

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES
UNIDAD JURIQUELLA

FACULTAD DE INGENIERÍA

Prueba de valoración biomecánica de la movilidad de la columna cervical 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 de la columna cervical 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 (Milán, 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 6.

ISBN Volumen: 978-607-30-9310-1.

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
Trastornos musculoesqueléticos de la columna cervical.	2
Tecnología disponible para el estudio de la biomecánica de los movimientos.	3
Sensor inercial y electromiografía de superficie.	3
Prueba de Movilidad de la columna cervical.	5
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. 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.	13
9. Iniciar proceso de grabación de video con las cámaras	13
10. Iniciar el proceso de captura.....	13
Etapas de creación del reporte.....	17
11. Generar el reporte.....	17
Indicaciones para la aplicación del protocolo en las clases prácticas.	29
Referencias.	33

Introducción.

Los trastornos musculoesqueléticos afectan la funcionalidad de las personas para realizar sus actividades cotidianas. El dolor en la zona cervical es frecuente y se puede presentar combinado con dolor de hombro. Se estima que al menos el 70% de las personas puede presentar de dolor cuello (Hoy et al., 2010). Alguna alteración del reclutamiento muscular puede limitar que se alcancen los rangos de movimiento según la normalidad de acuerdo con la edad.

El protocolo de movilidad de la columna cervical (Cervical Spine Mobility) con el sensor inercial y electromiografía permite realizar un análisis rápido, preciso y sencillo del movimiento de flexión, lateralización y rotación del cuello. 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 los estudios de movilidad de la cervical se incluye el análisis de los desplazamientos angulares de la cabeza respecto a los tres planos anatómicos, la primera derivada del desplazamiento angular (velocidad angular), la segunda derivada (aceleración angular) y tercera derivada (índice de Jerk o suavidad de los movimientos). Por otra parte, los movimientos simultáneos en los tres planos anatómicos definen estrategias de compensación, en pacientes con alteraciones se puede observar la combinación de la rotación con la flexión lateral o anterior, por lo que su análisis resulta de interés para los médicos.

Este manual se orienta a fortalecer el aprendizaje de la valoración biomecánica de la movilidad de la columna cervical. 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 de la columna cervical 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.

Trastornos musculoesqueléticos de la columna cervical.

La columna vertebral sirve de 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).

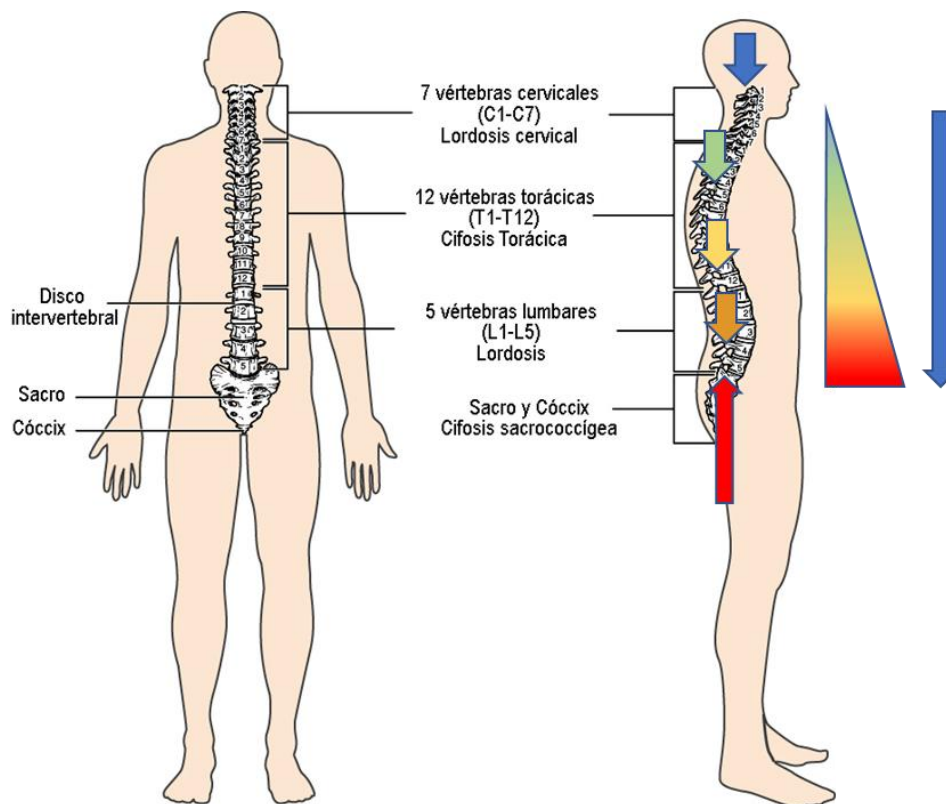


Fig. 1. Curvas anatómicas de la columna vertebral y cargas de compresión para diferentes niveles.

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. De acuerdo con Prushansky and Dvir (2008), el término movilidad al nivel de la columna cervical, o simplemente movilidad cervical, se emplea para describir el movimiento activo del raquis cervical respecto a un sistema de referencia externo, o respecto a la vértebra cervical C1.

Al nivel de la columna cervical se definen las amplitudes de movimiento (RoM, por su nombre en inglés, *Range of Motion*) de la columna de acuerdo con el rango de edad (Pan et al., 2018; Vázquez-Ucho et al., 2021). La amplitud del movimiento angular a su vez se subdivide en los movimientos de: flexión, extensión, flexión lateral derecha, flexión lateral izquierda, rotación derecha y rotación izquierda.

Los músculos son las estructuras activas que mantienen la posición de la cabeza. Por ejemplo, para la posición anatómica mostrada en la figura, se puede asumir que los músculos erectores mantienen la cabeza en esa posición y deben contrarrestar el efecto del peso de la cabeza. Como se aprecia en la Fig. 2, la fuerza sobre las articulaciones de la columna es mayor que el peso y que la fuerza muscular. En una posición de protracción, las condiciones de carga se modifican, incrementando el efecto de las fuerzas sobre músculos y vértebras.

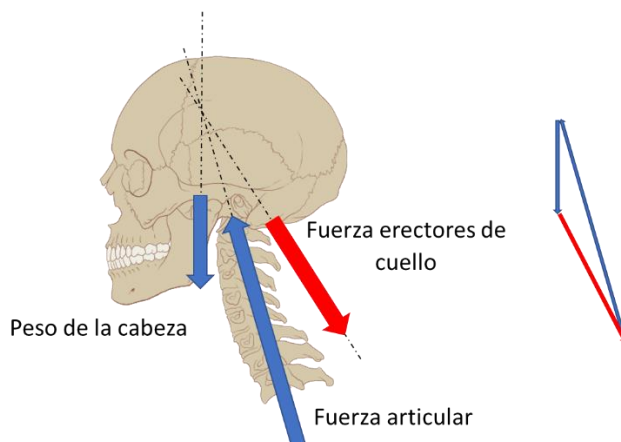


Fig. 2. Modelo biomecánico de las cargas que actúan en el cuello para una posición anatómica. Fuente: Adaptación de https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Skull_human_and_cervical_spine.svg. Bajo Licencia: CC-BY-2.5.

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 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 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 otros sistemas más caros como el de cámaras optoelectrónicas para identificar alteraciones ortopédicas, trastornos neurológicos, entre otras (Fig. 3a).

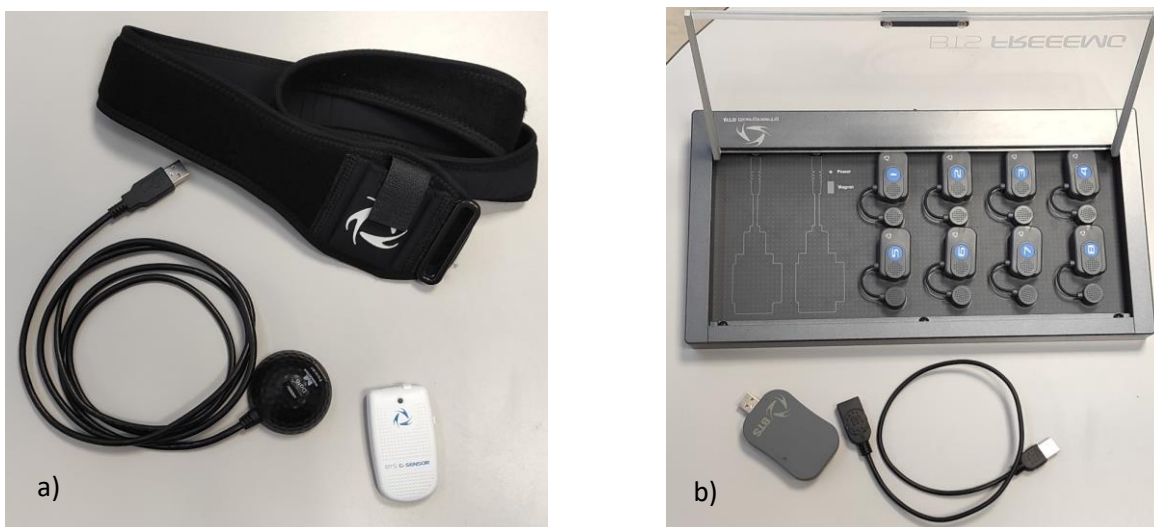


Fig. 3. Equipamiento para el análisis de la marcha: a) Sensor inercial G-Sensor con antena USB con cable de extensión cable y correa de sujeción, b) sondas electromiográficas FreeEMG en su estación de carga, antena USB y cable de extensión.

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).

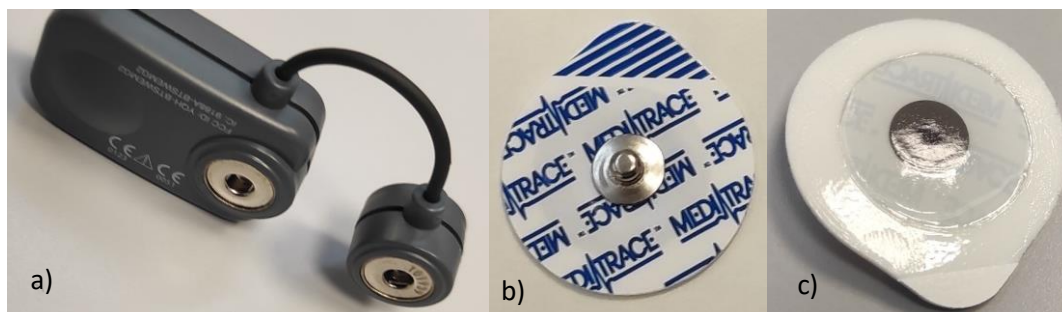


Fig. 4. Sistema de unión entre las sondas y los electrodos pre-gelificados: a) broche macho en las sondas, b) broche hembra en el electrodo, c) superficie pre-gelificada con el electrodo en la parte central del área circular.

La combinación de ambos equipos, el Sensor inercial y la Electromiografía, permite realizar el análisis de varias pruebas de movimiento de los parámetros cinemáticos temporo-espaciales en los planos y ejes anatómicos 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- Análisis de 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 de la columna cervical.

El protocolo de movilidad de la cervical permite realizar un análisis rápido, preciso y sencillo del movimiento de flexión, lateralización y rotación del cuello. 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.

Permite comparar varias pruebas realizadas en el mismo paciente en diferentes momentos (previa, durante y posterior al tratamiento) para establecer la efectividad de la rehabilitación. El protocolo ofrece los siguientes datos para los movimientos (Fig. 5):

- Movilidad en la flexión extensión.
- Movilidad en la lateralización o flexión lateral.
- Movilidad en la rotación.

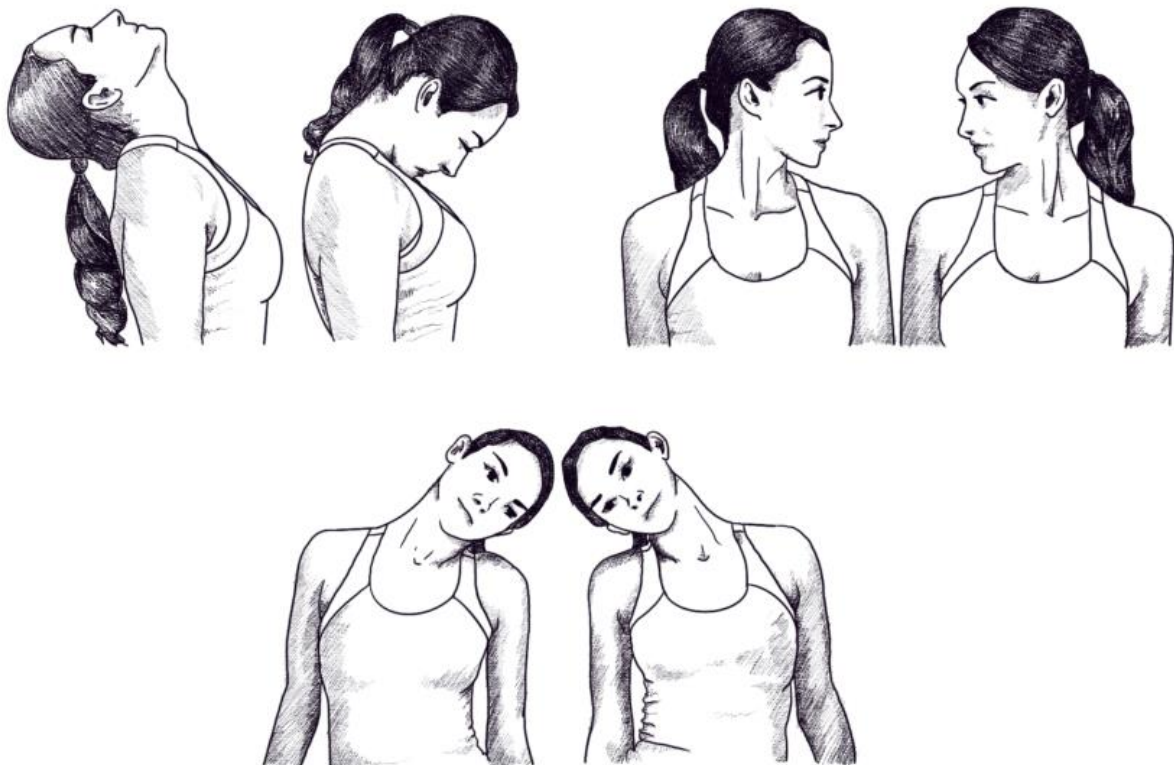


Fig. 5. Movimientos que deberá realizar el paciente durante la prueba. Flexión extensión, rotación y flexión lateral.

Variables espacio-temporales:

- Amplitud de movimiento del cuello para los tres movimientos en los tres planos anatómicos.
- Relación entre el desplazamiento y la velocidad angulares para cada movimiento.
- Contribución energética de los músculos en cada etapa por tipo de movimiento.
- Índice de simetría de la actividad de los músculos homónimos y contralaterales para los tres movimientos.
- Índice de predominancia de la actividad de los músculos homónimos y contralaterales para los tres movimientos.
- Tiempo de activación muscular para los tres movimientos.

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 sentado con espacio suficiente para realizar los movimientos de flexión-extensión (en dirección antero posterior sobre el plano sagital), lateralización (flexión lateral a la derecha e izquierda sobre el plano frontal) y rotación del cuello (giro de la cabeza respecto al plano transversal).

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. 6a) 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. 6a). La luz del indicador LED blanco comenzará a parpadear, indicando que está prendido.

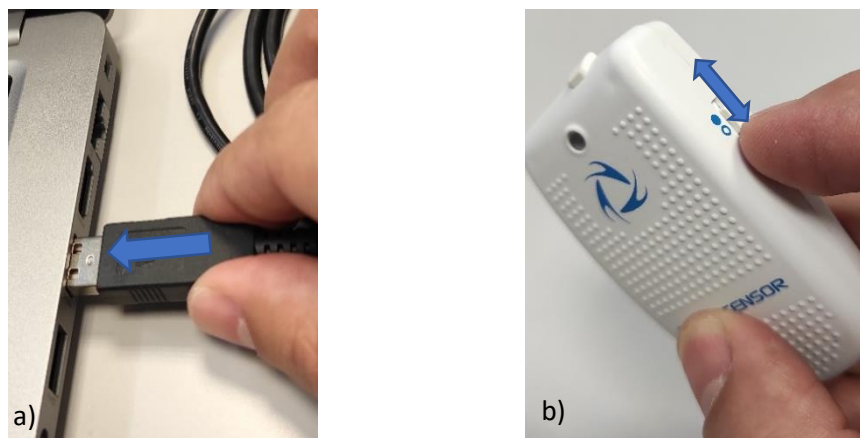


Fig. 6. Conexión de la antena al puesto USB de la computadora y encendido del sensor inercial.

Luego se debe insertar la antena USB receptora del FreeEMG, prender las sondas EMGs y abrocharlas a los electrodos. Para prender las sondas será necesario pararlas por encima del área identificada como 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. 7. 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. 8).

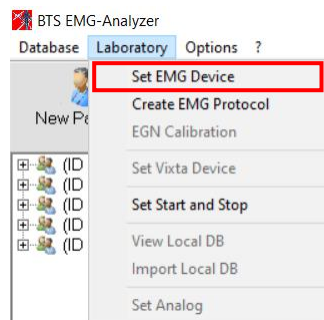


Fig. 8. Ventana para la activación del sensor inercial.

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. 9).



Fig. 9. 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. 10).



Fig. 10. 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 (como si estuviera diciendo que sí), lateralización (flexionar a los laterales el cuello a un lado y el otro) y rotación del cuello (como si dijera que no).

Los movimientos los deberá realizar a una velocidad adecuada que no le cause molestia y tratando de alcanzar la máxima amplitud de movimiento normal posible, sin detenerse, de manera continua y deberá realizar 5 repeticiones del ciclo completo. Un ciclo dará inicio desde la posición anatómica neutral, realizar el movimiento completo y pasar nuevamente por la posición neutral.

Al inicio de la prueba, para cada movimiento, 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.

A usted se le colocará el sensor inercial en la parte posterior de la cabeza a la altura de la protuberancia del hueso occipital por medio de un cinturón elástico que abrazará la cabeza a la altura de la frente. Se le colocarán cuatro pares de electrodos de superficie pre-gelificados sobre el músculo paraespinal a la altura de la vértebra C4 (en la nuca) y en el músculo esternocleidomastoideo (tercio medio de la parte anterior del cuello), de forma simétrica a ambos lados del cuello.

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. 11).



Fig. 11. Opción para la creación de un nuevo paciente en la base de datos del programa.

Se desplegará una ventana para capturar los datos del paciente, como nombre, apellidos, fecha de nacimiento, datos del personal clínico, código del paciente, dirección, número telefónico y notas donde se podrán agregar los motivos del estudio, entre otras (Fig. 12).

Fig. 12. Ventana para capturar los datos del paciente.

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

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. 13).



Fig. 13. 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. 14).

Fig. 14. 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. 15).

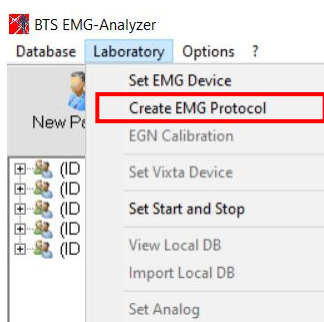


Fig. 15. Ventana para la selección del protocolo.

Aparecerá una ventana, en la que se listan todos los protocolos disponibles. Para la valoración de la movilidad de la cervical se estudian los movimientos de flexión lateral, flexión extensión y rotación, para esta prueba se selecciona el protocolo *CervicalSpineMobility.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. 16).

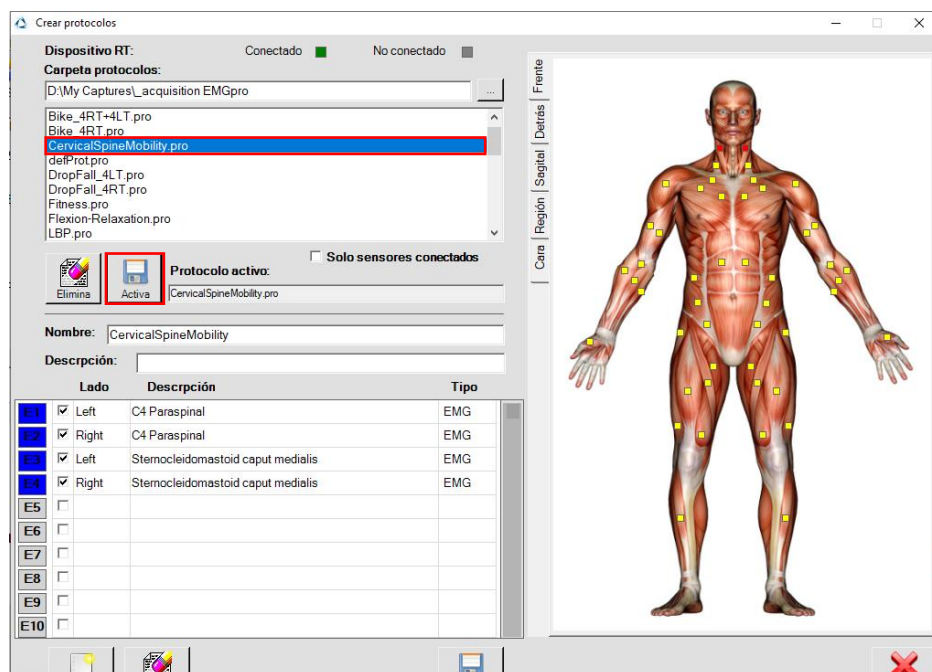


Fig. 16. Ventana para activar el protocolo seleccionado. En esta venta se listan los músculos que se deben colocar los electrodos y las sondas.

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 músculo esternocleidomastoideo y el músculo paraespinal (Fig. 16). 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 paraespinal izquierdo a la altura de la vértebra C4. 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 índice y medio la contracción muscular para identificar el vientre muscular. La ubicación de las sondas del músculo esternocleidomastoideo estará sobre la línea comprendida entre la muesca esternal y el proceso mastoideo, específicamente en el tercio más cercano al esternón (Falla et al., 2002). Coloque los electrodos bipolares sobre el vientre del músculo con el electrodo satelital por encima del electrodo madre con una separación entre ellos de 2 a 3 cm (Fig. 17).

En el caso del músculo paraespinal, se ubicarán a la altura de la vértebra C4, a ambos lados de la espina cervical a una separación de 2 cm (Murphy et al., 2010). De igual manera, se coloca el electrodo satelital por encima del electrodo madre con una separación entre ellos de 2 a 3 cm.



Fig. 17. La separación entre los electrodos de la parte madre y satelital debe ser entre 2 a 3 cm.
Músculos esternocleidomastoideo derecho e izquierdo.

8. Colocar el sensor inercial al paciente.

El sensor se ubica en la parte posterior de la cabeza, a la altura de la protuberancia del hueso occipital, abrazando la cabeza por medio de un cinturón elástico pasando en la frente. Identifique la posición anatómica antes mencionada y coloque bien ajustada la correa (cuidando el flujo sanguíneo), con el sensor centrado en la parte posterior de la cabeza. Garantice que el sensor no se mueva y que el paciente no sienta una sensación de compresión en la zona.



Fig. 18. Colocación de electrodos y sensor inercial para el análisis de la movilidad del cuello a la altura de la protuberancia del hueso occipital.

Etapas de captura.

9. Iniciar proceso de grabación de video con las cámaras

Rectificar que tengan suficiente espacio para grabar la prueba.

10. Iniciar el proceso de captura.

Rectificar que el protocolo que se encuentra “activo” corresponde con el de movilidad cervical.

Rectificar que la numeración de las sondas corresponde con los músculos del protocolo. Seleccionar adquirir una nueva prueba. Para ello se da clic sobre la opción New Trial.



Fig. 19. 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. 20).

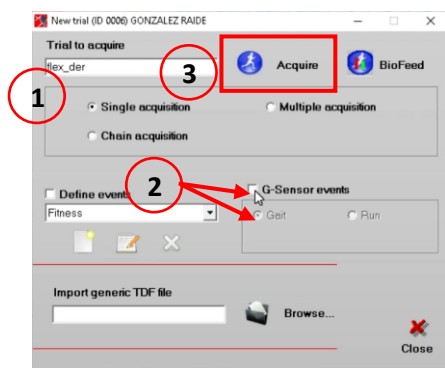


Fig. 20. Ventana para nombrar la captura, debe estar desactivado el sensor inercial, con la casilla en blanco sin la palomita.

Para comenzar el proceso de captura, 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 a medir para que se activen los músculos (Fig. 21).



Fig. 21. Visualización de la actividad muscular antes de comenzar la prueba.

Luego, se iniciará la captura en el botón Iniciar Rec y el programa realizará la estabilización del 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. 22).

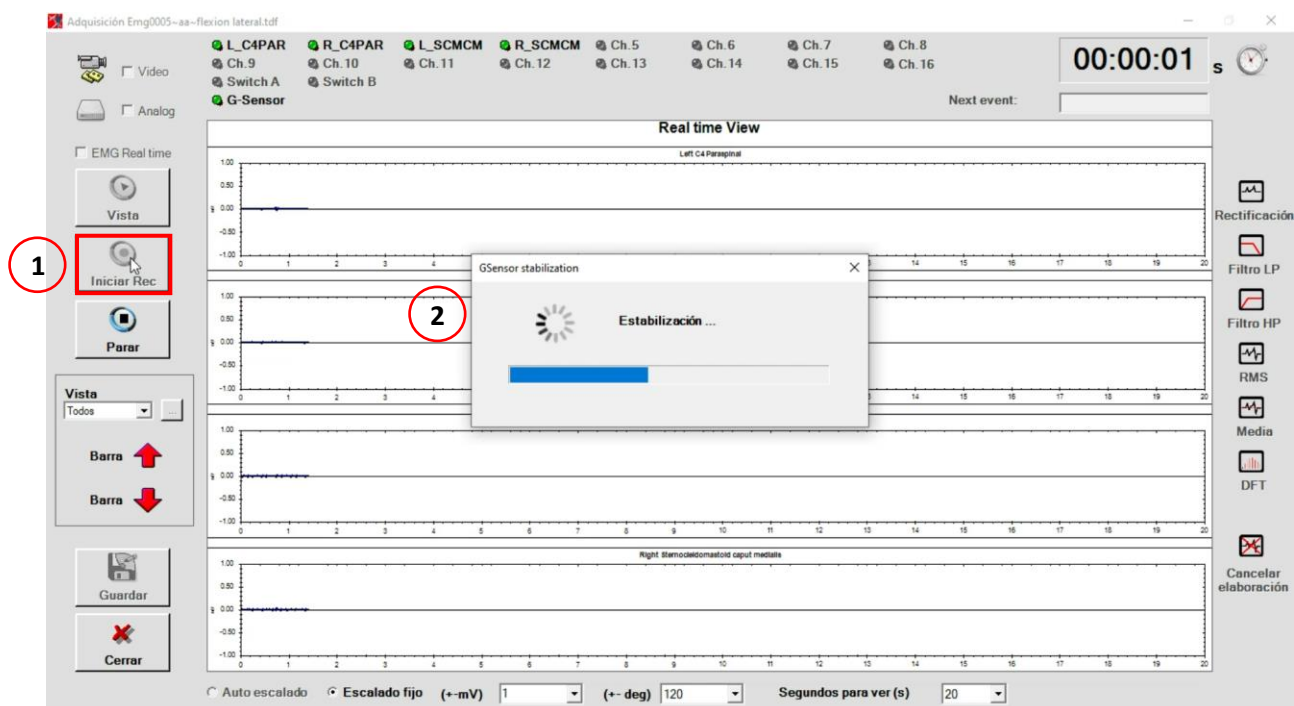


Fig. 22. Proceso de captura de datos. Una vez cerrada la ventana de estabilización del sensor inercial se indica al paciente que inicie los movimientos del protocolo.

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. 23).

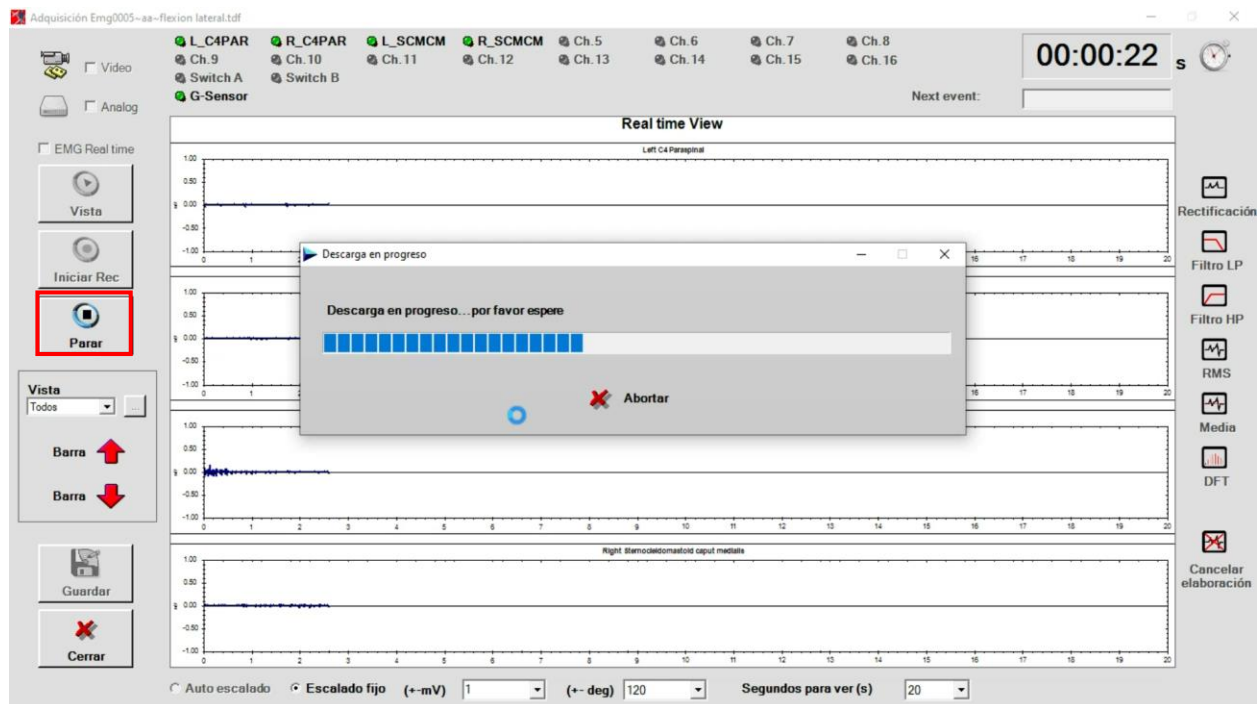


Fig. 23. Proceso de descarga de la información de las sondas y el sensor inercial a la computadora.

Se podrán observar en la pantalla la activación muscular del movimiento analizado. Una vez completada la descarga, seleccione guardar (Fig. 24).

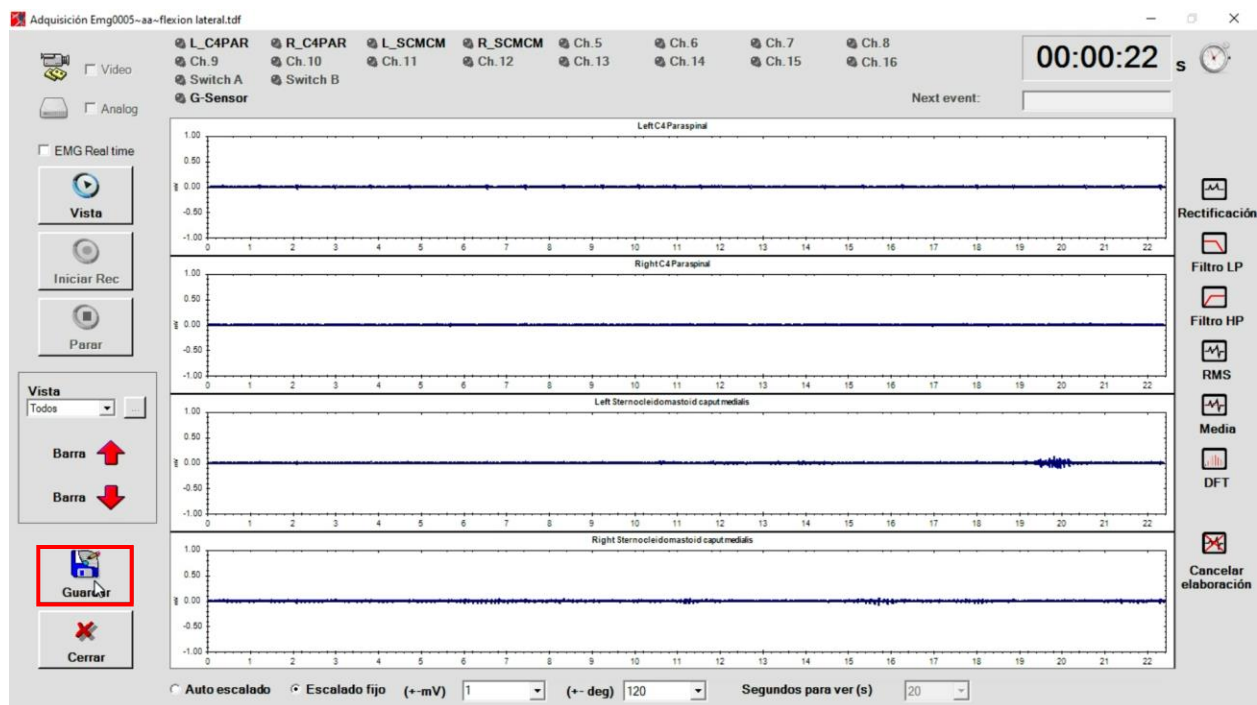


Fig. 24. Ventana donde se observa la actividad de los músculos.

Se repite el proceso para cada movimiento.

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:

- 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. 25). Las capturas que se seleccionen aparecerán en la parte central de la pantalla (indicado con 2 en la Fig. 25).
- Seleccionar la normatividad de acuerdo con la edad del paciente (indicado con 3 en la Fig. 25).
- Seleccionar el ícono del protocolo de movilidad cervical (indicado con 4 en la Fig. 25).

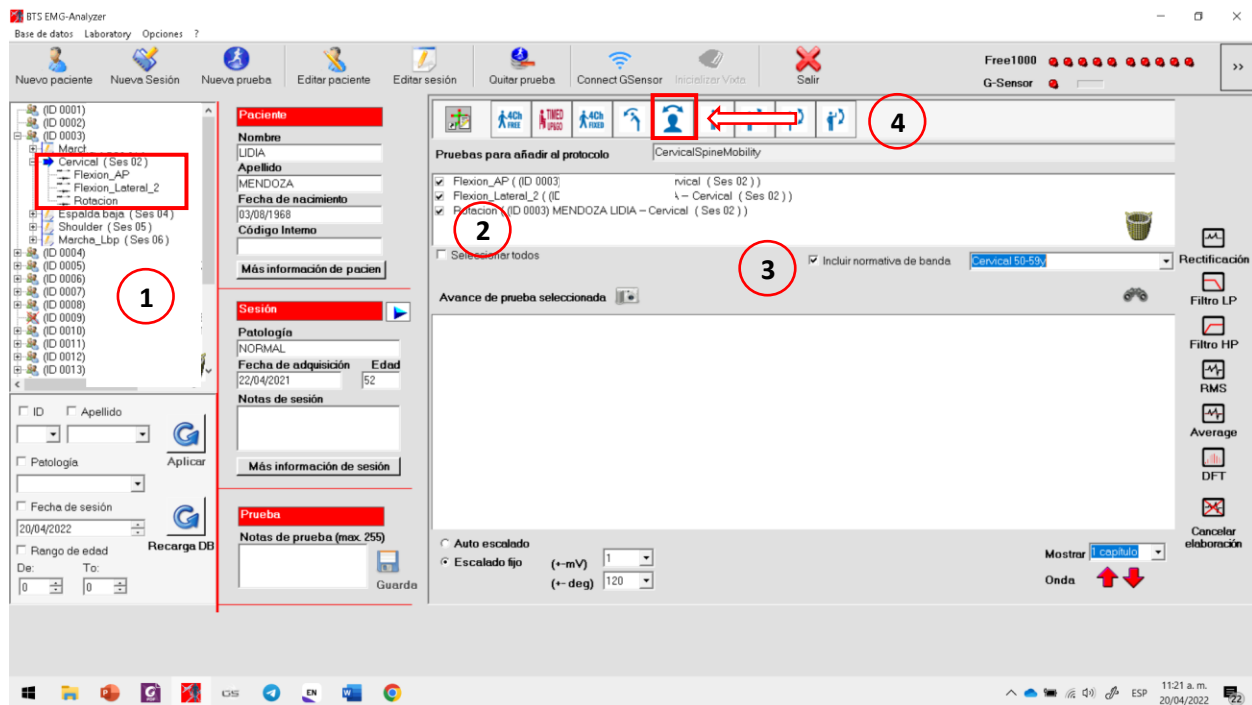


Fig. 25. Selección de las capturas para generar el reporte. Se debe seleccionar el ícono según sea el reporte por generar, en este caso es el de movilidad de cervical.

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.

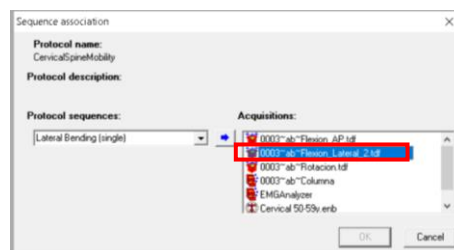


Fig. 26. Ventana para enlazar o vincular los datos necesarios para generar el reporte.

Luego aparecerán 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. 27). El reporte se generará y se podrá imprimir para su análisis.

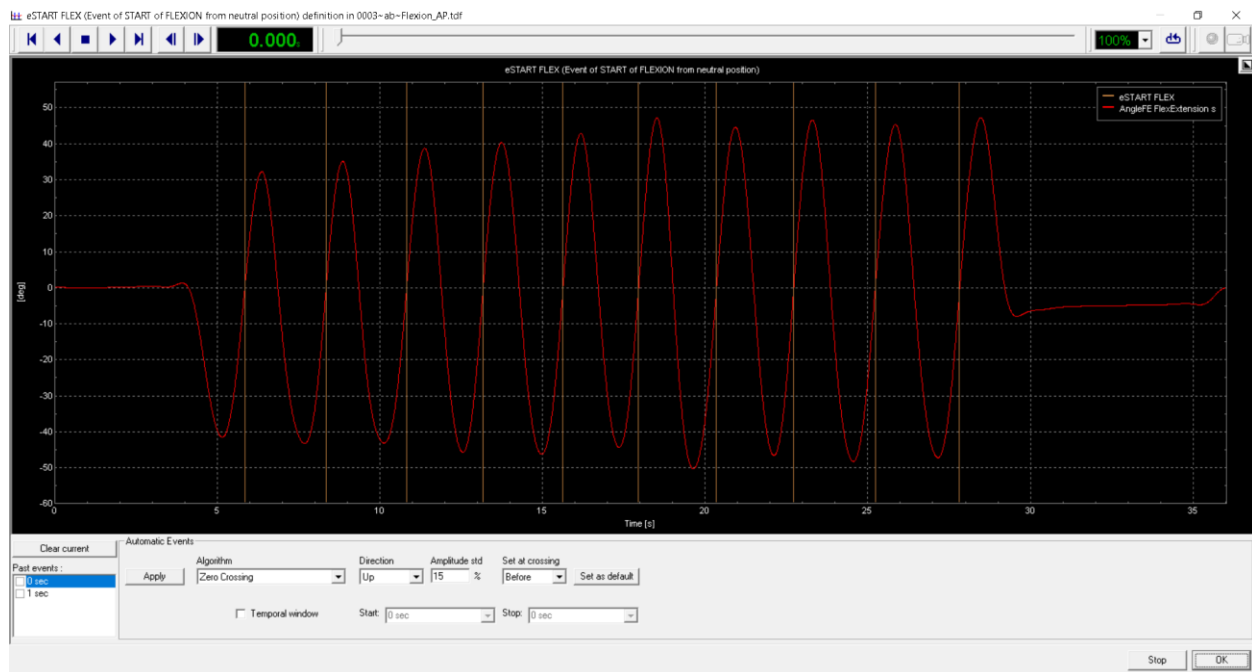


Fig. 27. Ventana para identificar los eventos del movimiento, en este caso es para la flexión lateral de cervical. El programa identifica los eventos de forma automática.

Interpretación de la información del reporte:

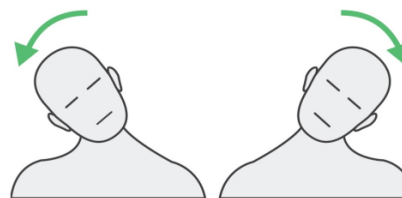
Cinemática del cuello:

Para caracterizar la cinemática de los movimientos del cuello, el ciclo se divide en dos subciclos y cuatro fases. En el caso de la flexión lateral, el ciclo inicia desde la posición neutral, pasando por la flexión lateral derecha máxima (fase 1) y luego regresando nuevamente a la posición neutral (fase 2), completando el primer subciclo. Luego se realiza el movimiento de flexión lateral izquierda máxima (fase 3) y el regreso a la posición neutral (fase 4), completando el segundo subciclo. El subciclo de flexión a la derecha inicia y termina en la posición neutral, del mismo modo ocurre con el subciclo de flexión a la izquierda (Fig. 28).

El reporte muestra la duración total promedio del ciclo, la duración de cada una de las fases, la velocidad angular media con la cual gira la cabeza alrededor de los ejes de referencia XYZ del sensor inercial para las fases y la amplitud del movimiento máximo promedio para los subciclos. La velocidad angular puede ser positiva o negativa, el signo está en correspondencia con el sentido de rotación, si el giro es en sentido horario (fases 1 y 4) la velocidad angular es negativa. El giro de la cabeza ocurre alrededor del eje Z del Sensor inercial.

Flexión lateral

Duración total del ciclo (s): $3.2 \pm .2$



El Movimiento de flexión lateral puede ser dividido en 4 fases:

Fase 1: a partir de la posición neutral, se alcanza el punto de máxima flexión hacia la derecha

Fase 2: desde el punto de máxima flexión a DCHA se vuelve a la posición neutral

Fase 3: a partir de la posición neutral, se alcanza el punto de máxima flexión hacia la IZQ

Fase 4: desde la máxima flexión hacia la IZQ se vuelve a la posición neutral

	Flexión lateral a DCHA		Flexión lateral a IZQ	
	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4
Duración (s):	$0.8 \pm .1$	$0.6 \pm .1$	$0.9 \pm .1$	$0.7 \pm .3$
Velocidad ang media($^{\circ}/s$):	-41 ± 4.3	52 ± 3.4	49.3 ± 5	-45.2 ± 8
ROM ($^{\circ}$)	$32 \pm .7$		44.9 ± 3.2	

Fig. 28. Variables cinemáticas de las fases y subciclos del movimiento de flexión lateral de cuello.

El reporte muestra las gráficas de los desplazamientos angulares de los tres ejes de referencia del sensor inercial (XYZ), normalizados de forma porcentual, donde el 0% indica el inicio del ciclo y el 100% cuando se completaron las cuatro fases. Por convención, el valor positivo representa el desplazamiento en una dirección y el negativo hacia la otra. La componente del desplazamiento angular alrededor del eje Z se grafica en color verde, que representa el movimiento de flexión lateral (Fig. 29). El valor positivo es la flexión lateral hacia la derecha, el negativo hacia la izquierda. Las líneas discontinuas verticales indican los extremos derecho e izquierdo de la flexión lateral, coincidiendo con las fases 1 y 3 del ciclo, y los valores máximos promedios de los subciclos de la Fig. 28. La línea gruesa vertical indica el punto neutral (fase 2). Las líneas horizontales son los desplazamientos angulares que debe alcanzar el paciente de acuerdo con la normatividad.

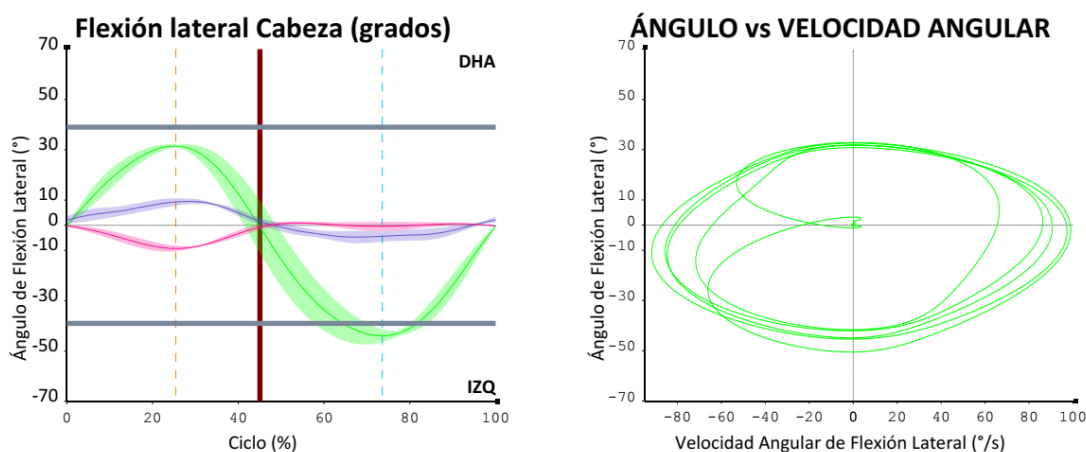


Fig. 29. Desplazamiento angular respecto a los tres ejes de referencia del sensor inercial para el movimiento de flexión lateral. La gráfica con mayor desplazamiento angular es para el giro alrededor del eje Z en color verde.

El gráfico de la Fig. 29 también muestra las componentes del desplazamiento angular en la flexión extensión de color púrpura y la rotación en color rosado. En teoría, solo deberían estar presentes la componente que corresponde con el movimiento que se analiza. Por ejemplo, en este caso solo debería aparecer la gráfica de color verde. Sin embargo, cuando existe una compensación del movimiento debido a una alteración, y no se logra realiza como una “flexión lateral pura”, entonces en el gráfico aparecerán las componentes en los otros ejes de referencia. También se puede observar que no se alcanzan los valores de normalidad.

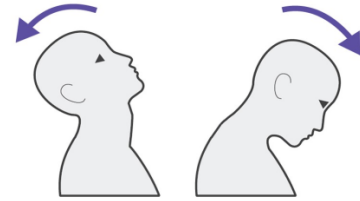
Otro gráfico del reporte muestra la variación del desplazamiento angular de la flexión lateral (expresado en grados en el eje de coordenadas vertical) respecto al desplazamiento angular (expresado en grados por segundo). Aparecen tantas curvas según la cantidad de ciclos realizados. Las formas de las curvas pueden parecerse a la forma de una elipse o del número ocho. Si el paciente ejecuta los movimientos de forma continua y pasa por la posición neutral sin detener la cabeza, la gráfica obtenida será en forma de elipse, mientras que, si el paciente detiene su cabeza al pasar por la posición neutral, entonces el comportamiento será similar al número ocho.

En los gráficos con forma de elipse, la velocidad máxima del movimiento de flexión lateral se alcanza al pasar por la posición neutral (fase 2 y 4). Se debe considerar el valor modular de los parámetros del gráfico, el signo solo es útil para representar el sentido de rotación y la dirección hacia donde se obtuvo el desplazamiento angular máximo. En el inicio y final de la prueba, tanto la velocidad angular como el desplazamiento angular son nulos. Por tanto, el gráfico inicia y termina en el centro del sistema de coordenadas. El resto de las curvas, si no hay presencia de alteración motora, deben presentarse superpuestas o muy cercanas unas de otras, mostrando una adecuada repetitividad de los movimientos.

En las páginas siguientes del reporte se muestran las gráficas de la cinemática de los movimientos de flexión extensión y rotación de cuello. Para estos movimientos, el reporte también muestra la duración total promedio del ciclo, la duración de cada una de las fases, la velocidad angular media con la cual gira la cabeza alrededor del eje de referencia del sensor inercial que corresponde a estos movimientos para las fases y la amplitud del movimiento máximo promedio Fig. 30 y Fig. 32. El desplazamiento angular en la flexión extensión es alrededor del eje de referencia del sensor inercial en Y, se muestra con el color púrpura y es el que muestra ahora los máximos y mínimos (Fig. 31), mientras que en la rotación el giro es alrededor del eje de referencia X del sensor inercial y la gráfica es en color rosado (Fig. 33). Los gráficos comparten las mismas referencias y comportamiento explicado para la flexión lateral.

Flexión - Extensión

Duración total del ciclo (s): $3.9 \pm .3$



El movimiento de Flexión y Extension puede ser dividido en 4 fases:

Fase 1: a partir de la posición neutral, se alcanza el punto de máxima flexión frontal

Fase 2: desde el punto de máxima flexión, se vuelve a la posición neutral

Fase 3: a partir de la posición neutral, se alcanza el punto de máxima extensión.

Fase 4: desde el punto de máxima extensión, se vuelve a la posición neutral

	Flexión		Extensión	
	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4
Duración (s):	$1 \pm .2$	$1 \pm .5$	$1 \pm .3$	$1.8 \pm .2$
Velocidad ang media(°/s):	43.1 ± 8.1	-56.2 ± 20.5	-33.5 ± 13.2	44.2 ± 18
ROM (°)	49 ± 3.9		44 ± 1.1	

Fig. 30. Variables cinemáticas de las fases y subciclos del movimiento de flexión extensión de cuello.

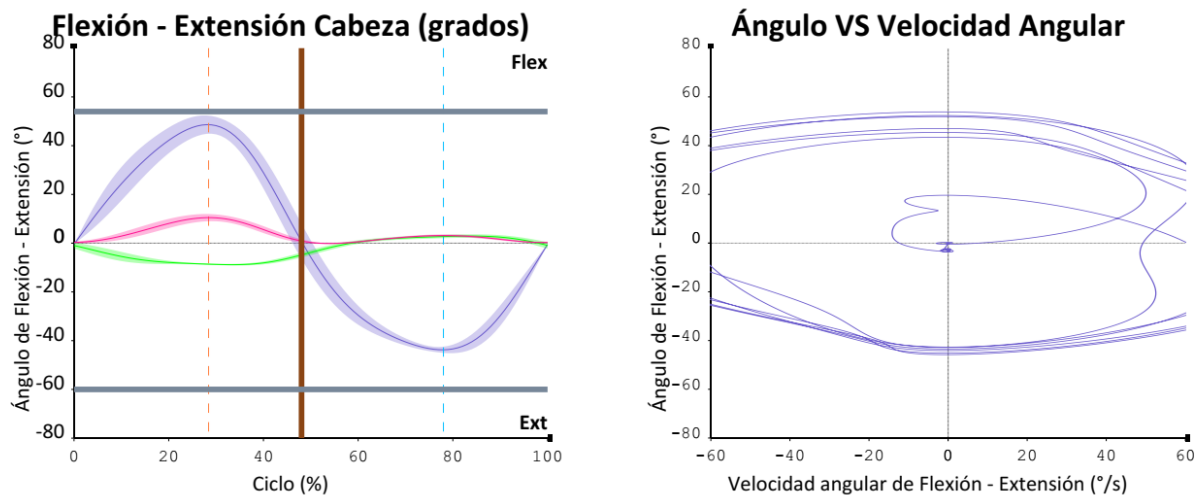
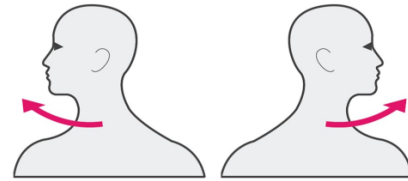


Fig. 31. Desplazamiento angular respecto a los tres ejes de referencia del sensor inercial para el movimiento de flexión extensión de cuello. La gráfica con mayor desplazamiento angular es para el giro alrededor del eje Y en color verde.

Rotación

Duración total del ciclo (s): $2.8 \pm .2$



El movimiento de Rotación se puede dividir en 4 fases:

Fase 1: a partir de la posición neutral, se alcanza el punto de máxima rotación hacia la derecha.

Fase 2: desde el punto de rotación máxima hacia la derecha, se vuelve a la posición neutral.

Fase 3: a partir de la posición neutral, se alcanza el punto de rotación máxima a la izquierda.

Fase 4: desde el punto máximo de rotación a la izquierda, se vuelve a la posición neutral.

	Rotación a DCHA		Rotación a IZD	
	Rot a DCHA	Retorno	Rot a IZD	Retorno
Duración (s):	$0.7 \pm .2$	$0.6 \pm .1$	$0.7 \pm .1$	$1.3 \pm .1$
Velocidad ang media ($^{\circ}/s$):	-68.5 ± 21.6	88.2 ± 10.3	80.6 ± 14.5	-78.1 ± 10.5
ROM ($^{\circ}$)	56.6 ± 7.3		56.8 ± 3.5	

Fig. 32. Variables cinemáticas de las fases y subciclos del movimiento de rotación de cuello.

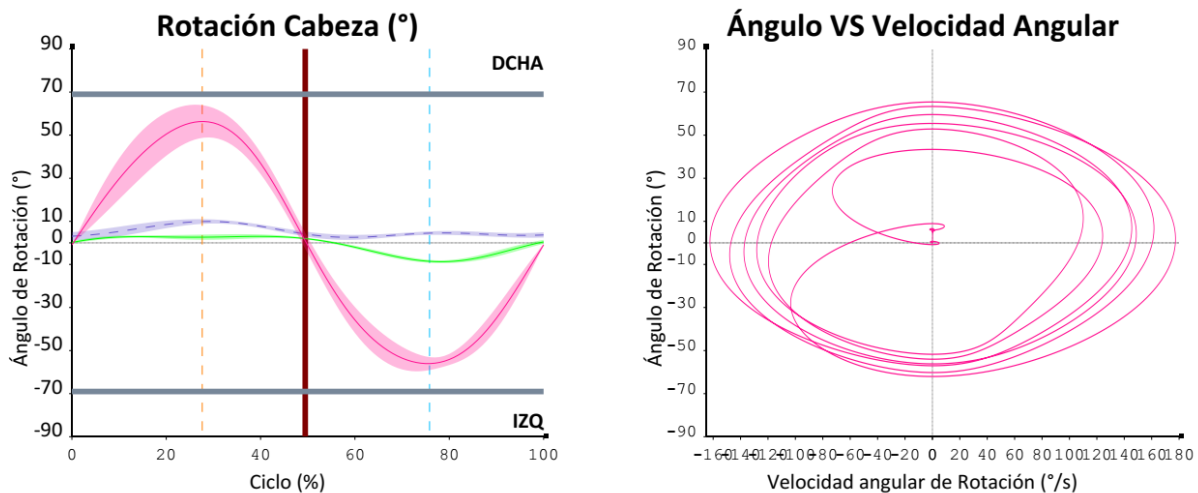


Fig. 33. Desplazamiento angular respecto a los tres ejes de referencia del sensor inercial para el movimiento de rotación de cuello. La gráfica con mayor desplazamiento angular es para el giro alrededor del eje X en color verde.

Actividad muscular.

El reporte también incluye la información relacionada con la actividad muscular para cada movimiento. La Fig. 34 muestra la contribución energética promedio de los músculos (RMS expresada en μV) para las cuatro fases.

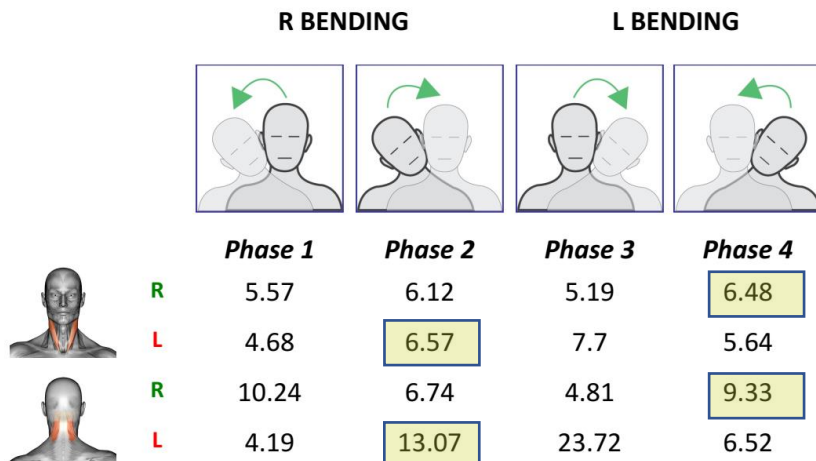


Fig. 34. Contribución energética promedio de los músculos (RMS expresada en μV) para las cuatro fases de la flexión lateral. Aparece resaltado la fase de contracción concéntrica para determinar el índice de simetría.

También se ofrecen los índices de simetría y predominio muscular. El índice de simetría permite comparar la actividad de los músculos homónimos y contralaterales durante las dos fases del movimiento en las que cada músculo tiene contracción concéntrica. En el caso de la flexión lateral, cuando la cabeza se encuentra en el máximo desplazamiento a la derecha (fase 1) y regresa a la posición neutral (fase 2) el músculo esternocleidomastoideo izquierdo realiza una contracción concéntrica. Mientras que cuando la cabeza se encuentra en máximo desplazamiento a la izquierda (fase 3) y regresa a la posición neutral, el músculo esternocleidomastoideo derecho es el que realiza la contracción concéntrica (Fig. 35). Si el índice de simetría está en el rango de 80% al 100%, indica que el músculo izquierdo tiene una contribución energética similar o equivalente al del músculo derecho, ambos en sus fases de contracción concéntrica (Fig. 34).

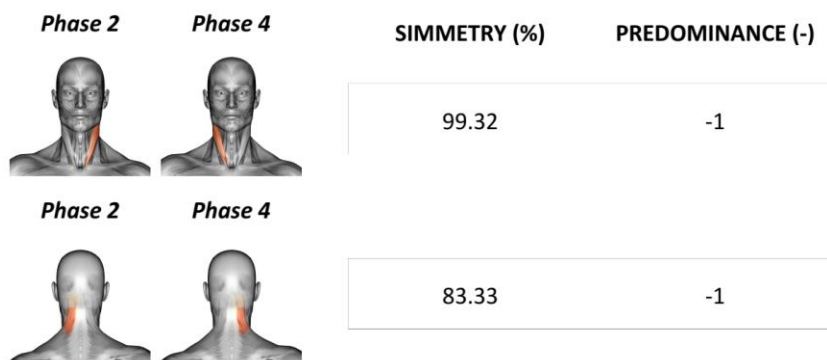


Fig. 35. Índices de simetría y predominio muscular para la flexión lateral. Hay una mayor contribución de los músculos de la izquierda en la fase de contracción concéntrica.

El índice de predominio indica cuál músculo tuvo una mayor contribución energética en su respectiva fase de contracción concéntrica, un valor positivo indica que es el músculo de la derecha, mientras que un signo negativo es el de la izquierda. Como se aprecia en la figura, el caso analizado tiene una contribución energética mayor en los músculos de la izquierda para la flexión lateral.

La contribución energética, los índices de simetría y predominio también se muestran para los otros movimientos. La contracción concéntrica de los músculos para la rotación se analiza de manera similar que en la flexión lateral. En el caso del movimiento de flexión-extensión, la fase concéntrica del músculo derecho e izquierdo coincide. Cuando se realiza la extensión para regresar a la posición neutral desde la posición de flexión, los músculos en contracción concéntrica son los para espinales, mientras que cuando se regresa a la posición neutral desde la extensión el aporte en contracción concéntrica es del esternocleidomastoideo.

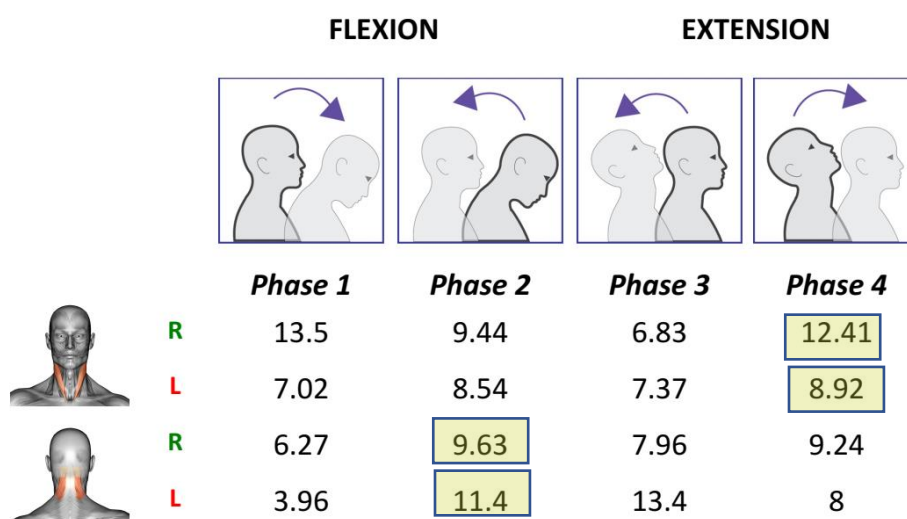


Fig. 36. Contribución energética promedio de los músculos (RMS expresada en μV) para las cuatro fases de la flexión extensión. Aparece resaltado la fase de contracción concéntrica para determinar el índice de simetría.

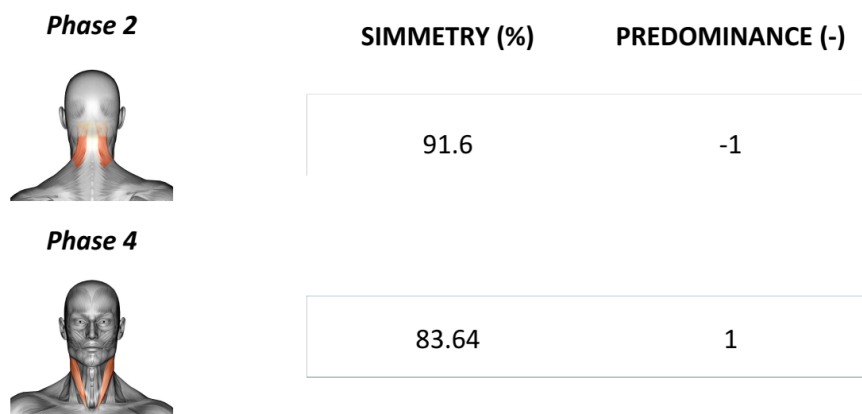


Fig. 37. Índices de simetría y predominio muscular para la flexión extensión.

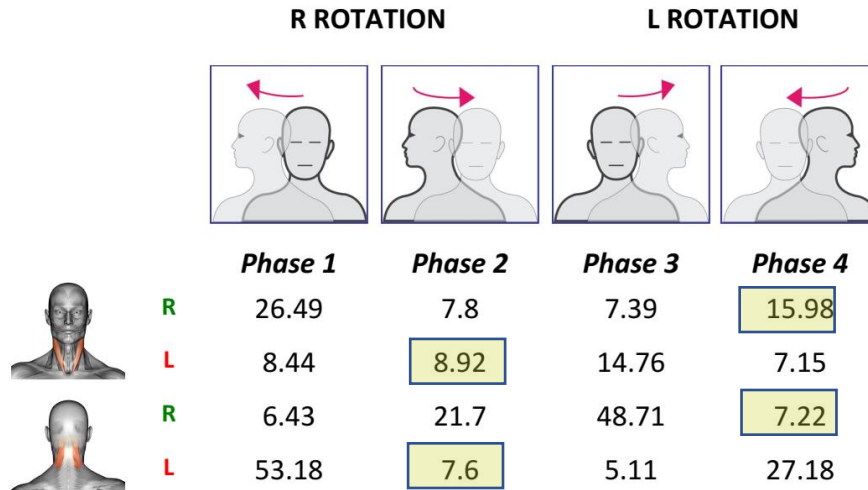


Fig. 38. Contribución energética promedio de los músculos (RMS expresada en μV) para las cuatro fases de la rotación. Aparece resaltado la fase de contracción concéntrica para determinar el índice de simetría.

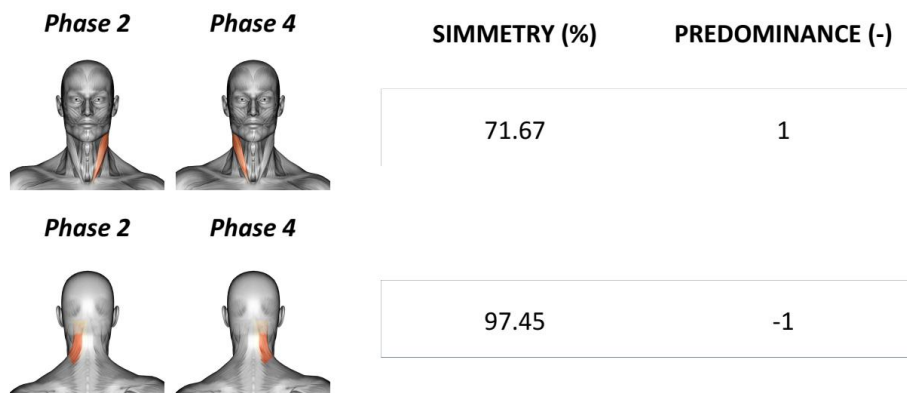


Fig. 39. Índices de simetría y predominio muscular para la rotación.

Por último, se muestran las gráficas de la activación muscular para los tres movimientos de la prueba. Las gráficas se encuentran normalizadas en el eje horizontal de forma porcentual, para establecer la comparación entre los ciclos. En el eje vertical se encuentra la activación muscular (expresada en μV). Las líneas discontinuas verticales indican los desplazamientos máximos, coincidiendo con las fases 1 y 3 del ciclo para cada movimiento. La línea gruesa vertical indica cuando la cabeza pasa por la posición neutral (fase 2) (Fig. 40).

Por ejemplo, en el movimiento de flexión lateral, las líneas discontinuas indican la inclinación máxima de la cabeza a la derecha y a la izquierda respectivamente. La línea gruesa vertical indica cuando la cabeza pasa de la flexión lateral derecha a la izquierda (Fig. 40). Cuando la cabeza pasa por la posición neutral desde la izquierda a la derecha, corresponde con el inicio de un nuevo ciclo. Si no hay alteraciones musculares, se espera que la actividad muscular se corresponda con la fase de contracción concéntrica del músculo. Cuando existe una alteración, entonces el modelo de adaptación al dolor puede resultar en una reducción de la capacidad contráctil y de la actividad electromiográfica (EMG) del músculo agonista,

un aumento de la actividad EMG del músculo antagonista, con movimientos menos potentes y más lentos los músculos antagonistas realizan la compensación del movimiento.

Lateral Bending

The EMG ENVELOPE GRAPHS highlight in movement cycle phase the investigated muscles are ON or OFF.

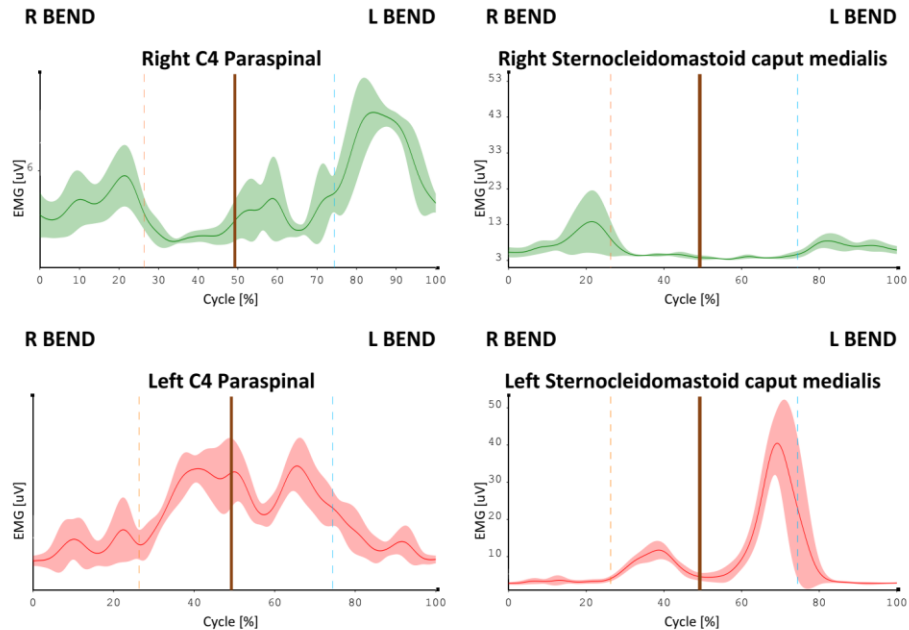


Fig. 40. Actividad muscular para el movimiento de flexión lateral.

Como se mencionó previamente, en la flexión extensión, la fase de contracción concéntrica de los músculos coincide, por lo que se espera que la gráfica de la actividad muscular tenga una forma similar. Las líneas discontinuas verticales indican la posición de flexión y extensión máximas, respectivamente, y la línea gruesa vertical la posición neutral cuando la cabeza pasa de la flexión a la extensión (Fig. 41). Cuando existe una alteración, el músculo esternocleidomastoideo realiza una mayor actividad muscular durante el movimiento de flexión. Los pacientes con dolor de cuello requieren una mayor actividad eléctrica muscular para producir una cantidad equivalente de fuerza en comparación con los controles.

Flex-Extension

The EMG ENVELOPE GRAPHS highlight in movement cycle phase the investigated muscles are ON or OFF.

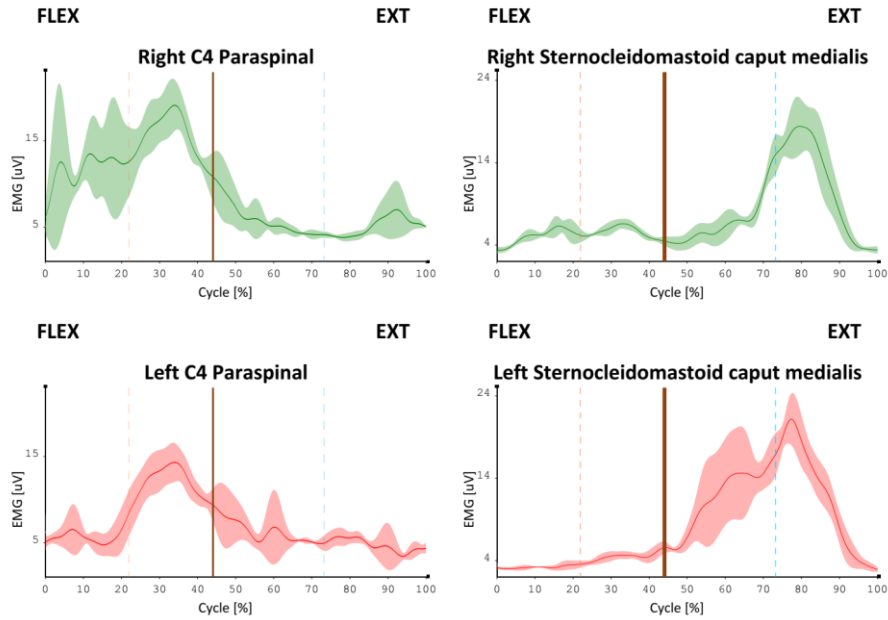


Fig. 41. Actividad muscular para el movimiento de flexión extensión.

Rotation

The EMG ENVELOPE GRAPHS highlight in movement cycle phase the investigated muscles are ON or OFF.

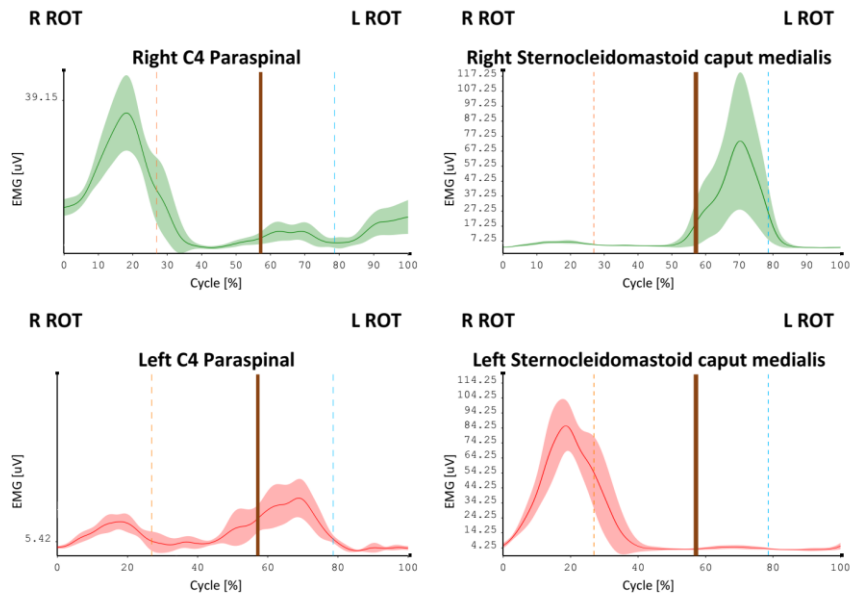


Fig. 42. Actividad muscular para el movimiento de rotación.

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. 43).

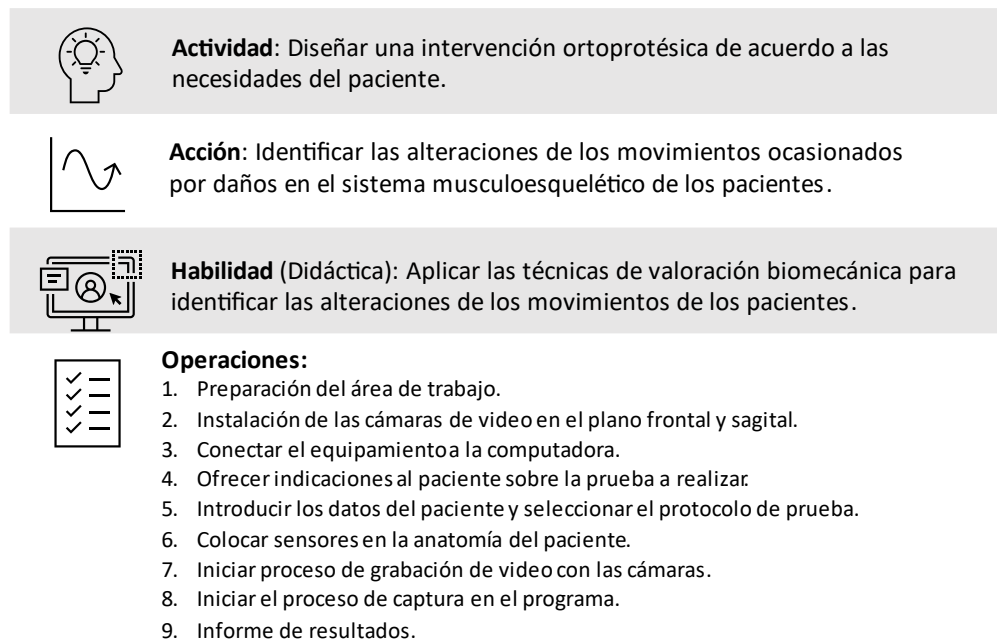


Fig. 43. Relación entre la actividad, acción, habilidades y operaciones que se requieren desarrollar en la actividad práctica.

Después de abordar temas relacionados con la valoración de los movimientos con la tecnología, se debe orientar la práctica de laboratorio. Para 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. 44). 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.

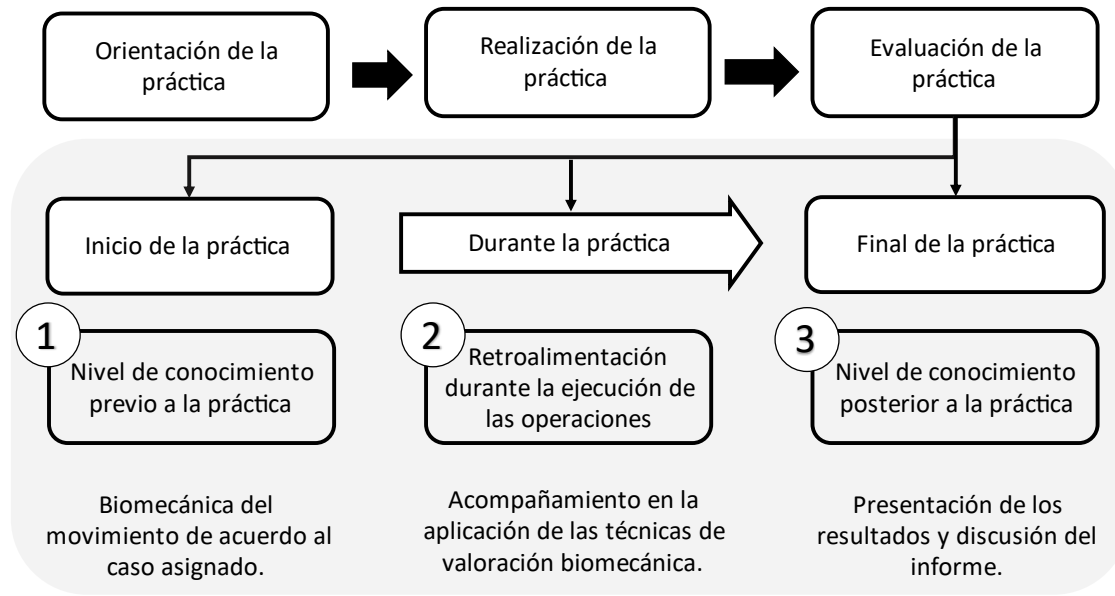


Fig. 44. Esquema de la evaluación del proceso de enseñanza-aprendizaje en tres momentos de la práctica.

Guía de la práctica.

Objetivo:

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

Caso 1:

Paciente femenino de 64 años, ama de casa, asiste a consulta por cervicalgia con evolución de 2 meses, sin traumatismo previo. Antecedentes Preguntados y negados, menopausia a los 46 años y dolor cervical recurrente por el que hace más de 15 años le diagnosticaron "artrosis". Presenta dolor a la exploración mecánica sin irradiación que mejora con el reposo y no limita su actividad diaria. Refiere episodios similares desde hace años que ocasionalmente se acompañan de vértigo y siempre ha tenido dificultad para girar la cabeza, incluso en la infancia. Sin datos febriles o afectación del estado general, astenia ni pérdida de peso. La exploración neurológica es normal.

Caso 2:

Mujer de 21 años, estudiante, sin antecedentes conocidos de interés. Sufrió un accidente de tráfico por colisión. Declara no llevar cinturón de seguridad y se disponía a salir del vehículo por lo que cuello y tronco se encontraban en rotación lateral derecha; tras el impacto se golpeó en miembro superior izquierdo contra las partes rígidas del vehículo.

El día del accidente solicita asistencia sanitaria de urgencias en hospital por dolor cervical y dolor en hombro y codo izquierdos. A la exploración, se observa dolor a la palpación en la musculatura paravertebral bilateral, así como en región anterolateral del hombro, así como deficiencia en el movimiento de cuello y hombro.

Caso 3:

Mujer de 84 años, que sufre caída de base de sustentación en un ascensor, comenta que previamente a la caída tenía una vida independiente, desarrollaba marcha asistida con bastón para trayectos medios y largos. Acudió ese mismo día a urgencias refiriendo dolor cervical y dolor de hombro. Las radiografías cervicales AP y lateral no muestran degeneración discal consistente con la edad, pero sin hallazgos de importancia para lesión ósea aguda. La paciente fue remitida a su domicilio con analgesia y control por su médico de atención familiar.

Acude a los tres meses por tercera vez a urgencias con diagnóstico de cervicalgia intensa con limitación funcional. En la anamnesis refiere dolor 7/10 en la escala EVERA, la paciente la relaciona claramente con la caída que sufrió antes. El dolor se irradia a las zonas retroauricular, parietal y temporal derechas. Tiene dolor cuando habla y cuando come. En la exploración física se observa dolor a la palpación en la musculatura paravertebral cervical, limitación para la flexo-extensión y rotación.

Si usted fuera a evaluar la movilidad del cuello, indique:

- ¿Qué condiciones debe cumplir el lugar o laboratorio para realizar un examen?
- ¿Cuáles son los movimientos que se sugieren para examinar la movilidad de la cervical?
- ¿Cuáles son los músculos que participan en cada uno de los movimientos y cuándo deben activarse?
- ¿Cuáles son las variables espaciales que se determinan en cada movimiento de la prueba?
- ¿Cómo y con qué equipamiento se podría realizar una prueba objetiva de valoración de la movilidad del cuello?
- ¿Cómo identificaría los músculos donde se deben colocar los electrodos?

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.

- Falla, D., Dall'Alba, P., Rainoldi, A., Merletti, R., & Jull, G. (2002). Location of innervation zones of sternocleidomastoid and scalene muscles – a basis for clinical and research electromyography applications. *Clinical Neurophysiology*, 113(1), 57-63. [https://doi.org/10.1016/S1388-2457\(01\)00708-8](https://doi.org/10.1016/S1388-2457(01)00708-8)
- 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>
- Hoy, D. G., Protani, M., De, R., & Buchbinder, R. (2010). The epidemiology of neck pain. *Best Practice & Research Clinical Rheumatology*, 24(6), 783-792. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.berh.2011.01.019>
- 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>
- 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>
- Murphy, B. A., Marshall, P. W., & Taylor, H. H. (2010). The Cervical Flexion-Relaxation Ratio: Reproducibility and Comparison Between Chronic Neck Pain Patients and Controls. *Spine*, 35(24), 2103-2108. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e3181cbc7d8>
- Pan, F., Arshad, R., Zander, T., Reitmaier, S., Schroll, A., & Schmidt, H. (2018). The effect of age and sex on the cervical range of motion - A systematic review and meta-analysis. *Journal of Biomechanics*, 75, 13-27. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2018.04.047>
- 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>
- Prushansky, T., & Dvir, Z. (2008). La prueba de la movilidad cervical: metodología e implicaciones clínicas. *Osteopatía Científica*, 3(3), 108-114. [https://doi.org/10.1016/s1886-9297\(08\)75759-x](https://doi.org/10.1016/s1886-9297(08)75759-x)
- 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>
- 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>