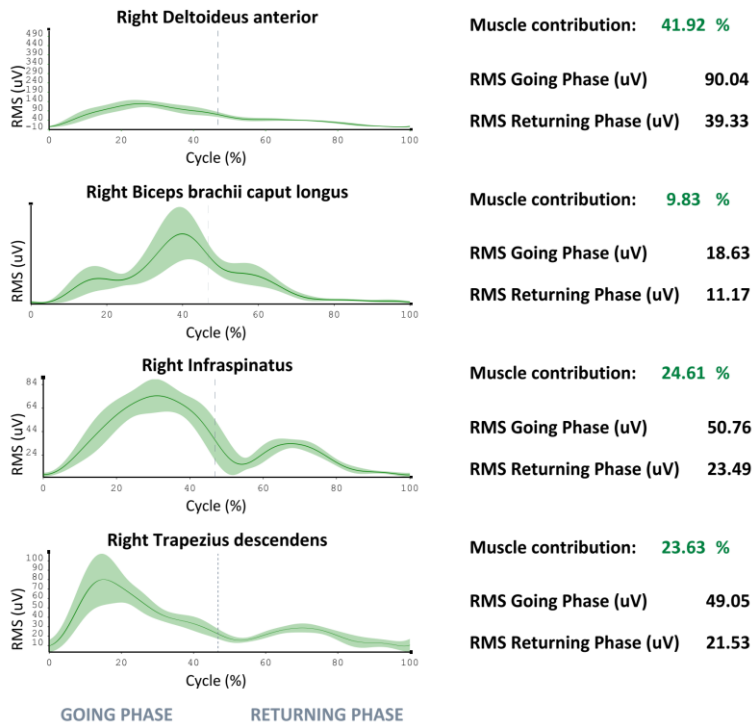


Fig. 30. Actividad y contribución muscular para el ciclo de movimiento en la extremidad derecha. A la derecha la señal de la actividad muscular de la electromiografía normalizada, a la izquierda las contribuciones de energía y el porcentaje de contribución de cada músculo para la ejecución del movimiento.

Left Side

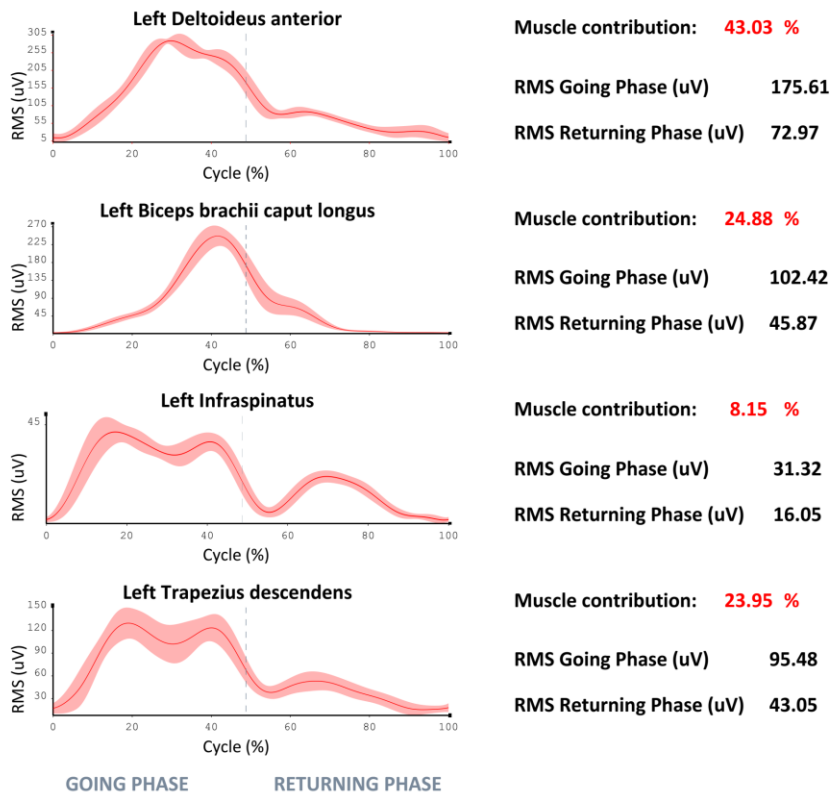


Fig. 31. Actividad y contribución muscular para el ciclo de movimiento en la extremidad derecha. A la derecha la señal de la actividad muscular de la electromiografía normalizada, a la izquierda las contribuciones de energía y el porcentaje de contribución de cada músculo para la ejecución del movimiento.

Reporte para la abducción de hombro

De la misma manera que en la flexión de hombro, una abducción coordinada y efectiva se observará con movimiento voluntario activo libre en contra de la gravedad 3/5 en escala (MRC) con una amplitud de movimiento (ROM) de hasta 180°.

Al igual que en la flexión, para la abducción el reporte mantiene la misma estructura: Las gráficas del desplazamiento angular, la relación velocidad angular desplazamiento angular y la coordinación y contribución muscular. Un aumento del ángulo hacia valores positivos identifica un movimiento de abducción de la extremidad, mientras que una reducción en el valor angular identifica un movimiento de aducción.

Reporte para la rotación externa

Durante el examen y análisis de estos movimientos, se espera encontrar que la activación voluntaria libre del examinado/paciente, logre un ROM de 90° para la rotación externa/lateral y de 70-80° para la rotación interna/medial, con una fuerza de 3/5 en escala MRC, es decir en contra de la gravedad.

En el caso del movimiento de rotación, un aumento del ángulo hacia valores positivos identifica un movimiento de rotación con desplazamiento anterior de la muñeca, mientras que una reducción del valor

angular identifica un movimiento de rotación con desplazamiento posterior de la muñeca. La línea vertical discontinua muestra en qué % del ciclo de movimiento se ha alcanzado el desplazamiento angular máximo y, por lo tanto, distingue la fase de avance de la fase de regreso en la que tiene lugar la inversión de movimiento.

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. 32).

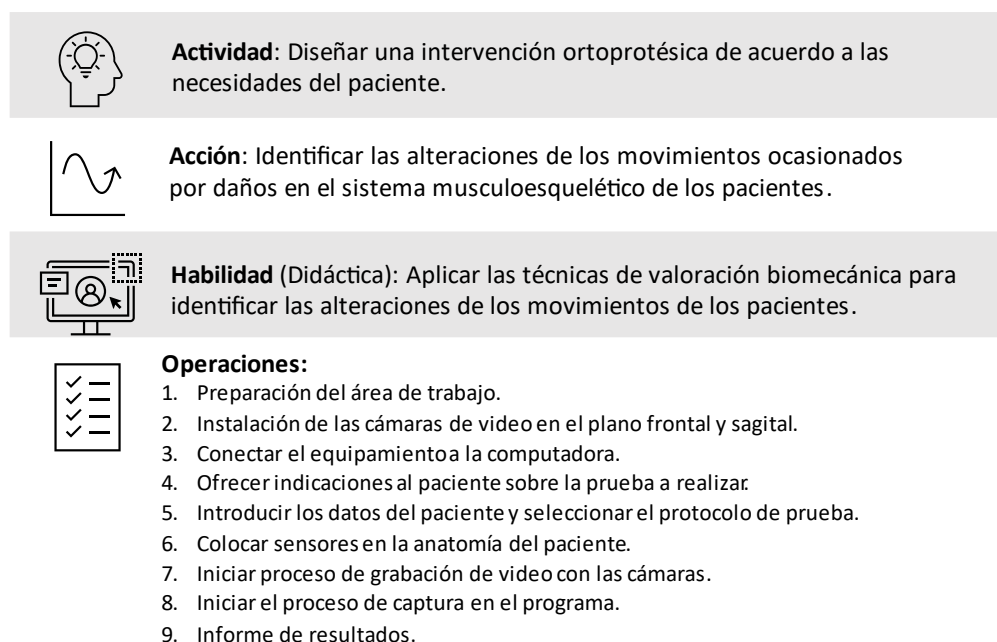


Fig. 32. Relación entre la actividad, acción, habilidades y operaciones que se requieren desarrollar en la actividad práctica.

Después de abordar temas relacionados con la valoración de los movimientos con la tecnología, se debe orientar la práctica de laboratorio. Para ellos 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. 33). 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.

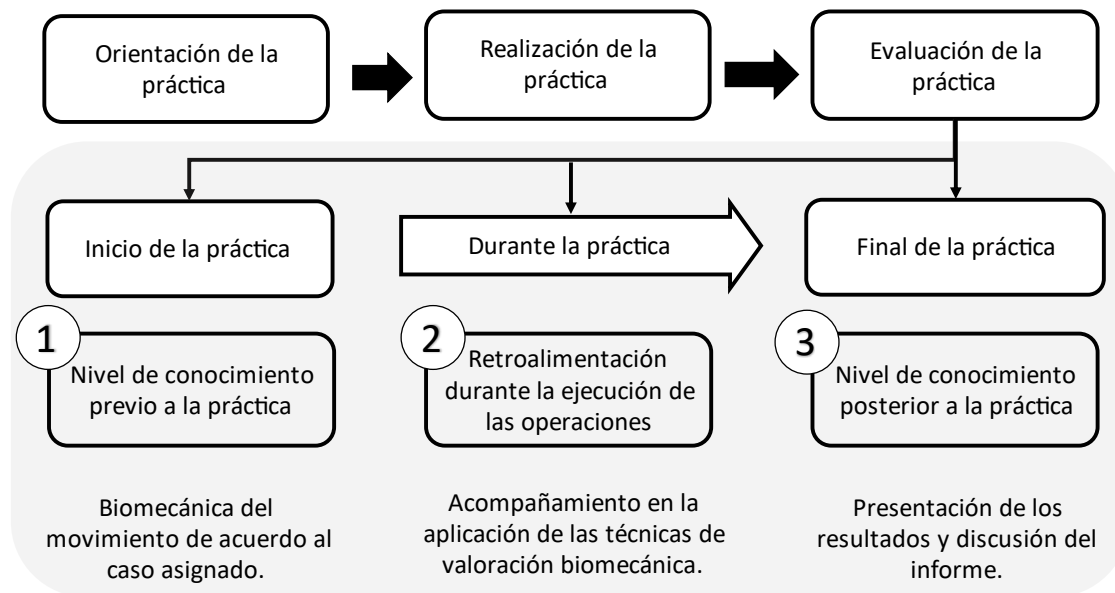


Fig. 33. Esquema de la evaluación del proceso de enseñanza-aprendizaje en tres momentos de la práctica.

Guía de la práctica.

Objetivo:

Identificar las alteraciones de la movilidad del hombro provocadas por daños al sistema musculoesquelético mediante el empleo del sensor inercial y electromiografía.

Caso 1:

Se trata de paciente femenino de 35 años, la cual sufre caída desde la base de sustentación durante actividad laboral. A la exploración física se observa deficiencia en la movilidad de la extremidad torácica derecha con compromiso de la cintura escapular y predominio en flexo-extensión, paciente refiere un incremento de dolor al intentar levantar objetos por arriba de los hombros.

Caso 2:

Se trata de paciente femenino de dos años, la cual se presenta acompañada por familiar enviada del área de urgencias para estudio de activación muscular para avulsión de plexo braquial post trauma.

Caso 3:

Paciente masculino de 25 años el cual se presenta para valoración tras lesión durante un gesto deportivo. El paciente refiere dedicarse al béisbol y haber sentido durante un lanzamiento de bola, un fuerte tirón en el hombro izquierdo, seguido de dolor agudo, aumento de temperatura local y dificultad para el movimiento.

Si usted fuera a realizar la valoración de la movilidad del hombro, indique:

- ¿Qué condiciones debe cumplir el lugar o laboratorio para realizar un examen de movilidad de hombro?
- ¿Cuáles son los movimientos de hombro que contribuyen a determinar el rango de movimiento de la articulación?
- ¿Cuáles son los desplazamientos angulares que puede realizar el hombro?
- ¿Cuáles son los músculos que participan en cada uno de los movimientos del hombro?
- ¿Cuáles son las variables cinemáticas que se determinan durante la prueba de movilidad del hombro?
- ¿Cómo y con qué equipamiento se podría realizar una prueba objetiva de valoración de la movilidad del hombro?
- En la prueba de movilidad del hombro con el sensor inercial y electromiografía, ¿qué gráficas se pueden obtener en cuanto a la evaluación de los músculos?
- ¿Qué maniobras sugiere para identificar los músculos: infraespinoso y deltoides medio y anterior?

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 del 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 al paciente.
8. Iniciar proceso de grabación de video con las cámaras.
9. Iniciar el proceso de captura.
10. Generar el reporte.

Informe de la clase práctica de laboratorio.

Elabore un informe en el que incluirá la descripción de una patología que provoque la alteración 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 movilidad del hombro 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.

- Bakhsh, W., & Nicandri, G. (2018). Anatomy and Physical Examination of the Shoulder. *Sports Medicine and Arthroscopy Review*, 26(3), e10-e22. <https://doi.org/10.1097/JSA.0000000000000202>
- 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>
- Gill, T. K., Shanahan, E. M., Tucker, G. R., Buchbinder, R., & Hill, C. L. (2020). Shoulder range of movement in the general population: age and gender stratified normative data using a community-based cohort. *BMC Musculoskeletal Disorders*, 21(1), 676. <https://doi.org/10.1186/s12891-020-03665-9>
- Greenberg, D. L. (2014). Evaluation and Treatment of Shoulder Pain. *Medical Clinics*, 98(3), 487-504. <https://doi.org/10.1016/j.mcna.2014.01.016>
- Hodgetts, C. J., Leboeuf-Yde, C., Beynon, A., & Walker, B. F. (2021). Shoulder pain prevalence by age and within occupational groups: a systematic review. *Archives of Physiotherapy*, 11(1), 24-24. <https://doi.org/10.1186/s40945-021-00119-w>
- 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>
- Lindgren, I., Gard, G., & Brogårdh, C. (2018). Shoulder pain after stroke – experiences, consequences in daily life and effects of interventions: a qualitative study. *Disability and Rehabilitation*, 40(10), 1176-1182. <https://doi.org/10.1080/09638288.2017.1290699>
- 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>
- Namdari, S., Yagnik, G., Ebaugh, D. D., Nagda, S., Ramsey, M. L., Williams, G. R., Jr., & Mehta, S. (2012). Defining functional shoulder range of motion for activities of daily living. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 21(9), 1177-1183. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2011.07.032>
- Oosterwijk, A. M., Nieuwenhuis, M. K., van der Schans, C. P., & Mouton, L. J. (2018). Shoulder and elbow range of motion for the performance of activities of daily living: A systematic review. *Physiotherapy Theory and Practice*, 34(7), 505-528. <https://doi.org/10.1080/09593985.2017.1422206>
- 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>
- Rufo, J. B., Callegari Ferreira, M. E., Camargo, B. L., & Rodrigues Martinho Fernandes, L. F. (2021). Changes in electromyographic activity of deltoid muscles in women with shoulder pain during a functional task. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 27, 420-425. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2021.03.016>

- Soo Hoo, J. (2019). Shoulder Pain and the Weight-bearing Shoulder in the Wheelchair Athlete. *Sports Medicine and Arthroscopy Review*, 27(2), 42-47. <https://doi.org/10.1097/JSA.0000000000000241>
- Vásquez-Ucho, P. A., Villalba-Meneses, G. F., Pila-Varela, K. O., Villalba-Meneses, C. P., Iglesias, I., & Almeida-Galárraga, D. A. (2021). Analysis and evaluation of the systems used for the assessment of the cervical spine function: a systematic review. *Journal of Medical Engineering & Technology*, 45(5), 380-393. <https://doi.org/10.1080/03091902.2021.1907467>