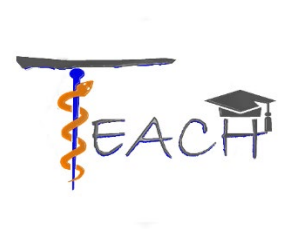


## Development of innovative training solutions in the field of functional evaluation aimed at updating of the curricula of health sciences schools



### MODULO BIOMECÁNICA DE LA COLUMNA VERTEBRAL Unidad Didáctica D: ANÁLISIS INSTRUMENTAL DE LA COLUMNA VERTEBRAL

D.3. ¿Cómo es la valoración biomecánica normal de la columna cervical?



## Indice

1. OBJETIVOS <b>R! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>	¡ERRO
2. VALORACIÓN CLÍNICA Y BIOMECÁNICA <b>R! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>	¡ERRO
3. VALORACIÓN FUNCIONAL DE LA COLUMNA CERVICAL <b>R! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>	¡ERRO
4. VALORACIÓN DEL RANGO DE MOVIMIENTO CERVICAL (ROM) <b>R! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>	¡ERRO
Valoración con inclinometría.....	7
5. VALORACIÓN CINEMÁTICA DE LA COLUMNA CERVICAL <b>R! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>	¡ERRO
6. VALORACIÓN CINEMÁTICA Y ACTIVIDADES DE LA VIDA DIARIA <b>R! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>	¡ERRO
7. VALORACIÓN DE LA FUERZA DE LA COLUMNA CERVICAL <b>R! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>	¡ERRO
Valoración de la fuerza muscular. Isometría cervical .....	17
Valoración de la actividad muscular. EMG de superficie.....	19
8. IDEAS PRINCIPALES <b>R! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>	¡ERRO
9. REFERENCIAS <b>R! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>	¡ERRO



## 1. Objetivos

---

- Conocer cuál es la función de la valoración biomecánica en el ámbito clínico.
- Reconocer resultados normales de una valoración biomecánica cervical
- Familiarizarse con la interpretación de resultados obtenidos de la valoración cinemática cervical en población normal.
- Familiarizarse con la interpretación de resultados obtenidos de la valoración de fuerza muscular cervical en población normal.
- Aplicar conocimientos aprendidos a través de un caso clínico

## 2. Valoración clínica y biomecánica

---

La biomecánica es el análisis del funcionamiento del cuerpo humano desde el punto de vista de la mecánica. Es una ciencia que se encarga del estudio del cuerpo humano o de sus componentes desde un punto de vista mecánico, es decir, estudiando el comportamiento de los cuerpos sometidos a las fuerzas. Por ello, la biomecánica está basada en conocimientos procedentes de la medicina, la biología, la física y la ingeniería y una de sus utilidades es la valoración biomecánica clínica de las funciones humanas.

Se utiliza el conocimiento de la biomecánica para analizar, de forma objetiva, la repercusión funcional que ha producido una determinada lesión o patología del raquis sobre las funciones del mismo (movilidad, soporte y protección). Esta valoración se basa en la aplicación de protocolos de medida que utilizan técnicas instrumentales y que se realizan en un laboratorio de análisis del movimiento humano o, lo que es lo mismo, un laboratorio de biomecánica. Las pruebas biomecánicas orientadas a la valoración del raquis permiten evaluar la función del mismo, es decir, el rendimiento de sistema neuromusculoesqueleto con la movilidad en contraposición con la mayoría de exploraciones clásicas, en las que el individuo es realmente pasivo.

Es importante recordar que el propósito de la valoración biomecánica consiste en objetivar y cuantificar la existencia de una alteración funcional en el raquis de la persona valorada, independiente de la causa que la haya producido. Por tanto, estas pruebas o valoraciones no sustituyen a la anamnesis y exploración física del paciente y el análisis de sus resultados debe estar dentro del contexto clínico.

Puedes consultar detalles sobre los protocolos de medida a los que se hace referencia en esta unidad en la unidad didáctica D.1. ¿cuáles son los protocolos de valoración biomecánica instrumental de la columna cervical?

Recuerda los elementos que determinan una prueba de valoración biomecánica:

- La **función** a valorar.
- La **técnica instrumental** empleada en la valoración.
- El **protocolo de valoración** empleado.
- Los **resultados** obtenidos, en qué unidades y con qué **técnicas de análisis de datos** se han obtenido.
- La existencia de **criterios estándar** para la **interpretación** de los resultados.

El presente tema se focaliza en el análisis de los resultados obtenidos tras la valoración cervical en población normal con técnicas de análisis biomecánico. El alumno adquirirá habilidades para su interpretación y, al final del mismo, el alumno será capaz de reconocer estos resultados y establecer su relación con un patrón normal de funcionalidad cervical.

### 3. Valoración funcional de la columna cervical

---

La columna cervical está localizada en el tercio superior de la columna vertebral y tiene la triple función de soporte, movilidad y protección. Estas funciones permiten que la cabeza este sostenida y que tenga libertad de movimientos, lo cual es un requisito fundamental para que los órganos de los sentidos que se encuentran en esta región funcionen de manera óptima durante las actividades de la vida diaria. Por lo tanto, resulta evidente que la valoración funcional de la columna cervical adquiera relevancia, especialmente por la elevada prevalencia de impedimentos funcionales en el caso de dolor o lesión cervical.

En esta línea, se sabe que hay muchas situaciones que pueden provocar problemas en la movilidad de la columna cervical y, por lo tanto, generar limitaciones funcionales que impidan la correcta realización de las actividades de la vida diaria. Por ejemplo, es usual que pacientes que han sufrido un síndrome de latigazo cervical con una clasificación en la escala de Quebec de grado IIA, más adelante, tengan limitaciones en el rango de movimiento cervical activo y, en ocasiones, también en el rango pasivo. Este hecho es corroborado por autores como Baydal<sup>1</sup> en su tesis doctoral, en la cual además explica la existencia de una relación entre el rango de movilidad y los síntomas subjetivos cervicales referidos por los pacientes. Algunos autores señalan además la relación que existe entre la recuperación del rango de movilidad y una evolución positiva después de una lesión cervical por un accidente de tráfico y, por lo tanto, se considera este parámetro como un indicador sensible para distinguir los sujetos patológicos de los que no lo son. De hecho, otro estudio del mismo autor<sup>2</sup> en el cual se realizó una valoración funcional a través de un estudio cinemático de la columna cervical se encontraron diferencias significativas en el rango de movilidad (ROM) entre los sujetos patológicos (síndrome de latigazo cervical) y los sujetos sanos con una disminución del ROM encontrada en los primeros.

Ou et al<sup>3</sup> destacan la existencia de síntomas como rigidez, debilidad y limitación de la movilidad cuando hay dolor cervical. Ellos usan medidas del rango de movimiento cervical (ROM) para valorar la mejoría general de un grupo de pacientes después de aplicar un determinado tratamiento (en este caso tratamiento con aceites esenciales), encontrando diferencias significativas en los valores de la movilidad antes y después que estarían asociadas a una mejoría de los síntomas, sobre todo del dolor. Otros autores<sup>5-11</sup> también proponen usar la medida de la movilidad cervical para la valoración funcional de un grupo de pacientes con una patología concreta o bien para ver los efectos de determinados tratamientos<sup>12</sup>.

Incluso, es necesario considerar que el ROM no siempre estará afectado porque esto depende del tipo de patología cervical y del grado de severidad. Por ejemplo, en un estudio de Lluch et al<sup>4</sup> se compara dos grupos de pacientes con dolor cervical crónico sometidos a diferentes tipos de tratamientos no encontrándose diferencias significativas en el ROM entre estos dos grupos. Esto indica que, en ocasiones, estarían indicados otros tipos de abordaje que se centren en otras variables como el dolor, la fuerza y la actividad muscular.

Durante la valoración funcional de la columna cervical, el abordaje cinemático es esencial ya que muchas de las variables que se ven afectadas en el caso de lesión cervical son el rango de movimiento (ROM), el cual es fundamental para la realización de muchas actividades de la vida diaria; y el control motor, que se puede medir con un abordaje cinemático a través de

diferentes pruebas. Además, un complemento esencial a la medición de estas variables es la medida de la fuerza y actividad muscular cervical.

## 4. Valoración del rango de movimiento cervical (ROM)

El raquis cervical normal puede realizar desplazamientos según seis grados de libertad. Los patrones fisiológicos de movimiento del raquis son la flexo-extensión, la flexión lateral y la rotación axial. La flexo-extensión es un movimiento contenido en el plano sagital compuesto de rotaciones y traslaciones. La flexión lateral es, del mismo modo, un movimiento compuesto de rotaciones y traslaciones pero contenidas en el plano frontal. La rotación axial es, por el contrario, un movimiento de rotación puro con el eje longitudinal de las vértebras.

En ausencia de sollicitaciones externas, la movilidad del raquis se debe a la actuación de la musculatura. Los músculos agonistas inician el movimiento, mientras que los antagonistas lo controlan. El rango de movilidad vertebral varía de un nivel a otro, dependiendo principalmente de la orientación de las carillas articulares. El movimiento global del raquis puede considerarse como la acción combinada de un conjunto de unidades vertebrales funcionales y es este movimiento global el que se valora por medio de las pruebas biomecánicas.

Para medir el rango de movimiento cervical y obtener resultados fiables, es necesario considerar una posición de referencia que sea repetible. Esto hace que se requiera un protocolo de medida muy preciso. El rango de movilidad viene afectado por las variables edad y sexo. Por ejemplo, no posee el mismo rango de movilidad cervical una mujer de 70 años que una mujer de 20 años o que un hombre de su misma edad. Aún así, pocos son los resultados publicados que tienen en cuenta esta diferencia. La mayoría de las referencias bibliográficas establecen diferencias de sexo en las que las mujeres presentan una mayor movilidad cervical que los hombres, sin embargo, las diferencias no son estadísticamente significativas<sup>12</sup>. La edad repercute en la movilidad cervical, de forma que en la época de los 60, Ferlic et al<sup>13</sup> realizó un estudio para determinar la influencia de la edad en el rango de movilidad cervical. Concluyó que en el periodo de edad comprendido entre los 15 y los 74 años, el decremento del rango de movilidad era del 21% en flexo-extensión, 35% en flexión lateral y 20% en rotación axial. En 1992, Youdas<sup>14</sup> publicó información más definitiva acerca de los rangos de movilidad de la columna cervical, medido mediante electrogoniometría y con pruebas de movilidad pasiva. En su trabajo se puede consultar los resultados (media y desviación estándar) segmentados por sexo y por edad. Este autor encuentra que la movilidad se reduce unos 4º por década tanto en varones como en mujeres. Más recientemente, en el año 2000, se publicaron las tablas de movilidad de Castro<sup>15</sup>. Sus resultados también se muestran segmentados por edad y género y como técnica de medida se utilizó un sistema de ultrasonidos. En 2002 se pueden consultar las de Ferrario<sup>16</sup>, las cuales están segmentadas por sexo, pero no por edad. Estas medidas se realizaron mediante fotogrametría. Aún así, la American Medical Association y la American Academy of Orthopaedic Surgeons<sup>17</sup> publicaron patrones de normalidad de los rangos de movilidad cervical, pero no segmentaron por sexo ni por grupos de edades.

La variedad de datos existentes en las publicaciones científicas hacen que se deba reflexionar en el análisis que se puede hacer ya que para hacer una interpretación más exacta de los resultados, se deben comparar con aquellos que se hayan obtenido con la misma técnica de medida y protocolo de valoración.

Como conclusión, destacar que para llevar a cabo la interpretación de los resultados de una valoración biomecánica cervical del rango de movilidad existen tres posibilidades. Por un lado,



se pueden comparar los resultados obtenidos con los obtenidos de un grupo de sujetos comparable a las características de la persona valorada y medidos con la misma técnica de medida y protocolo (bases de datos). Por otro lado, se pueden comparar los resultados dentro del mismo sujeto cuando son obtenidos de diferentes sesiones de valoración dentro de un mismo proceso clínico. Y por último, se podrían comparar los resultados con unos valores de referencia que hayan sido aceptados y validados por la comunidad científica. Esta última posibilidad se utiliza mucho en la valoración clínica de movilidad articular, aunque siendo conscientes de que las deficiencias que se pueden encontrar pueden estar justificadas por factores asociados a las diferencias tanto de constitución física del sujeto como de equipo y protocolo de medida aplicado. En estos casos hay que tener cuidado con la interpretación que se haga y tener siempre en cuenta los datos clínicos del paciente.

A continuación, se muestra por un lado el tipo de resultados que se obtienen tras la valoración del rango de movilidad con algunas técnicas biomecánicas y, por otro lado, criterios estandarizados para la interpretación de los mismos.

## Valoración con inclinometría

La inclinometría es una técnica sencilla y portable que permite medir la movilidad cervical. La Asociación Médica Americana (AMA)<sup>17</sup> los considera como método viable y potencialmente preciso para la determinación de la movilidad de la columna, ya que se pueden palpar fácilmente las estructuras óseas subcutáneas que delimitan los extremos de la tres regiones de la misma (cervical, dorsal y lumbar).



Figura 1. Sistema de doble inclinometría electrónica, situada sobre las prominencias óseas correspondientes (occipital-D1), para valoración de la amplitud articular máxima en el movimiento de flexo-extensión del raquis cervical.

El resultado que se obtiene con este equipo de medida es:

- **Amplitud máxima en grados** de la movilidad activa del segmento del raquis valorado.

De forma indirecta y a partir del resultado anterior, se puede obtener o calcular:

- **Pérdida o déficit de movilidad** (PM) en porcentaje del segmento valorado con respecto a valores de referencia.

Dentro de la amplitud máxima, los valores de movilidad se pueden presentar en términos de amplitud total, que es un valor total para los planos sagital, frontal y transversal que da lugar a tres resultados, o se puede presentar a través de las direcciones primarias de movimiento como son la flexión y la extensión, con lo que al final, en una valoración completa de la movilidad de columna cervical serán seis resultados (flexión, extensión, flexión lateral derecha, flexión lateral izquierda, rotación derecha y rotación izquierda).

Para llevar a cabo la interpretación de resultados con este tipo de prueba, se deben comparar los mismos con los resultados de un grupo de sujetos sanos, comparables a las características de la persona valorada y medidos con la misma técnica de medida y protocolo. Aún así, lo más frecuente es comparar los resultados con unos valores de referencia de movilidad cervical aceptados y validados por la comunidad científica. Otra posibilidad completamente válida, es comparar los resultados dentro del mismo sujeto cuando son obtenidos en diferentes sesiones de valoración.

A continuación, se muestran los resultados de la amplitud máxima de movilidad cervical activa obtenidos tras la valoración biomecánica cervical de una persona sin patología ni patrón doloroso en raquis cervical. Para realizar esta medida se ha utilizado la técnica de doble inclinómetro y se han aplicado las recomendaciones de medida de raquis cervical tanto para posición como en número de repeticiones de medida de la Asociación Médica Americana (AMA).

	Pos. Neutra (OCC/D1)	Pos. Flexión (OCC/D1)	Pos. Extensión (OCC/D1)	Flexión	Criterio AMA	Extensión	Criterio AMA
1ª	9,7° / 19,6°	64,4° / 51,3°	-37,8° / 1,3°	23,0°	OK	29,0°	OK
2ª	12,7° / 21,0°	66,8° / 51,6°	-36,8° / -0,7°	23,0°	OK	27,0°	OK
3ª	8,0° / 17,3°	67,9° / 51,9°	-43,9° / -6,4°	25,0°	OK	28,0°	OK

Figura 2. Resultados registrados por cada inclinómetro (técnica de doble inclinómetro) situados sobre occipucio (OCC) y espina primera dorsal (D1) para valoración del rango de flexo-extensión del raquis cervical. Se cumple el criterio de repetibilidad de las medidas (Criterio AMA).

Con los resultados mostrados Figura 2 se cumplen los criterios de repetibilidad definidos por la Asociación Médica Americana y, por tanto, se dan como válidos los resultados de flexión y extensión del raquis cervical obtenidos en tres registros consecutivos. La deficiencia final en movilidad que se considera es la correspondiente al mayor ángulo medido de las tres determinaciones.

Si analizamos los resultados del ejemplo, el paciente presenta unas determinaciones de flexión a nivel del inclinómetro situado en Occipital de 54,7°, 54,1° y 59,9° para cada una de las repeticiones. Y de flexión a nivel del inclinómetro en D1 de 31,7°, 39,6° y 34,6°. Estos valores son el resultado de restar la determinación de cada inclinómetro en flexión máxima de su determinación en posición neutra. Por ejemplo, en la primera repetición, del inclinómetro situado en Occipital se restaría la posición de máxima flexión (64,4°) de la obtenida en la posición neutra (9,7°), siendo el resultado 54,7° de flexión real con ese inclinómetro. En el caso de D1 se sigue el mismo procedimiento restándose a la posición de máxima flexión (51,3°) la registrada en la posición neutra (19,6°), siendo el resultado de flexión real de ese inclinómetro de 31,7°. Por ello, la flexión real de raquis cervical determinada con doble inclinómetro en la primera repetición se obtiene de la resta de la determinación real en flexión

del inclinómetro Occipital frente a la del inclinómetro D1 (54.7°- 31.7°), siendo el resultado de 23° de flexión máxima. Este procedimiento de cálculo es el que se sigue con todas las determinaciones, sea cual sea el movimiento medido. Ahora bien, si los inclinómetros utilizados forman parte de un software este cálculo lo realiza de forma automática facilitándole al médico valorador el proceso.

Aplicando el mismo procedimiento de cálculo, en la segunda repetición es 23° y en la tercera repetición es 25°. La media de los ángulos de flexión cervical es de 23.7°, y las tres determinaciones no se han desviado en más de 5° de la media. Por consiguiente, se han cumplido los criterios de validez de la determinación, y se utiliza para la interpretación de resultados desde el punto de vista clínico el ángulo de flexión máximo de la serie válida, por tanto, en este caso, 23°. En las siguientes figuras se muestra el resultado final (realizados ya todos los cálculos) de una valoración cervical con técnica de doble inclinómetro, en una persona sin limitación de movilidad.

	Amplitud máxima	PM frente referencia AMA
Flexión	80°	0%
Extensión	70°	0%
Flexión Lateral Izquierda	45°	0%
Flexión Lateral Derecha	42°	7%
Rotación Izquierda	80°	0%
Rotación Derecha	80°	0%

Figura 3. Resultados de amplitud máxima de movimiento activo raquis cervical y porcentaje de pérdida o déficit de movilidad (PM) en cada una de las pruebas con respecto a los valores de referencia de la American Medical Association (AMA). Se han utilizado dos inclinómetros para obtener estos resultados.

Siendo la siguiente gráfica otra forma de mostrar los resultados:

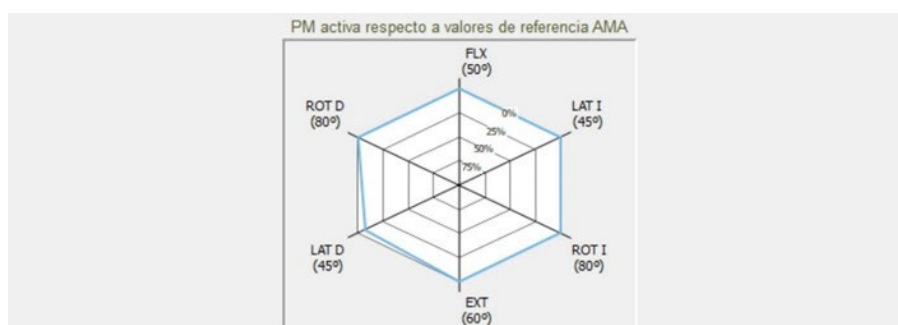


Figura 4. Comparativa gráfica del porcentaje de pérdida de movilidad activa cervical respecto a los valores de referencia de la American Medical Association (AMA) en cada uno de ejes de movimiento valorados. Estos valores de referencia se encuentran entre paréntesis y el porcentaje de pérdida de movilidad está representado por la línea azul.

Para realizar la **interpretación de este tipo de valoración**, se recomienda al alumno seguir unos criterios estandarizados de interpretación buscando respuesta para los mismos:

- ¿Cual ha sido la amplitud máxima registrada para cada uno de los movimientos?.
- ¿Se considera la movilidad registrada para cada uno de los ejes dentro de la normalidad?.
- ¿Qué valores se han tomado como referencia de normalidad?.
- ¿Cual es el movimiento más limitado o con mayor pérdida de movilidad? ¿Y el menos limitado?.
- La pérdida de movilidad registrada ¿es significativa?.
- ¿Se han encontrado asimetrías importantes en la lateralidad de los movimientos?

Aplicando estos criterios de interpretación puedes dar respuesta a los resultados del ejemplo que se ha planteado. Por ejemplo, la interpretación que se haría sería:

Como puede comprobarse en la tabla de la Figura 3 ,se ha obtenido un valor máximo de 80° para le flexión y 70° para la extensión. 45° y 42° para la flexión lateral izquierda y derecha respectivamente. Y 80° para cada una de las rotaciones.

En general, estos valores se consideran normales dentro de la movilidad de raquis cervical puesto que son mayores que los valores de referencia que se están utilizando en esta valoración (50° para la flexión y 60° para la extensión, 45° para las lateralizaciones y 80° para las rotaciones) tal y como muestra el gráfico de la Figura 4.

Se puede decir que la flexión lateral derecha se encuentra un poco por debajo del su valor de referencia (42° frente a 45°), pero esta diferencia no es significativa puesto que la pérdida de movilidad (PM) se encuentra por debajo del 10%. Se empezaría a considerar la pérdida de movilidad significativa cuando se encuentre por encima del 10%.

No se registran asimetrías importantes, ya que la única diferencia que existe se encuentra en las inclinaciones laterales y solo es de 3°.

En resumen, en el caso planteado, la interpretación final de los datos registrados con inclinómetros es que la movilidad cervical en el paciente ha sido muy buena, siendo de forma general igual o superior a los valores de movilidad que se han considerado como de referencia y no existen asimetrías importantes. Por tanto, se considera como una movilidad normal, no existiendo deficiencia de la movilidad cervical en los movimientos cervicales analizados.

## 5. Valoración cinemática de la columna cervical

Con el análisis cinemático del movimiento, no se obtiene únicamente el range of motion (ROM), sino que permite una definición más precisa del mismo a través, por ejemplo, del registro de movimientos acoplados, el cálculo de velocidad del movimiento y el análisis de la suavidad y de la repetibilidad en el mismo.

Algunas de las técnicas que se utilizan para valorar los ya mencionados parámetros cinemáticos son la fotogrametría o los inerciales. Para obtener parámetros cinemáticos del movimiento del raquis cervical, el paciente puede hacer un movimiento cíclico alcanzando su máximo rango de movimiento a una velocidad confortable para él. In a kinematic assessment of the cervical spine you can compare the results obtained with a control group of people (group of healthy subjects). They are some reference data, in order to determine outcomes properly. Recordad que, en estos casos, para hacer una correcta y válida comparación, se deben haber obtenido con la misma técnica de medida y el mismo protocolo de valoración.

Al utilizar un sistema de análisis cinemático, se obtiene también información del movimiento del raquis en los otros planos. Este hallazgo es normal, ya que el movimiento que se produce en columna es un movimiento acoplado. Se definen movimientos acoplados aquellos movimientos de rotación o traslación que están asociados a otros movimientos simultáneos de rotación o traslación sobre un eje distinto. Estos movimientos acoplados (coupling), junto con los movimientos primarios, forman parte de la movilidad cervical, y en personas sin síntomas se caracterizan por variaciones individuales. Es motivo de controversia si la edad tiene efecto en el acoplamiento. Trott et al <sup>18</sup> observaron en un estudio con hombres y mujeres sanos que la edad tenía un efecto menor. Por el contrario Malmstrom et al <sup>19</sup>, con una muestra similar a ese estudio observó que la edad tenía un efecto considerable.

Para realizar la **interpretación de los resultados** de valoración cinemática del movimiento del raquis cervical se recomienda al alumno añadir a los criterios comentados en el apartado anterior (valoración con inclinometría) los siguientes:

- ¿Cómo ha sido la velocidad del movimiento realizado en cada uno de los ejes? ¿Ha sido un movimiento lento? ¿Ha sido un movimiento rápido?.
- ¿El patrón de movimiento realizado ha sido repetible?
- ¿Es suave el movimiento realizado?

A continuación, para ir aplicando estos criterios de interpretación y al mismo tiempo para familiarizarse con los resultados obtenidos con este tipo de valoración, se muestra el registro de un movimiento cíclico de flexoextensión cervical en una persona sin dolor ni patología en columna cervical. Se ha utilizado para su medida un sistema de fotogrametría que ha registrado durante 30s varios ciclos consecutivos de movimientos de flexo-extensión del raquis cervical (línea roja) a una velocidad confortable para la persona medida.

En este caso, el componente fundamental del movimiento ha ocurrido en el plano sagital. La línea roja representa en ángulo de flexión (representado con signo negativo) y extensión (representado con signo positivo) total. Además, puede observarse como existe cierto componente de movimiento acoplado en los otros dos ejes, con una mínima rotación (representada en azul) y flexión lateral (representada en verde) adheridas. En sujetos con

patología y dolor cervical que les produce una alteración funcional, es frecuente observar limitación de la movilidad durante esta prueba.

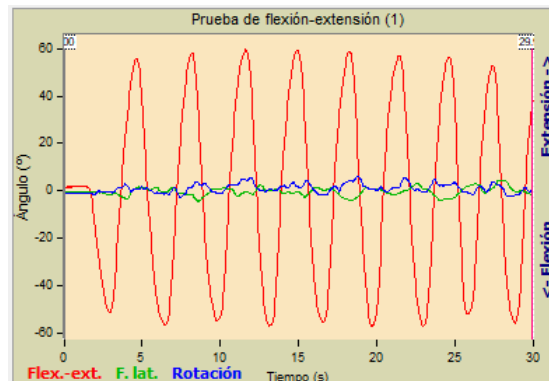


Figura 5. Representación de la movilidad de flexo-extensión cervical (línea roja), durante un periodo de tiempo (30s), junto con los movimientos acoplados (líneas verde y azul) obtenido con un sistema de análisis cinemático (3D fotogrametría).

Con los resultados de la gráfica anterior (Figura 5) se puede decir que el movimiento cervical de la persona medida ha sido rápido, lo que es compatible con un patrón normal. Se ve que es rápido porque en 30s realiza 8-9 ciclos de flexo-extensión a una velocidad confortable. Si el movimiento fuese lento, el número de ciclos registrado en este intervalo de tiempo sería mucho menor. Esto lo podremos observar en temas posteriores, al hablar de la valoración cervical en patología del raquis cervical.

Además, ante un gráfico con resultados de este tipo también se obtiene la máxima amplitud cervical alcanzada. Para obtener datos más precisos se necesitaría consultar los valores numéricos de máximos en cada uno de los ciclos y obtener su promedio como representativo del movimiento cervical. En este caso concreto se alcanza un máximo aproximadamente de 60° tanto para la extensión como para la flexión cervical, tal y como se puede ver determinando los valores de los picos máximos de las curvas (ciclos de movimiento) en la Figura 5.

Otra forma en la que se puede encontrar la representación de los resultados es haciendo referencia sólo a los grados de movilidad (amplitud de movimiento) y su relación con respecto a un patrón de referencia, ya sean valores de AMA como se ha mostrado previamente con los inclinómetros, o valores de una muestra control sana que realiza el gesto aplicando el mismo protocolo y técnica instrumental de medida. Por ello, para hacer una interpretación correcta deberemos saber qué tipo de valores son los que se están utilizando como referencia.

En el ejemplo que se representa en la siguiente gráfica, los valores de referencia son los obtenidos de una base de datos formada por personas sin dolor ni patología cervical que ha sido medida con la misma técnica de medida y protocolo que la persona valorada. Este aspecto, si no se indica con los resultados o informe que se muestre, no se podrá saber al ver únicamente esta gráfica (Figura 6).

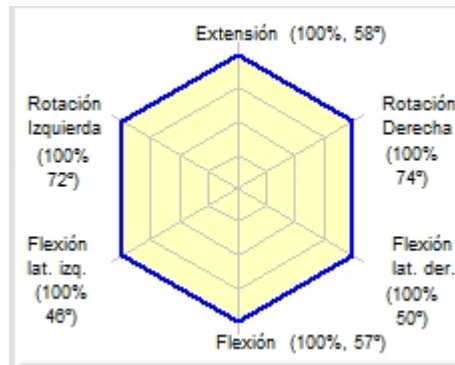


Figura 6. Hexágono visual de rango de movilidad objetivado junto con su porcentaje de normalidad. Constan amplitud del movimiento en grados y el porcentaje de normalidad correspondiente a dicha amplitud según la comparación con una base de datos de personas sin patología cervical del equipo de medida utilizado (NedCervical/ IBV).

En la Figura 6 se muestran los valores absolutos, en grados, obtenidos en cada uno de los ejes del movimiento, y la situación del promedio de la amplitud de movimiento realizada por la persona valorada (línea azul) con respecto a un patrón de referencia (base de datos de normalidad del sistema de valoración del raquis cervical NedCervical/IBV). En este sistema de valoración, este patrón de referencia está segmentado por edad y género. Cuánto más externa esté situada la línea azul en esta gráfica, más normal o próximo a los rangos normales de movilidad se encuentran los resultados de la persona valorada.

En el ejemplo, los rangos de movilidad se consideran normales en todos los movimientos analizados, y además se objetiva una simetría en grados en los movimientos de rotación y flexión lateral ya que hay poca diferencia entre los grados realizados a un lado y a otro. El valor que se encuentra entre paréntesis y en porcentaje indica lo próximo que se encuentra ese movimiento concreto con respecto a lo que se considera normal en el sistema de valoración aplicado, considerándose la normalidad en un intervalo que va desde el 90% al 100%. Lo más alejado de ella es un 0%. Esta forma de interpretación del resultado en porcentaje de normalidad se encuentra sólo en la aplicación NedCervical/IBV. Si quieres conocer algo más sobre este tema puedes leer el siguiente artículo<sup>20</sup>.

*Baydal Bertomeu, J.M., Serra Añó, M.P., Garrido Jaén, J.D., López Pascual, J., Matey, F., Gimeno, C., Soler, C., Dejoz, R. Desarrollo de una nueva metodología para la valoración de la movilidad cervical basada en técnicas de fotogrametría. Rehabilitación, 2007; 41(2):53-60*

Tal y como hemos visto en Figura 5, cuando el raquis se mueve, lo hace con una velocidad más o menos rápida. El análisis de esa velocidad informa también de las características del movimiento ejecutado y ayuda a diferenciar entre un patrón normal o un patrón alterado de movimiento. Ohberg<sup>21</sup> identificó la velocidad angular como la variable más discriminativa entre un grupo sano y un grupo patológico. Otros autores como Grip<sup>22</sup> y Sløjander<sup>23</sup> también

estudiaron este parámetro y, aunque el poder discriminativo que encontraron no era tan importante, sí coinciden en establecer que el patrón más frecuente es el de disminución de la velocidad de movimiento del grupo de patología cervical con dolor, con respecto a un grupo control o de personas sin patología ni dolor cervical.

En los siguientes gráficos se muestra el movimiento de la columna cervical realizado por una persona para cada uno de los ejes del movimiento (flexo-extensión, flexiones laterales y rotaciones). Aquí se está representando la velocidad angular del movimiento del raquis cervical ( $^{\circ}/s$ ) frente al ángulo de movilidad ( $^{\circ}$ ).

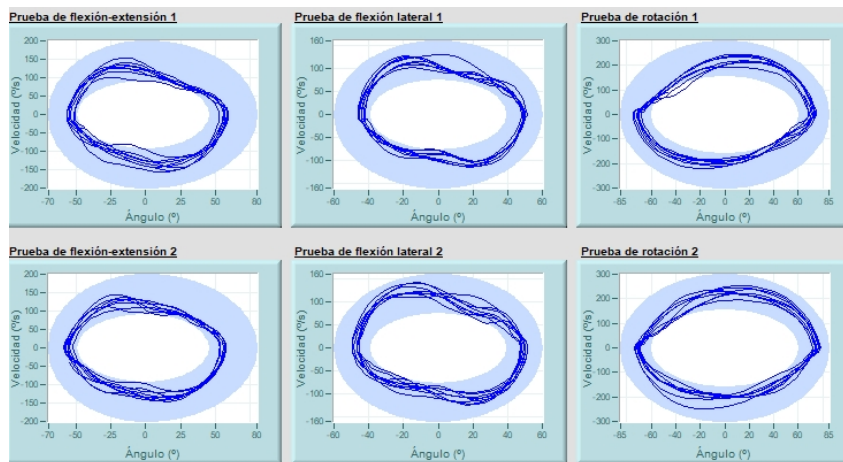


Figura 7. Gráficos que representan la velocidad angular con respecto al ángulo de movimiento cervical correspondientes a dos registros realizados de cada uno de los movimientos (flexo/extensión, flexiones laterales y rotaciones). La banda azul representa el patrón normal considerado en el equipo de medida utilizado y que está sirviendo como referencia para saber cómo es el movimiento de la persona valorada (NedCervical/IBV).

Si nos muestran unas gráficas de este tipo, deberemos saber qué es lo que se está representando, y a partir de ahí podremos comprobar los rangos obtenidos y la velocidad del movimiento que se ha utilizado para alcanzar los mismos. La banda azul, en este caso, indica donde está el patrón que sirve de referencia para conocer si el movimiento realizado está dentro de un patrón normal o no. Se considera patrón normal aquel que tiene un buen rango (amplio) y buena velocidad de movimiento (rápida). Y en el caso de que no lo esté, se puede ver si está muy alejado.

Otra de las informaciones que podemos encontrar ante un análisis cinemático del movimiento es la suavidad en la ejecución del mismo. Esta información guarda relación con la no existencia de vacilaciones o paradas mientras se mueve el cuello, lo que podría guardar relación con puntos dolorosos durante el recorrido articular o control voluntario del gesto realizado por miedo al dolor. Respecto a la suavidad del movimiento, hay trabajos que demuestran que la existencia de lesión neurológica puede afectar al control del movimiento y, por tanto, disminuir notablemente la suavidad en su ejecución<sup>24, 25</sup>. Sjölander<sup>23</sup> encontró que en personas con dolor cervical tenían una menor suavidad en el movimiento.

La repetibilidad es otro de los parámetros que se miden en este tipo de valoración. Este parámetro informa de la estabilidad de los resultados obtenidos en una misma sesión. Esta información está relacionada con la implicación o esfuerzo del paciente en realizar la medida al máximo de sus posibilidades físicas. Una repetibilidad elevada en una valoración de



persona aparentemente sana le da consistencia a los resultados obtenidos. Al final, la repetibilidad medida, en muchas ocasiones a través del coeficiente de variación (cociente obtenido al dividir la desviación estándar de las repeticiones por su promedio y multiplicado por 100), establece un porcentaje para determinar la consistencia en el rendimiento realizado por la persona valorada. Según Dvir et al<sup>26</sup> el coeficiente de variación en la movilidad cervical dentro de una misma sesión de medida está dentro del 5%.

En resumen, y para finalizar, se considera que se cumple un patrón de funcionalidad normal en la movilidad cervical cuando el análisis biomecánico del movimiento muestra una movilidad amplia, simétrica, rápida y repetible. Este sería el patrón global de referencia que se debe buscar ante una valoración de este tipo, aun así, una alteración en alguna de estas características no implica por sí sola alteración funcional cervical. Por ejemplo, un resultado de una valoración con buena amplitud de movimiento, elevada repetibilidad y baja velocidad, dentro del contexto de un proceso clínico en el que el paciente no refiere dolor ni limitación, se puede considerar normal, aunque se ejecute un movimiento de forma lenta y controlada, como podría ser por estrategia de protección frente al dolor o a la reparación del mismo.

## 6. Valoración cinemática y actividades de la vida diaria

En ocasiones se utilizan técnicas de análisis cinemático para registrar y valorar el movimiento del raquis cervical mientras la persona realiza una actividad de la vida diaria que le requiere girar la cabeza, flexionar o extender. La información que se obtiene de este tipo de pruebas se basa en los parámetros que ya han sido comentados en el apartado anterior, destacando fundamentalmente la amplitud de movimiento cervical necesario para realizar estas actividades o la velocidad en la ejecución del mismo.

En el siguiente ejemplo se muestran los resultados de una prueba de análisis cinemático del movimiento en la que se le pide a la persona que gire su cabeza para dirigir la mirada a determinadas lámparas situadas en el techo a su derecha, izquierda y encima de él. De esta forma, la persona que está siendo valorada realiza un gesto que engloba movimientos tanto de rotación como de flexo extensión y con un nivel de exigencia en la amplitud menor a la de rangos máximos.



Figura 8. Gráfico de la movilidad del raquis cervical al dirigir el paciente su mirada a una lámpara situada a su izquierda, encima de él y a su derecha.

En la siguiente tabla se muestra el resultado obtenido con respecto al rango, velocidad y aceleración máxima al ejecutar los gestos solicitados. Los valores se encuentran expresados en porcentaje de normalidad ya que los valores absolutos de cada parámetro, han sido comparados con una base de datos de sujetos sin patología del raquis cervical. Si el resultado registrado en esta tabla está por encima del 90%, se interpreta como un valor dentro de un patrón normal de movimiento.

	Rango		Velocidad máxima		Aceleración máxima		Valoración
	Flex.-ext.	Rotación	Flex.-ext.	Rotación	Flex.-ext.	Rotación	
Prueba 1 (izq.)	100.0	100.0	100.0	100.0	90.8	100.0	98.5
Prueba 2 (central)	100.0	-	92.2	-	85.4	-	92.5
Prueba 3 (der.)	100.0	100.0	100.0	100.0	94.6	100.0	99.1

Figura 9. Resultado en porcentaje de normalidad de cada una de las pruebas funcionales. Valores inferiores al 90% se consideran no normales o alterados funcionalmente.

Por tanto, con estos resultados se puede concluir que los movimientos realizados son normales y se encuentran dentro de un patrón normal de rango de movilidad y rapidez del movimiento (velocidad/aceleración angular).

## 7. Valoración de la fuerza de la columna cervical

La evaluación de la fuerza del raquis cervical mediante técnica instrumental está menos extendida que en la valoración de fuerza del raquis lumbar. Aún así, se hace a continuación una descripción de los resultados de este tipo de pruebas que pueden ser utilizadas para conocer el estado de la musculatura cervical.

### Valoración de la fuerza muscular. Isometría cervical

Existen diferentes sistemas para valorar la fuerza muscular cervical y uno de los más utilizados es la dinamometría isométrica. Para hacer una valoración de la fuerza isométrica se pueden emplear dinamómetros manuales o, dinamómetros más sofisticados como los que están integrados en las máquinas de isocinéticos.

Un dinamómetro manual para raquis cervical, es un equipo ligero, portable y fácil de utilizar. En esta modalidad de valoración, el paciente debe hacer un esfuerzo máximo muscular contra el dinamómetro que suele estar sujeto por parte del valorador de una forma estática. El test se puede realizar diciéndole al sujeto que haga la acción de fuerza, es decir, que empuje contra el equipo en la dirección que se quiere estudiar. Este tipo de valoración se centra fundamentalmente en la musculatura flexora y extensora de raquis cervical, y como en todo tipo de medida el protocolo debe estar muy estandarizado y controlado. El análisis isométrico también puede hacerse con máquinas conectadas al ordenador y en las que habitualmente se requiere la sedestación del paciente. La posición del paciente es importante, como en todo tipo de pruebas de valoración biomecánica. Se debe fijar correctamente pelvis y tronco para que no compense con otros movimientos.

Los resultados más habituales que se obtienen con este tipo de valoración de fuerza en el raquis cervical son:

- ~ Fuerza máxima flexora cervical, que es el máximo de fuerza de la musculatura flexora en condiciones isométricas.
- ~ Fuerza máxima extensora cervical, que es el máximo de fuerza de la musculatura extensora.
- ~ Fuerza media flexora es la media de los máximos de fuerza realizados en las repeticiones que considere el protocolo.
- ~ Fuerza media extensora es la media de los máximos de fuerza realizados en las repeticiones.
- ~ Coeficiente de variación que es el porcentaje de variabilidad de la fuerza obtenido de las repeticiones realizadas.
- ~ Ratio de la fuerza máxima flexores/extensores y/o el ratio de la fuerza media flexores/extensores.

Es difícil establecer datos normativos de la fuerza isométrica cervical porque aunque existen estudios que muestran la fiabilidad y validez de este tipo de valoración, los protocolos y la instrumentación utilizada es tan variable entre ellos que hace imposible el establecerlos.

En la siguiente publicación puedes consultar algunos de estos valores<sup>27</sup>:

Garces, G. L., Medina, D., Milutinovic, L., Garavote, P., & Guerado, E., (2002). Normative database of isometric cervical strength in a healthy population. *Medicine and science in sports and exercise*, 34(3), 464-470.

En líneas generales, los valores obtenidos de fuerza máxima isométrica para los extensores de la columna cervical en las mujeres y en los hombres varían bastante en las publicaciones consultadas. Lo que sí que parece ser coincidentes es que la fuerza obtenida en hombres es mayor que en las mujeres y, dentro de los grupos musculares, es mayor la fuerza de extensión que la de flexión en un orden del 50-60% aproximadamente. Esto es debido a que la musculatura extensora tiene un papel fundamentalmente postural y por tanto, los músculos de la nuca deben contrarrestar en todo momento el peso de la cabeza que tiende a hacerla caer hacia delante. Esta situación anterior del centro de gravedad de la cabeza explica la relativa potencia de los músculos posteriores de la nuca respecto a los músculos flexores del cuello. De hecho, los extensores luchan contra la gravedad, mientras que los flexores la asisten. Esto explica también que existe un tono permanente de los músculos de la nuca que se opone a la caída de la cabeza hacia delante.

Para realizar la **interpretación de los resultados** de valoración isométrica de fuerza del raquis cervical se pueden seguir los siguientes criterios:

- ¿Cual ha sido el máximo de fuerza registrada para cada uno de los grupos musculares?.
- ¿Siguen un patrón de relación agonista/antagonista normal?
- ¿Han sido repetibles los valores registrados?

A continuación se muestran los resultados que pueden ser obtenidos tras la valoración de fuerza isométrica cervical en una persona sin dolor ni patología cervical.

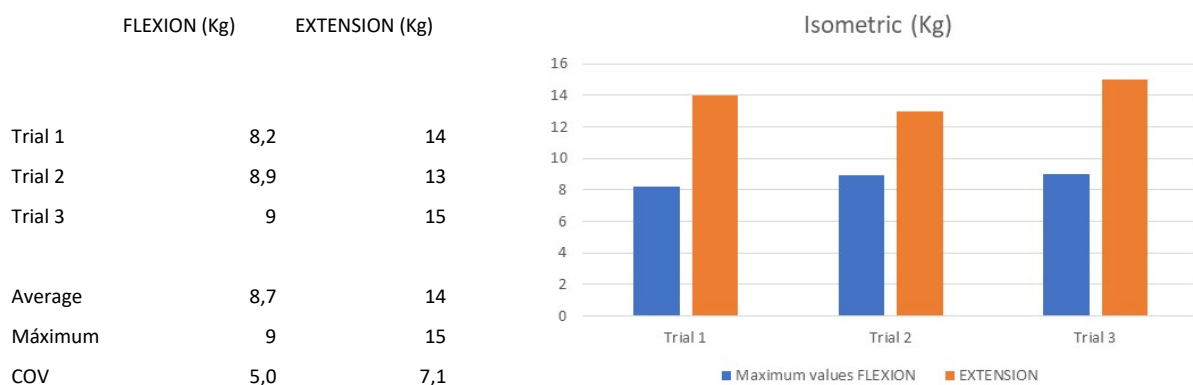


Figura 10. Representación de los valores de fuerza máxima isométrica de musculatura cervical flexora y extensora en tres repeticiones.

La interpretación que se haría con estos resultados es que la persona valorada alcanza un máximo de fuerza medida de 8.7 Kg para la flexión cervical y 14 Kg en la extensión cervical. Esto produce un 41% de diferencia entre los dos test isométricos. El coeficiente de variación ha sido de 5% para la flexión y 7.1% para la extensión, por lo que los resultados obtenidos

son bastante repetibles. Valores mayores del 15% pueden ser indicadores de un bajo esfuerzo.

## Valoración de la actividad muscular. EMG de superficie

La actividad de los músculos del tronco puede estimarse indirectamente por medio de la electromiografía. Es importante que el alumno distinga que hay dos tipos de electromiografía. La EMG clínica o diagnóstica que estudia las características del potencial de la unidad motora, y la de superficie (EMGs) que estudia la función y actividad muscular. Mediante la EMGs se puede conocer el nivel de actividad de un músculo en cualquier instante del movimiento o en una postura mantenida y conocer la coordinación de los músculos entre sí. Este es el motivo por el que la EMGs suele ser una técnica empleada en ocasiones para la valoración de la zona cervical, en concreto para realizar análisis del comportamiento muscular durante la realización de un movimiento que implique a la musculatura cervical.

Oberg<sup>28</sup> defiende que la emg superficial permite detectar la contracción muscular en la zona cervical con un alto grado de fiabilidad. Hay trabajos que demuestran la existencia de una relación directa entre el dolor cervical y la reducción de la fuerza muscular cervical. También parece claro que los parámetros más discriminantes para diferenciar entre sanos y patológicos son los relativos a la falta de capacidad para relajar la musculatura. Esto se muestra tanto en pruebas de contracción controladas<sup>29</sup> donde se puede medir el nivel de esfuerzo de base, como en pruebas asociadas al desarrollo de una tarea, midiendo la diferencia de nivel de fondo en estado de relajación antes del ejercicio y después. En los sujetos sanos, después del ejercicio el nivel de actividad de la musculatura cervical vuelve a la situación inicial, mientras que en los que presentan dolor queda un nivel de actividad residual<sup>30</sup>.

Este es el objetivo de la EMGs aplicada al análisis del nivel de actividad en la musculatura cervical. La EMGs pretende detectar una actividad muscular anormal en los momentos que no debe estar activado el músculo. Por ejemplo, si hay reposo, la actividad muscular tiene que ser mínima, y en el momento que se genere el movimiento la actividad aumenta. Lo que no hace la EMGs es diagnosticar alteraciones neuromusculares. Un trabajo de la Academia Americana de Neurología<sup>31</sup> cuestiona el interés de la emg de superficie para determinar alteraciones neuromusculares, valorar el dolor de columna cervical y como herramienta de diagnóstico de alteraciones del sistema músculo-esquelético. Este informe, tras analizar más de 2500 trabajos rechaza la EMGs como sustituto de la emg de agujas en el diagnóstico neuromuscular. También lo rechaza como técnica de diagnóstico para valoración del dolor fundamentalmente porque los artículos publicados no muestran el poder discriminante de la técnica y sobre todo por no ser una técnica que haya demostrado ser fiable y repetible.

Aún así, este tipo de prueba se está utilizando hoy en día sobre todo en la valoración del raquis lumbar a través de un test estandarizado como es el test flex-relax. Además, en los últimos tiempos se empieza a utilizar este test en la valoración del raquis cervical. Se muestra a modo de ejemplo en la siguiente gráfica el resultado de lo que sería un silencio mioeléctrico cervical, aunque se recomienda la lectura de los siguientes artículos<sup>32,33</sup> que pueden ayudar al alumno a comprender este tipo de prueba.

Meyer, J. J., Berk, R. J., & Anderson, A. V. (1993). Recruitment patterns in the cervical paraspinal muscles during cervical forward flexion: evidence of cervical flexion-relaxation. *Electromyography and clinical neurophysiology*, 33(4), 217-223.

Burnett, A., O'Sullivan, P., Caneiro, J. P., Krug, R., Bochmann, F., & Helgestad, G. W. (2009). An examination of the flexion-relaxation phenomenon in the cervical spine in lumbo-pelvic sitting. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 19(4), e229-e236.

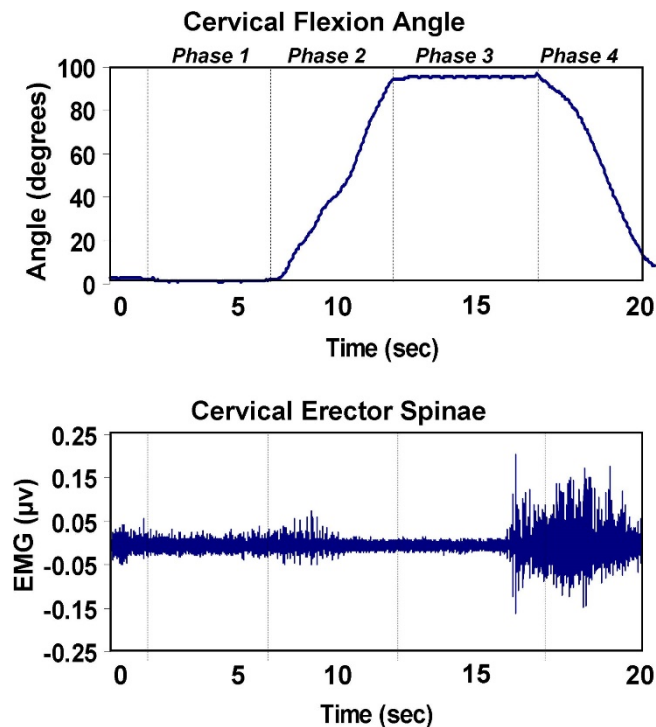


Figura 11. Esta es la señal de EMG de superficie en bruto del músculo erector espinal cervical (abajo) al realizar el test de flexión-relajación donde se muestra la actividad de extensión cervical. La gráfica del ángulo de flexión se muestra arriba. Los datos se muestran en las diferentes fases del protocolo: bipedestación (Fase 1), Flexión hacia delante (Fase 2), flexion completa (Fase 3), re-extensión (Fase 4). Imagen y pie de figura recuperado de Burnett, A., O'Sullivan, P., Caneiro, J. P., Krug, R., Bochmann, F., & Helgestad, G. W. (2009). An examination of the flexion-relaxation phenomenon in the cervical spine in lumbo-pelvic sitting. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 19(4), e229-e236.



## 8. Ideas principales

---

- El fin de la valoración biomecánica clínica es objetivar y cuantificar la existencia de una alteración funcional en el raquis cervical de la persona valorada.
- En el ámbito clínico se utilizan fundamentalmente pruebas de valoración biomecánica para evaluar el rango de movilidad y las características del movimiento del raquis cervical.
- También se valora la fuerza del raquis cervical fundamentalmente en condiciones isométricas.
- La EMG de superficie permite conocer la actividad muscular en un movimiento o postura mantenida y se está empezando a estudiar el fenómeno de flex-relax en esta zona del raquis.
- Dentro de la interpretación de resultados al comparar con valores de referencia hay que asegurar que los mismos provengan de una valoración que utilice el mismo protocolo de medida y la misma técnica instrumental de valoración.
- En el caso de que no sea así, se debe hacer teniendo siempre en cuenta el proceso clínico que se está valorando, para dar más o menos importancia a los déficits que se puedan encontrar.
- Ante una interpretación de datos en relación a valores de referencia o bases de datos de normalidad, hay que mencionar la fuente en la que se encuentran los datos que se han utilizado como referencia.
- No olvidar acompañar los resultados de un informe de valoración biomecánica de raquis de sus unidades de medida.



## 9. Referencias

---

- [1] Baydal Bertomeu, J.M. “Análisis biomecánico del movimiento cervical mediante técnicas de origen cinemático. Contribución a la valoración objetiva de la discapacidad”. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de Ingeniería Mecánica y de Materiales. Valencia, 2012
- [2] Baydal-Bertomeu, J. M., Page, Á. F., Belda-Lois, J. M., Garrido-Jaén, D., & Prat, J. M. (2011). Neck motion patterns in whiplash-associated disorders: quantifying variability and spontaneity of movement. *Clinical biomechanics*, 26(1), 29-34.
- [3] Ou, M. C., Lee, Y. F., Li, C. C., & Wu, S. K. (2014). The effectiveness of essential oils for patients with neck pain: a randomized controlled study. *The Journal of Alternative and Complementary Medicine*, 20(10), 771-779.
- [4] Lluch, E., Schomacher, J., Gizzi, L., Petzke, F., Seegar, D., & Falla, D. (2014). Immediate effects of active cranio-cervical flexion exercise versus passive mobilisation of the upper cervical spine on pain and performance on the cranio-cervical flexion test. *Manual therapy*, 19(1), 25-31.
- [5] Michiels, S., De Hertogh, W., Truijen, S., & Van de Heyning, P. (2014). Physical therapy treatment in patients suffering from cervicogenic somatic tinnitus: study protocol for a randomized controlled trial. *Trials*, 15(1), 297.
- [6] Gao, Z., Song, H., Ren, F., Li, Y., Wang, D., & He, X. (2017). Reliability and validity of CODA motion analysis system for measuring cervical range of motion in patients with cervical spondylosis and anterior cervical fusion. *Experimental and therapeutic medicine*, 14(6), 5371-5378..
- [7] De Rosario, H., Vivas, M. J., Sinovas, M. I., & Page, Á. (2018). Relationship between neck motion and self-reported pain in patients with whiplash associated disorders during the acute phase. *Musculoskeletal Science and Practice*, 38, 23-29.
- [8] Tendero, C. P., López-Belmonte, E. G. L., de Moya, M. F. P., Mendoza, M. V., & Broseta, M. J. V. (2014). Valoración funcional mediante técnicas biomecánicas en un caso de cervicalgia postraumática atípica. *Revista Española de Medicina Legal*, 40(3), 108-111.
- [9] Broseta, M. J. V., Tendero, C. P., de Francisco Enciso, E., Roselló, R. M., García, A. M. E., & Mendoza, M. V. (2017). Usefulness of biomechanical assessment in determining post-traumatic neck pain sequelae. *Spanish Journal of Legal Medicine*, 43(3), 106-114.
- [10] Vivas Broseta, M.J., Bermejo Bosch, I., Peydro de Moya, F., Pitarch Corresa, S. Is kinematic analysis useful as a clinical test during whiplash associated disorders recovery? A clinical study. *Gait & Posture*, 2017; 57: 358.
- [11] Gregori, B., Agostino, R., Bologna, M., Dinapoli, L., Colosimo, C., Accornero, N., & Berardelli, A. (2008). Fast voluntary neck movements in patients with cervical dystonia: a kinematic study before and after therapy with botulinum toxin type A. *Clinical Neurophysiology*, 119(2), 273-280.

- [12] Chen, J., Solinger, A. B., Poncet, J. F., & Lantz, C. A. (1999). Meta-analysis of normative cervical motion. *Spine*, 24(15), 1571.
- [13] Ferlic, D. "The Range of Motion of the 'Normal ' Cervical Spine." Johns Hopkins HOSD. Bull. 110:59-65, 1962
- [14] Youdas, J. W., Garrett, T. R., Suman, V. J., Bogard, C. L., Hallman, H. O., & Carey, J. R. (1992). Normal range of motion of the cervical spine: an initial goniometric study. *Physical therapy*, 72(11), 770-780.
- [15] Castro, W. H., Sautmann, A., Schilgen, M., & Sautmann, M. (2000). Noninvasive three-dimensional analysis of cervical spine motion in normal subjects in relation to age and sex: an experimental examination. *Spine*, 25(4), 443-449.
- [16] Ferrario, V. F., Sforza, C., Serrao, G., Grassi, G., & Mossi, E. (2002). Active range of motion of the head and cervical spine: a three-dimensional investigation in healthy young adults. *Journal of orthopaedic research*, 20(1), 122-129.
- [17] Gerhardt, J. Cocchiarella, L and Lea, R: *The Practical Guide to Range of Motion Assessment*, AMA, Chicago , 2002
- [18] Trott, P. H., Pearcy, M. J., Ruston, S. A., Fulton, I., & Brien, C. (1996). Three-dimensional analysis of active cervical motion: the effect of age and gender. *Clinical Biomechanics*, 11(4), 201-206.
- [19] Malmström, E. M., Karlberg, M., Fransson, P., Melander, A., & Magnusson, M. (2006). Primary and coupled cervical movements. *Spine*, 31(2).
- [20] Baydal-Bertomeu, J. M., Serra-Añó, M. P., Garrido-Jaén, D., López-Pascual, J., Matey, F., Gimeno, C., ... & Dejoz, R. (2007). Desarrollo de una nueva metodología para la valoración de la movilidad cervical basada en técnicas de fotogrametría. *Rehabilitación*, 41(2), 53-60.
- [21] Ohberg, F., Grip, H., Wiklund, U., Sterner, Y., Karlsson, J. S., & Gerdle, B. (2003). Chronic whiplash associated disorders and neck movement measurements: an instantaneous helical axis approach. *IEEE transactions on information technology in biomedicine*, 7(4), 274-282.
- [22] Grip, H., Sundelin, G., Gerdle, B., & Karlsson, J. S. (2008). Cervical helical axis characteristics and its center of rotation during active head and upper arm movements—comparisons of whiplash-associated disorders, non-specific neck pain and asymptomatic individuals. *Journal of biomechanics*, 41(13), 2799-2805.
- [23] Sjölander, P., Michaelson, P., Jaric, S., & Djupsjöbacka, M. (2008). Sensorimotor disturbances in chronic neck pain—range of motion, peak velocity, smoothness of movement, and repositioning acuity. *Manual therapy*, 13(2), 122-131.
- [24] Chema Contreras-Vidal, J. L., & Buch, E. R. (2003). Effects of Parkinson's disease on visuomotor adaptation. *Experimental brain research*, 150(1), 25-32.

- [25] Yan, J. H., Thomas, J. R., Stelmach, G. E., & Thomas, K. T. (2000). Developmental features of rapid aiming arm movements across the lifespan. *Journal of motor behavior*, 32(2), 121-140.
- [26] Dvir, Z., Prushansky, T., & Peretz, C. (2001). Maximal versus feigned active cervical motion in healthy patients: the coefficient of variation as an indicator for sincerity of effort. *Spine*, 26(15), 1680-1688.
- [27] Garces, G. L., Medina, D., Milutinovic, L., Garavote, P., & Guerado, E., (2002). Normative database of isometric cervical strength in a healthy population. *Medicine and science in sports and exercise*, 34(3), 464-470
- [28] Oberg, T., Sandsjö, L., & Kadefors, R. (1992). Arm movement and EMG mean power frequency in the trapezius muscle: a comparison between surface and intramuscular recording techniques. *Electromyography and clinical neurophysiology*, 32(1-2), 87-96.
- [29] Elert, J., Kendall, S. A., Larsson, B., Månsson, B., & Gerdle, B. (2001). Chronic pain and difficulty in relaxing postural muscles in patients with fibromyalgia and chronic whiplash associated disorders. *The Journal of rheumatology*, 28(6), 1361-1368.
- [30] Nederhand, M. J., IJzerman, M. J., Hermens, H. J., Baten, C. T., & Zilvold, G. (2000). Cervical muscle dysfunction in the chronic whiplash associated disorder grade II (WAD-II). *Spine*, 25(15), 1938-1943.
- [31] Pullman, S. L., Goodin, D. S., Marquinez, A. I., Tabbal, S., & Rubin, M. (2000). Clinical utility of surface EMG: report of the therapeutics and technology assessment subcommittee of the American Academy of Neurology. *Neurology*, 55(2), 171-177.
- [32] Meyer, J. J., Berk, R. J., & Anderson, A. V. (1993). Recruitment patterns in the cervical paraspinal muscles during cervical forward flexion: evidence of cervical flexion-relaxation. *Electromyography and clinical neurophysiology*, 33(4), 217-223.
- [33] Burnett, A., O'Sullivan, P., Caneiro, J. P., Krug, R., Bochmann, F., & Helgestad, G. W. (2009). An examination of the flexion-relaxation phenomenon in the cervical spine in lumbo-pelvic sitting. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 19(4), e229-e236.



El apoyo de la Comisión Europea para la producción de esta publicación no constituye una aprobación del contenido, el cual refleja únicamente las opiniones de los autores, y la Comisión no se hace responsable del uso que pueda hacerse de la información contenida en la misma.

