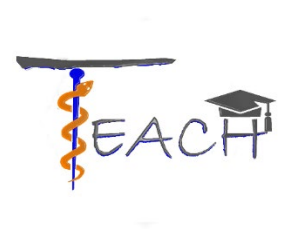


## Development of innovative training solutions in the field of functional evaluation aimed at updating of the curricula of health sciences schools



### MÓDULO BIOMECÁNICA DE LA COLUMNA VERTEBRAL

Unidad didáctica D: Análisis instrumental de la columna vertebral.

D.5. ¿Cómo interpretar un informe de un análisis biomecánico en el caso de patología de la columna vertebral?



## Indice

1. OBJETIVOS	3
2. RESULTADOS PATOLÓGICOS EN LA VALORACIÓN DE COLUMNA CERVICAL	4
Valoración del rango de movimiento cervical (ROM).....	4
Valoración cinemática de la columna cervical .....	5
Valoración de la fuerza muscular cervical .....	7
3. RESULTADOS PATOLÓGICOS EN LA VALORACIÓN DE COLUMNA LUMBAR	8
Valoración del rango de movimiento lumbar (ROM).....	8
Valoración en las actividades de la vida diaria. ....	9
Actividad: Levantarse de una silla.....	10
Actividad: Levantar una carga.....	12
Valoración de la fuerza. Isocinéticos .....	13
Valoración de la actividad muscular. Electromiografía de superficie.....	14
4. VALORACIÓN BIOMECÁNICA CERVICAL. CASO CLÍNICO.	16
Resultados de la prueba de valoración biomecánica.....	17
5. VALORACIÓN BIOMECÁNICA LUMBAR. CASO CLÍNICO	21
<i>Resultados de la prueba de valoración biomecánica.....</i>	<i>22</i>
Decisión final tras la valoración biomecánica .....	25
6. IDEAS PRINCIPALES	29
7. REFERENCIAS	30



## 1. Objetivos

---

- Conocer la interpretación de resultados obtenidos de la valoración cinemática cervical en población.
- Conocer la interpretación de resultados obtenidos de la valoración de fuerza muscular cervical en población patológica.
- Conocer la interpretación de resultados obtenidos de la valoración cinemática lumbar en población patológica.
- Conocer la interpretación de resultados obtenidos de la valoración de fuerza lumbar en población patológica.
- Aprender a trabajar con resultados patológicos de valoración biomecánica cervical y/o lumbar a través de casos clínicos.

En temas anteriores se han revisado protocolos junto con las diversas técnicas de análisis biomecánico que pueden ser utilizadas para hacer un análisis biomecánico de columna. En este tema se muestran algunos de los resultados que se obtienen ante el análisis biomecánico de una persona con dolor en columna vertebral. De forma adicional, estos resultados van a ser mostrados en relación a lo que sería un patrón normal para que el alumno aprenda a identificar diferencias. Para finalizar, se revisarán los resultados de algún caso clínico que ayudarán al alumno a familiarizarse con los resultados y a comprender su utilidad.

## 2. Resultados patológicos en la valoración de columna cervical

El dolor cervical es una de las causas más frecuentes de consulta médica. Se considera que un elevado porcentaje de gente padecerá en algún momento de su vida dolor cervical. Es función del médico valorar al paciente y determinar la causa (diagnóstico) que produce este dolor descartando causas potencialmente graves. Debido a las múltiples causas responsables de los cuadros dolorosos cervicales, una buena anamnesis y exploración ayudará a llegar a este diagnóstico. El diagnóstico se complementa con una valoración funcional de la columna cervical. Para esta valoración se utilizan pruebas biomecánicas que aportan una información sobre la movilidad y fuerza muscular de la zona. Por ello, el uso de pruebas biomecánicas en el proceso clínico de valoración del paciente es bueno para complementar el diagnóstico y tener una visión más global de estado real del paciente.

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

La valoración del rango de movilidad cervical es uno de los aspectos más importantes en la exploración del paciente. Con los métodos de análisis biomecánicos, además de medir con precisión la amplitud de movimiento y compararla con patrones normales, se permite reconocer limitaciones marcadas o asimetrías importantes. Un proceso mecánico que afecta a la columna cervical tiende a producir limitaciones asimétricas. Existen patologías cervicales que se pueden evaluar mediante técnicas de análisis biomecánico y donde las variaciones de movilidad cervical que se pueden encontrar con respecto a un patrón normal de movimiento son importantes<sup>1</sup>. Por ejemplo, condiciones traumáticas que implican a los sistemas óseos y ligamentoso de la columna cervical y que no ponen en peligro la médula espinal como un esguince cervical. Afecciones degenerativas y reumáticas como puede ser cervico-artrosis y la espondilitis anquilosante. O bien, limitaciones de la movilidad cervical relacionada con el dolor como las condiciones relacionadas con la postura, el trabajo o el stress.

Respecto al rango de movimiento, los estudios realizados muestran que hay disminución del mismo con respecto a sujetos sanos. Los resultados encontrados varían dependiendo de la técnica de medida utilizada y del protocolo aplicado. Así hay trabajos<sup>2,3,4,5,6</sup> que se centran en estudiar el rango de movilidad en pacientes que realizan un único movimiento activo máximo. Otros<sup>7</sup> utilizan la técnica de forzar al paciente al máximo de rango de un modo pasivo. O bien en otros<sup>8</sup>, como se puede consultar en el siguiente subapartado, se puede solicitar que se realice el movimiento de una forma continua y cíclica el máximo sus posibilidades.

A continuación se muestran ejemplos gráficos de resultados alterados con respecto al rango de movilidad cervical medida con técnicas de análisis biomecánico. El alumno, a través del análisis de los mismos, llegará a ser capaz de identificar el tipo de técnica biomecánica utilizada, de realizar una interpretación de la gráfica y comprender los resultados en base a las limitaciones funcionales que se muestran.

**Prueba:** Valoración amplitud de movimiento del raquis cervical en los tres planos anatómicos.

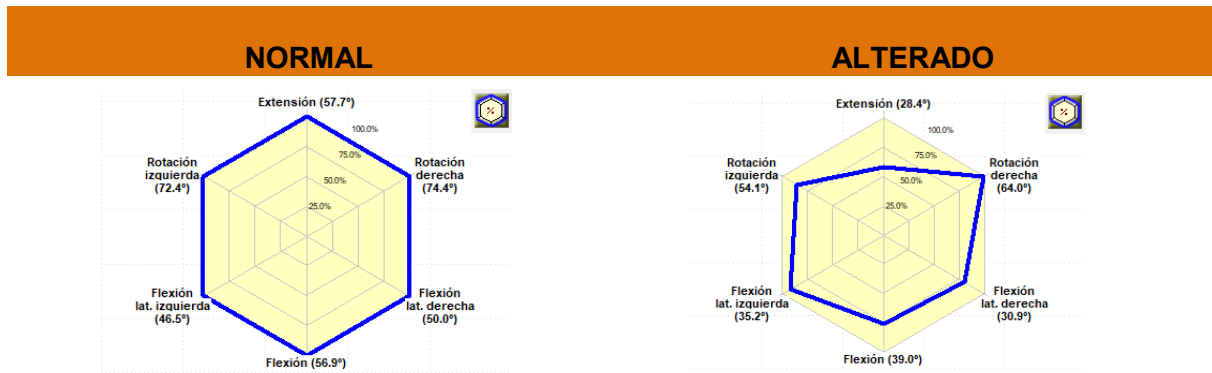


Figura 1. Amplitud de movilidad cervical.

**Técnica de medida:** Fotogrametría, inerciales o inclinómetros.

**Tipo de análisis:** Cinemático.

**Representación gráfica:** Amplitud de la movilidad cervical (°) en los tres planos (frontal, sagital y transverso). El borde externo de la gráfica representa la zona de normalidad.

**Interpretación resultados:** **Izquierda:** Buena movilidad del raquis cervical en todos los planos. **Derecha:** La movilidad del raquis cervical se encuentra limitada en diferentes ejes. Destaca la limitación de la flexo-extensión, seguida de la flexión lateral derecha y la rotación izquierda. En esta última existe una asimetría importante con respecto a la rotación derecha.

## Valoración cinemática de la columna cervical

La movilidad cervical es la medida de resultados funcionales más utilizada para evaluar el estado de los pacientes con patología cervical. Aporta información objetiva sobre el grado de severidad de una limitación en los movimientos cervicales. También puede utilizarse para realizar un seguimiento durante y después de las intervenciones terapéuticas.

Si al evaluador le interesa conocer, no sólo la amplitud de movimiento cervical, sino también las características o detalles más concretos del movimiento realizado, está indicado realizar una prueba de análisis cinemático. Mediante este tipo de análisis, se tiene una información más precisa, tanto a nivel numérico como a nivel gráfico, de la amplitud y velocidad de movimiento de la columna cervical. Para ello se utilizan sistemas de medida que captan el movimiento en el espacio y lo analizan con mayor detalle, aportando información como amplitud de movimiento, velocidad angular, aceleración angular, suavidad del movimiento o repetibilidad del mismo. Entre estos sistemas de medida destacar la fotogrametría 3D o los sistemas inerciales que se utilizan actualmente en estos estudios. La persona valorada debe hacer movimientos repetitivos o cíclicos en un eje determinado durante un periodo de tiempo establecido en el protocolo utilizado (habitualmente 30s). Estas medidas incluyen los movimientos angulares de la cabeza con respecto al tronco respecto a los tres planos anatómicos, pero también pueden informar de la velocidad, de la aceleración en el movimiento

y de los movimientos acoplados. Destacar que este tipo de valoración se refiere en su mayoría a un movimiento activo en vez de pasivo.

Con respecto a los resultados que se pueden encontrar en un patrón patológico por dolor cervical se encuentra la limitación del rango de movilidad. Por otro lado, Ohberg et al.<sup>4</sup> identificó la velocidad angular como la variable más discriminante para diferenciar entre un patrón de movimiento normal y un patológico, siendo esta velocidad menor en el grupo de patológicos. Y con respecto a la suavidad y repetibilidad del movimiento hay autores<sup>5, 9</sup> analizaron en sus trabajos la del movimiento cervical y encontraron que el movimiento era menos suave y menos repetible en comparación con la repetibilidad del movimiento de personas sin ningún tipo de patología o dolor en esta zona de la columna.

En resumen, desde el punto de vista clínico, una lesión a nivel del raquis cervical, ya afecte a partes blandas o no, puede ocasionar una limitación en la amplitud de movimiento del raquis cervical y/o en las características del mismo, por tanto más lento, menos suave y menos repetible.

A continuación, se muestran algunos de los resultados gráficos que pueden encontrarse en este tipo de valoración. Se compara lo que sería un resultado normal con el de una persona con dolor cervical que le altera en la función del movimiento de la columna cervical.

**Prueba:** Valoración movilidad del raquis cervical en el plano sagital.

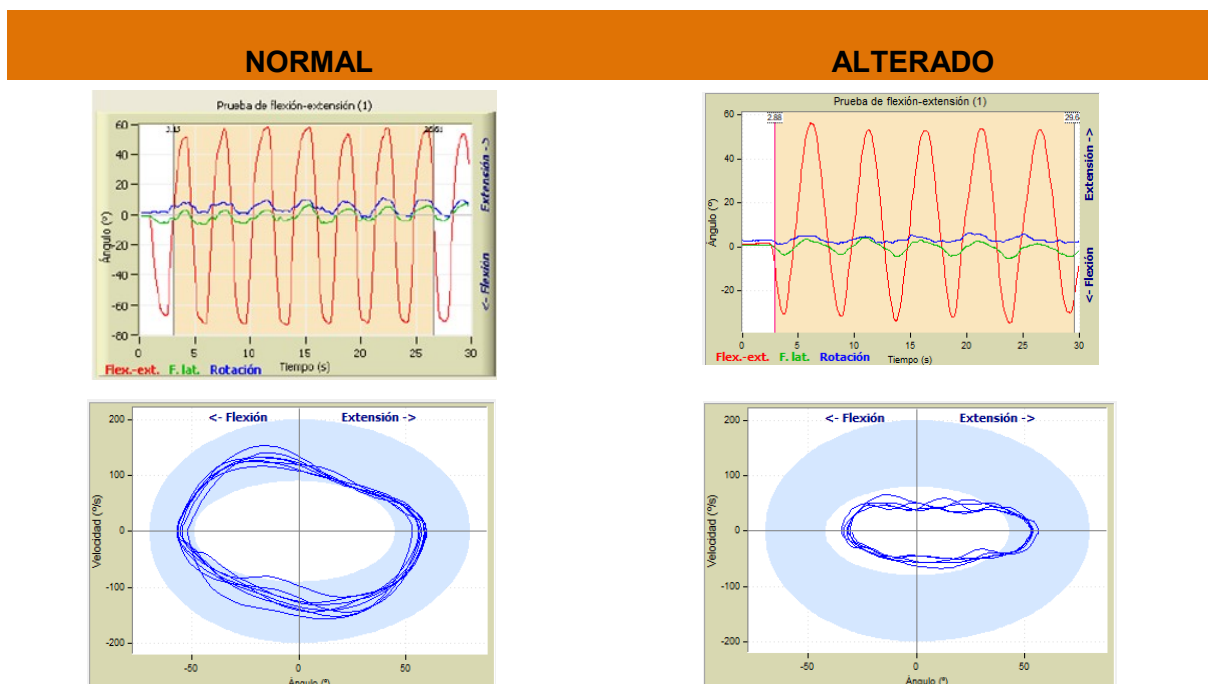


Figura 1. Movilidad flexo-extensión columna cervical

**Técnica de medida:** Fotogrametría, inerciales o inclinómetros.

**Tipo de análisis:** Cinemático.

**Resultados (gráfica): Superior**, representa diferentes ciclos de movilidad de flexo-extensión del raquis cervical en relación al tiempo de la prueba. **Inferior**; se representan diferentes ciclos de la velocidad angular del movimiento del raquis cervical frente a la amplitud de movimiento de flexo-extensión. La banda azul, en este caso sirve de referencia para conocer dónde estaría situado un patrón normal de movimiento del raquis cervical.

**Interpretación de resultados: Superior izquierda:** Movimiento flexo-extensión del raquis cervical amplio y rápido. **Superior derecha:** Movimiento cervical lento con limitación en la flexión cervical fundamentalmente. **Inferior izquierda:** Movimiento del raquis cervical en el plano sagital con una velocidad adecuada y una amplitud dentro de valores de referencia (banda azul que representa valores normales). **Inferior derecha:** Movimiento lento con limitación de la flexión del raquis cervical, mientras que la extensión se encuentra dentro de valores de normalidad.

### Valoración de la fuerza muscular cervical

La evaluación de la fuerza de la musculatura cervical es útil para estudiar el estado funcional de la misma. El test de fuerza más utilizado para valorar esta zona de la columna es la valoración de la fuerza isométrica cervical.

Los momentos máximos de fuerza de la musculatura cervical disminuyen en las personas con dolor cervical, descendiendo tanto en la musculatura flexora como la extensora<sup>10</sup>. Todos los autores consultados coinciden en decir que la musculatura extensora se debilita en el caso de dolor cervical crónico. Sin embargo no existe un acuerdo con respecto a lo que pasa con la musculatura flexora cervical.



### 3. Resultados patológicos en la valoración de columna lumbar

La lumbalgia es un síndrome definido por la presencia de dolor en la columna vertebral lumbar o musculatura paravertebral lumbar, y que puede verse acompañado por dolor irradiado. El objetivo del médico que trata a un paciente con dolor lumbar es identificar la posible causa de dolor, el proceso patológico que lo provoca y tomar una decisión sobre el tratamiento que debe recibir, la evolución y el estado funcional del mismo, sabiendo lo que puede hacer y lo que no para reincorporarse a un trabajo o a su modelo de vida normal.

El dolor lumbar es por tanto frecuente y universalmente extendido. Alrededor del 80% de la población experimentará dolor lumbar alguna vez en su vida, afectando a todas las edades y con un pico de incidencia alrededor de los 45 años para ambos sexos. El dolor lumbar crónico puede causar una elevada discapacidad afectando a la vida laboral y a las relaciones sociales. Los objetivos del tratamiento son aliviar los síntomas y mejorar el funcionamiento del paciente reduciendo las limitaciones. Para ello es necesario valorar las posibilidades de mejoría a través de la evaluación de la función que se puede hacer mediante las técnicas de análisis biomecánico.

A continuación, se muestran resultados normales y alterados de las valoraciones biomecánicas más frecuentemente realizadas a personas con dolor lumbar. Estos resultados provienen de técnicas que analizan el movimiento y la fuerza.

#### Valoración del rango de movimiento lumbar (ROM)

En este apartado aplicarían los mismos aspectos clínicos comentados sobre las posibilidades de valoración del rango de movilidad de la columna lumbar comentados en el apartado de columna cervical. Por lo tanto, con respecto al rango de movimiento, es esperable encontrar en un patrón patológico una disminución del mismo con respecto al rango de sujetos sanos.

**Prueba:** Valoración amplitud de movimiento del raquis lumbar el plano sagital y frontal.

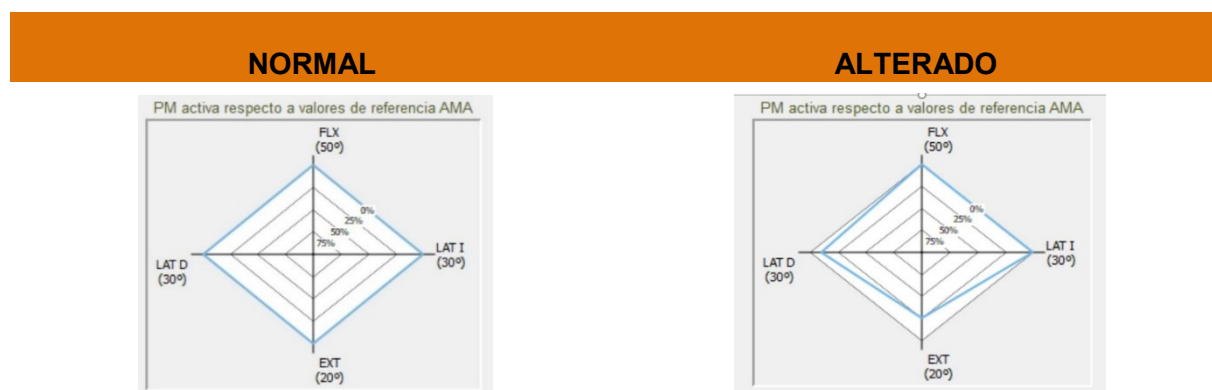


Figura 2. Amplitud de movilidad lumbar

**Técnica de medida:** Fotogrametría, inerciales o inclinómetros.

**Tipo de análisis:** Cinemático.

**Resultados gráfica:** Amplitud de movilidad lumbar en el plano sagital y frontal. El borde externo de la gráfica representa la zona de normalidad. Se toman valores de referencia AMA.

**Interpretación de resultados: Izquierda:** Buena movilidad del raquis lumbar en todos los planos. **Derecha:** Amplitud de movimiento del raquis lumbar limitado. Destaca la limitación en la extensión, seguida de la inclinación derecha

### Valoración en las actividades de la vida diaria.

La velocidad con la que se ejecuta un movimiento o el tiempo que se tarda en su ejecución se considera esencial en todo estudio de movilidad de personas con un daño o lesión del raquis. Ya en el año 1986, se consideraba la velocidad del movimiento como medida cuantitativa en personas con trastornos de espalda que podía ayudar en el seguimiento de la evolución de una enfermedad o de un tratamiento<sup>11</sup>. Uno de los parámetros interesantes en su relación con la alteración funcional es determinar cuánto es el tiempo total que una persona tarde en realizar una actividad, por ejemplo, levantarse de una silla. Muchos trabajos<sup>12,13,14</sup> coinciden en decir que son menos de 2s, por tomar un valor que nos sirva más o menos de referencia. Se vuelve a destacar la importancia de conocer el protocolo de medida aplicado ya que, como ya se ha mencionado en varias ocasiones, dependiendo del mismo encontraremos unos valores u otros.

Si se comparan los resultados de la rapidez en la ejecución de una actividad de un grupo normal con un grupo con dolor lumbar, claramente aparece una diferencia traducida en un aumento del tiempo total que se tarda en ejecutar el gesto cuando existe dolor. El dolor lumbar es un síntoma que provoca una ejecución de movimiento de forma lenta e imprecisa, siendo a veces este resultado manifestación del temor por parte de la persona que lo realiza a reproducir o empeorar el dolor ya existente. Este aspecto del movimiento se puede analizar a través de parámetros como el tiempo total en la ejecución del gesto, u otros más específicos como son la velocidad y/o aceleración angular del tronco.

La fuerza de reacción vertical es otro resultado interesante en el contexto de la valoración biomecánica del dolor de columna lumbar. Este resultado tiene relación con la energía e impulso necesario para levantarse de la silla o levantar peso. Cuanto mayor sea el impulso, mayor será el pico máximo que se encuentra en este tipo de fuerza que se registra con una plataforma dinamométrica. Tal y como describe Kralj et al.<sup>15</sup>, los sujetos normales realizan un movimiento rápido y enérgico que les ayuda a levantarse de la silla. Por el contrario, estudios realizados con sujetos patológicos con dolor lumbar encuentran una disminución de la fuerza vertical máxima. Este hallazgo también podría pasar en pacientes con otros trastornos neuromusculares. Así lo vemos en el estudio de Yoshida et al<sup>12</sup>. con pacientes neurológicos o incluso en personas con un déficit de fuerza de cuádriceps.

Seguidamente, se muestran algunos de los resultados gráficos que se pueden obtener con este tipo de pruebas en el contexto de la valoración de una actividad en una persona con dolor lumbar. El alumno puede aprender a detectar las diferencias con respecto a lo que sería un patrón normal de ejecución de dicha actividad.

## Actividad: Levantarse de una silla

**Prueba:** Valoración biomecánica de la actividad Levantarse de una silla.

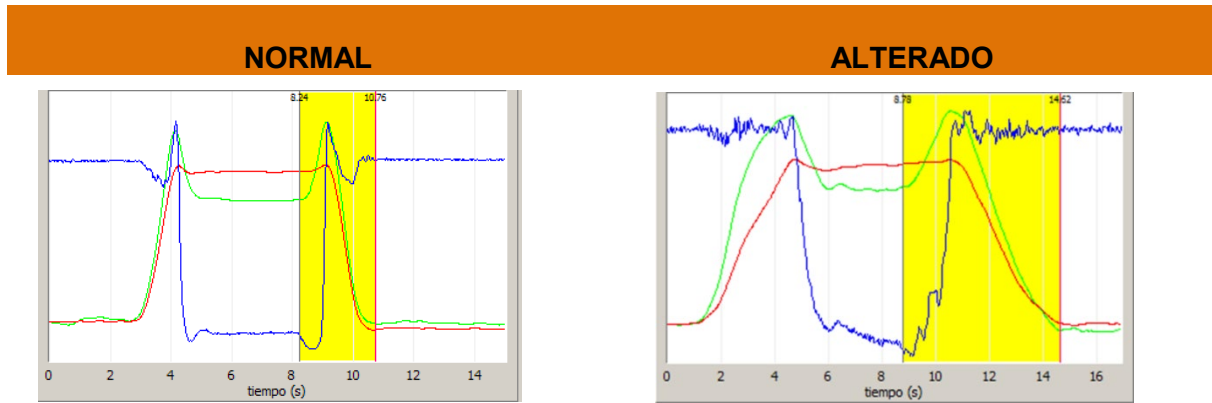


Figura 4. Fuerza de reacción y movilidad tronco y rodilla en la actividad de sentarse y levantarse de una silla.

**Técnica de medida:** Fotogrametría, inerciales o inclinómetros junto con plataformas dinamométricas

**Tipo de análisis:** Cinemático y dinámico.

**Resultados gráfica:** Fuerza de reacción (línea azul) y movilidad de rodilla (línea roja) y tronco (línea verde) durante el gesto de levantarse de una silla (banda amarilla).

**Interpretación de resultados:** **Izquierda:** Suavidad de movimiento, rápido y con buen impulso para ejecutarlo. **Derecha:** Aumento del tiempo de ejecución. Dificultad para generar el impulso necesario para levantarse. Este dato se localiza en las oscilaciones que se encuentran al inicio de la pendiente de la fuerza de reacción.

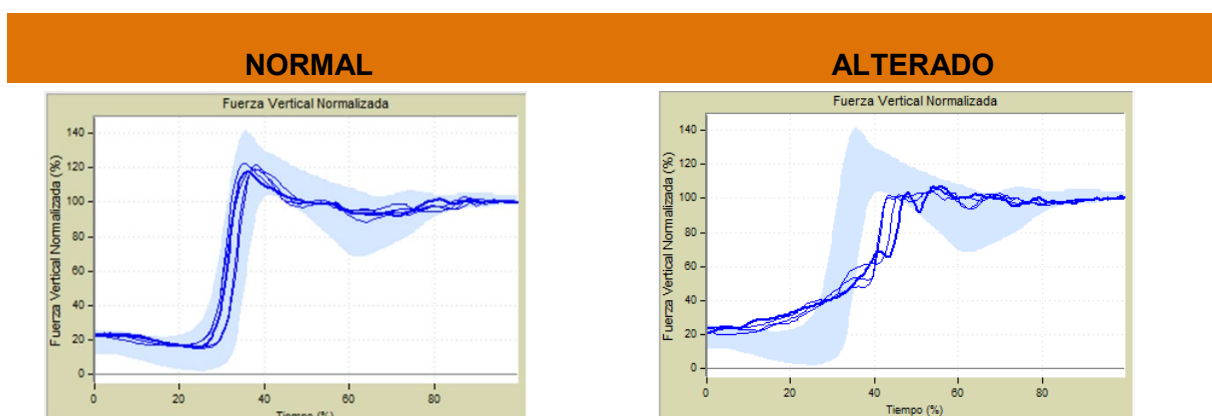


Figura 5. Fuerza de reacción cuando se realiza la actividad de levantarse de la silla

**Técnica de medida:** Plataforma dinamométrica

**Tipo de análisis:** Dinámico

**Resultados (gráfica):** Representa las diferentes repeticiones registradas de la fuerza de reacción durante la realización de la actividad levantarse de una silla.

**Interpretación de resultados:** **Izquierda:** Patrón de fuerza repetible y normal (banda azul representa el patrón normal), lo que significa impulso adecuado en la realización del gesto (buena fuerza y coordinación de tronco y miembros inferiores). **Derecha:** Patrón de fuerza repetible pero alterado. La pendiente de la curva se encuentra horizontalizada, siendo menor y retrasado en el tiempo el pico máximo de la misma. Esto significa generación de impulso deficitario para conseguir el objetivo de levantarse lo que puede ir asociado con dolor, déficit de fuerza o falta de coordinación.

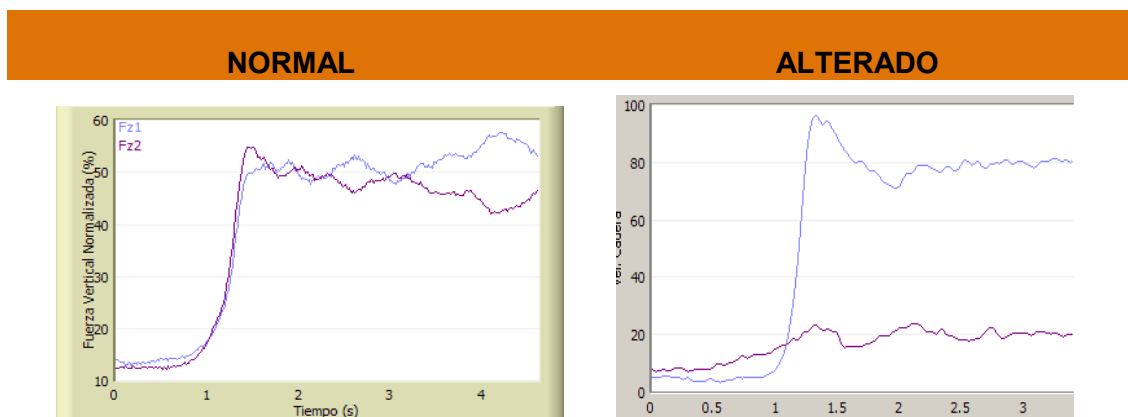


Figura 3. Fuerza de reacción en el apoyo de cada uno de los pies al levantarse de la silla

**Técnica de medida:** Plataforma dinamométrica

**Tipo de análisis:** Dinámico

**Resultados (gráfica):** Representa la fuerza de reacción generada en el apoyo de cada uno de los miembros inferiores durante la realización de la actividad de levantarse de una silla.

**Interpretación de resultados:** **Izquierda:** Patrón de fuerza simétrica. Carga similar en ambos miembros inferiores al realizar el gesto de levantarse de una silla. **Derecha:** Patrón de fuerza asimétrica. Mayor carga en miembro inferior derecho (línea azul claro) durante el levantamiento de la silla, lo que implica un gesto asimétrico que puede estar relacionado con irradiación del dolor lumbar hacia la pierna izquierda.

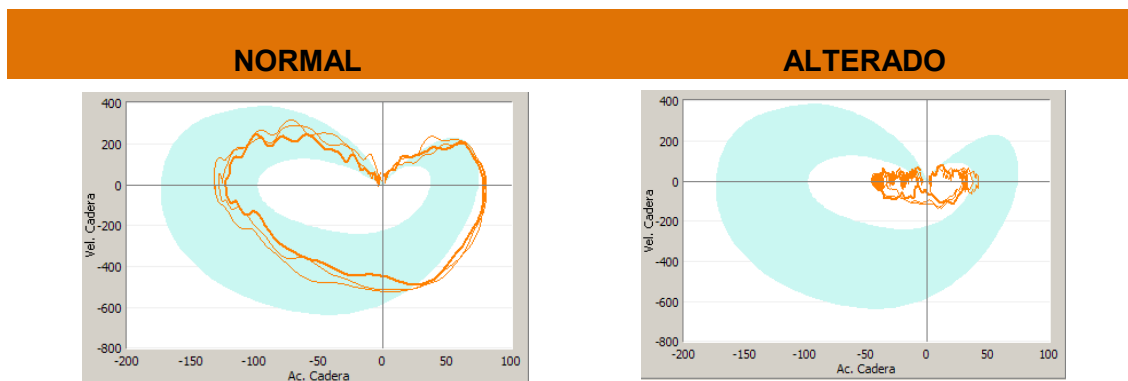


Figura 4. Velocidad angular con respecto a la aceleración angular de columna durante la realización de la actividad levantarse de una silla.

**Técnica de medida:** Fotogrametría, inerciales o inclinómetros.

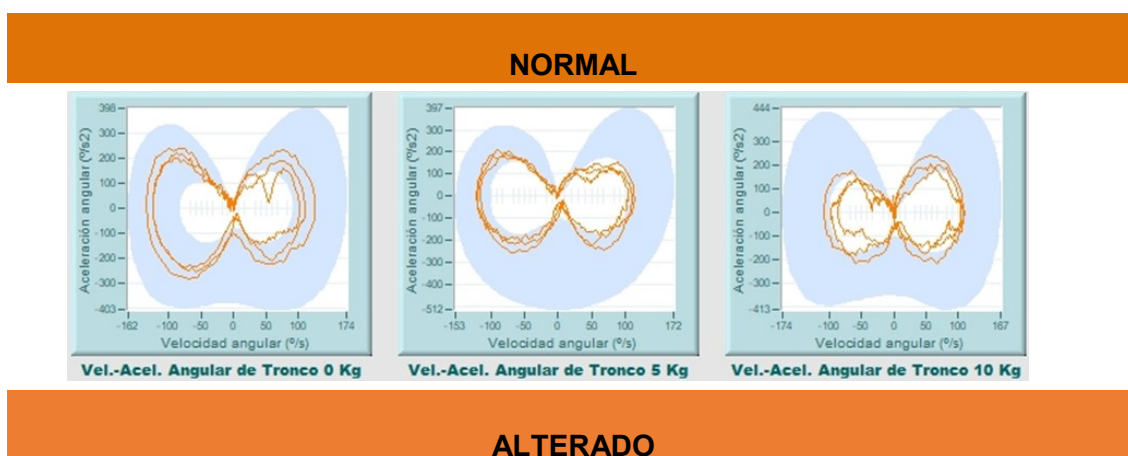
**Tipo de análisis:** Cinemático.

**Resultados (gráfica):** Representa la velocidad angular de tronco frente a la aceleración angular durante el análisis de la actividad de levantarse se una silla.

**Interpretación de resultados:** **Izquierda:** Movimiento rápido en la ejecución de la actividad valorada. Se encuentra dentro de un patrón de movimiento funcional normal. **Derecha:** Movimiento lento y alejado de un patrón normal en la ejecución total del movimiento. Puede estar relacionado con dolor lumbar.

**Actividad:** Levantar una carga

**Prueba:** Valoración biomecánica de la actividad Levantar una carga.



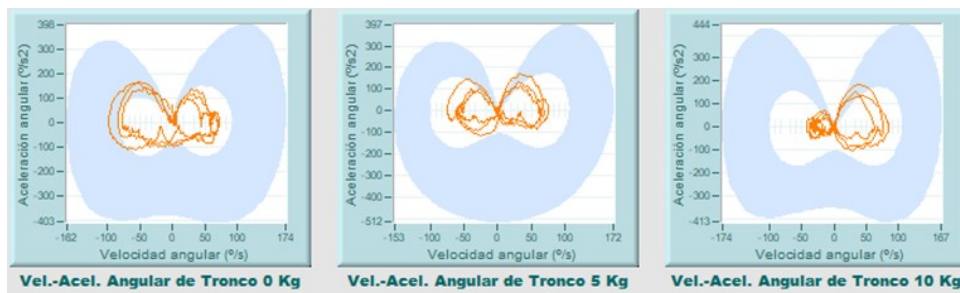


Figura 5. Velocidad angular con respecto a la aceleración angular de columna durante la realización de la actividad de levantar carga.

**Técnica de medida:** Fotogrametría, inerciales o inclinómetros.

**Tipo de análisis:** Cinemático.

**Resultados (gráfica):** Representa la aceleración angular de tronco frente a su velocidad angular en diferentes repeticiones registradas del gesto de levantar un peso. Se muestra, de izquierda a derecha, el resultado para pesos de magnitud creciente.

**Interpretación de resultados: Superior:** Aceleración y velocidad angular de tronco normal para todos los pesos levantados (la banda azul representa el patrón normal de aceleración y velocidad en este gesto), lo que implica buena movilidad y rapidez en el movimiento ejecutado. **Inferior:** Baja aceleración y velocidad en todos los gestos, implicando movimiento de tronco lento en la ejecución del gesto. Se objetivan movimientos más lentos a medida que aumenta la magnitud del peso levantado, por lo que existe un empeoramiento del movimiento al aumentar la carga manipulada.

## Valoración de la fuerza. Isocinéticos

Otra de las funciones corporales que pueden ser analizadas con una técnica de análisis biomecánico y un protocolo bien establecido es la fuerza muscular. Es importante la relación entre la fuerza muscular de tronco y el dolor lumbar. Además, se sabe que el ejercicio y el reentrenamiento contribuye tanto en el tratamiento como en la prevención del dolor lumbar.

La forma más extendida de valoración de la fuerza en personas con dolor lumbar es la utilización de una metodología de análisis isocinético. El inconveniente es que la mayoría de publicaciones sobre isocinéticos de columna lumbar se focaliza en personas normales, estando más limitadas en número en personas con dolor lumbar.

A nivel general, los resultados que muestran estos trabajos hacen referencia a una marcada disminución del momento de fuerza tanto para musculatura flexora como extensora en todos los pacientes con dolor lumbar sin diferenciar por género. Además, la ratio extensores/flexores se invierte en relación a la población sana, de forma que existe una debilidad generalizada de los extensores frente a los flexores.

Otro de los datos encontrados al comparar resultados de normales con personas con dolor lumbar es que la velocidad del movimiento utilizada para realizar la valoración influye en el

grado de disminución de la fuerza muscular con respecto a la disminución que se puede encontrar en una población sana.

Por ahora han sido comentado los resultados en el plano frontal, pero si se considera el plano axial, la fuerza de rotación también se encuentra limitada en personas con dolor lumbar en relación a la fuerza de rotación de las personas sin dolor. Aun así, la disminución de fuerza registrada es mucho menor que la disminución encontrada en el plano sagital. Destacar de nuevo que los resultados encontrados no llegan a encontrar diferencias por género.

Tal y como hace referencia Dvir et al.<sup>16</sup>, destacar que existen unas series de artículos sobre isocinética y dolor lumbar cuyo autor es Mayer et al.<sup>17,18,19</sup>. que deberían ser revisados por el alumno interesado en este tipo de prueba y sus resultados en patología de la columna lumbar. Se muestran sus referencias con la recomendación de que sean revisadas por el profesor y las pueda trasladar a sus alumnos.

- Smith, S. S., Mayer, T. G., Gatchel, R. J., & Becker, T. J. (1985). Quantification of lumbar function. Part 1: Isometric and multispeed isokinetic trunk strength measures in sagittal and axial planes in normal subjects. *Spine*, 10(8), 757-764.
- Mayer, T. G., Smith, S. S., Keeley, J. A. N. I. C. E., & Mooney, V. E. R. T. (1985). Quantification of lumbar function. Part 2: Sagittal plane trunk strength in chronic low-back pain patients. *Spine*, 10(8), 765-772.
- Mayer, T. G., Smith, S. S., Kondraske, G., Gatchel, R. J., Carmichael, T. W., & Mooney, V. E. R. T. (1985). Quantification of lumbar function. Part 3: Preliminary data on isokinetic torso rotation testing with myoelectric spectral analysis in normal and low-back pain subjects. *Spine*, 10(10), 912-920.

### Valoración de la actividad muscular. Electromiografía de superficie.

Entre los diversos indicadores fisiológicos de dolor lumbar, el fenómeno de la relajación de flexión (FRP) ha sido uno de los más estudiados mediante el estudio de la respuesta muscular a través de la señal electromiográfica de superficie pareciendo que existe una evidencia que sugiere cambios en la señal de EMG durante las tareas de flexión del tronco<sup>20</sup>. Es decir, la existencia, en personas sanas, de un patrón específico de activación del músculo erector spinae acoplado a una interacción del movimiento lumbar y pélvico, también específica, durante la flexión y extensión del tronco. Esta interacción raquis-pélvis se conoce como "ritmo lumbo-pélvico"<sup>21</sup>.

Los estudios clásicos de Floyd et al.<sup>22,23</sup> revelaron la ausencia del fenómeno de flexión-relajación en pacientes con dolor lumbar, resultado observado, posteriormente, en numerosos estudios<sup>20,21,24,25,26</sup>. Estos autores, entre otros, también observaron en pacientes con dolor lumbar mayor actividad media del erector espinal hacia el final de la flexión. Nouwen et al.<sup>24</sup> observaron además una disminución de la actividad media del erector espinal en la extensión, y Sihvonen<sup>21</sup> y Shirado<sup>25</sup> una disminución de la máxima amplitud de la EMG en la extensión.

La activación persistente de los músculos erectores de la columna lumbar durante una flexión completa del tronco se observa típicamente en individuos con dolor lumbar como una respuesta protectora "entablillada" para aumentar la estabilización lumbar en respuesta al

dolor o lesión tisular<sup>27</sup>. El déficit de FRP en pacientes con dolor lumbar se ha encontrado que está asociado a con el dolor<sup>28</sup>, la incapacidad autoreportada<sup>20</sup> y el miedo al dolor o relesión<sup>29</sup>.

La ausencia de la FRP en pacientes con dolor lumbar también se ha asociado con el espasmo muscular<sup>30</sup>, la reducción de la amplitud de movimiento y reflejos de estiramiento exacerbados<sup>31</sup>.

Sin embargo, **los resultados no son uniformes**, por lo que es difícil extraer ideas concluyentes. Las razones aducidas para explicar esta falta de homogeneidad en los resultados han sido<sup>25</sup>:

- La **diversidad en los criterios de inclusión**, que muestran una variación de las características de la historia de dolor y engloban pacientes con diagnósticos clínicos diferentes dentro de un mismo grupo, u otros factores influyentes como la laxitud articular.
- Diferencias en las **condiciones de las pruebas dinámicas de evaluación** de la función de la espalda (cadencias/coordinación de los movimientos de tronco/cadera, velocidad de ejecución y la propia técnica de medida).
- Diferencias en la **homogeneidad de los grupos** (condición física, fuerza, edad, distribución de sexos).

**Prueba:** Valoración fenómeno flex-relax columna lumbar.

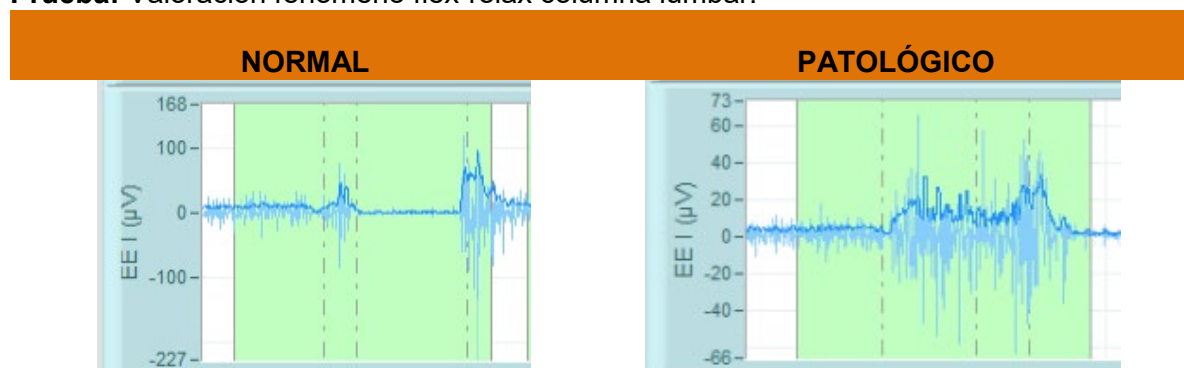


Figura 6. Señal electromiográfica del erector espinal izquierdo.

**Técnica de medida:** Electromiografía de superficie.

**Resultados (gráfica):** Representa la actividad muscular del erector espinal izquierdo ante una actividad de flexión máxima y extensión de tronco.

**Interpretación de resultados: Izquierda:** Registro de señal que asemeja un silencio mioeléctrico en el momento de máxima flexión de la columna. **Derecha:** se ha registrado una ausencia de silencio mioeléctrico en la prueba biomecánica flex-relax, lo que es compatible con una falta de relajación de erectores espinales ante un proceso de dolor lumbar.

Si la respuesta de EMG de superficie del fenómeno flex-relax se caracteriza, en población sana por **tres fases** distintas que pueden ser claramente delimitadas; estos límites son mucho menos distinguibles en pacientes con dolor lumbar.



## 4. Valoración biomecánica cervical. Caso clínico.

---

Caso: Mujer de 49 años.

Profesión: Psicopedagoga. Directora de escuela infantil.

Antecedentes personales: Sin interés

Cuadro clínico que origina la baja: Cervicalgia tras accidente de tráfico, golpe por detrás.

Pruebas diagnósticas realizadas y resultados de las mismas: En urgencias se le realizó radiografía cervical informándose con una rectificación cervical.

Se realiza RNM cervical que evidencia protusiones discales en C4-C5 y C5-C6 con leve estenosis biforaminal y del conducto espinal predominantemente en C5-C6.

Tratamiento pautado: Rehabilitador.

Evolución: En primera valoración en consulta refiere dolor cervical que le limita en sus actividades.

Exploración física: Existe dolor a la palpación musculatura paravertebral y limitación de movilidad en las inclinaciones laterales y rotaciones.

Ante la existencia de este cuadro clínico se le realizó como medida de control de su proceso de incapacidad una prueba biomecánica que permitía objetivar la movilidad del raquis cervical, teniendo en cuenta tanto los rangos de movimiento como la suavidad del mismo que puede verse afectada por dolor. La primera valoración, como puedes ver más adelante, evidencia un patrón de alteración funcional importante con una marcada limitación de la movilidad cervical. La paciente inició tratamiento rehabilitador y tras 19 sesiones se volvió a practicar la valoración biomecánica evidenciándose una mejoría importante de su limitación. El objetivo de la realización de estas pruebas era tener una medida más objetiva de esta limitación que sirviese de control en posteriores valoraciones.

A continuación, se comenta con mayor detalle los resultados de la prueba de valoración biomecánica que se le realizó para que el alumno pueda familiarizarse con los mismos y valore su utilidad.

Prueba de Valoración Biomecánica: Valoración del raquis cervical mediante prueba biomecánica

Esta prueba analiza cinemáticamente el movimiento de la columna cervical para detectar patrones de movimientos anómalos o no funcionales, secundarios a un cuadro doloroso cervical.

El sistema de valoración utilizado consta de un sistema de fotogrametría 3D. Para llevar a cabo la valoración se comparan los parámetros obtenidos con los de un grupo de sujetos comparable a las características del paciente (bases de datos integradas por normales, patológicas elaboradas por el IBV).

El protocolo de medida que se ha utilizado consta de la siguiente prueba:

Prueba de Límites: analiza los límites funcionales del movimiento en cada una de las direcciones del espacio. En cada medida se solicita al paciente que realice ciclos repetitivos de cada movimiento analizado de forma continua, a velocidad ligera pero confortable y alcanzando el máximo de su recorrido articular durante 30 segundos.

## Resultados de la prueba de valoración biomecánica

### 1. Resultados de la valoración cervical al inicio de la baja

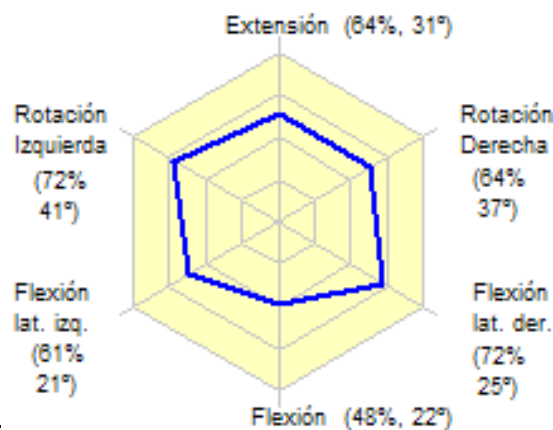


Figura 7. Hexágono visual de rango de movilidad objetivado junto con su porcentaje de normalidad.

NOTA: Los valores de movilidad se muestran también en un valor porcentual. En este caso, el valor porcentual significa lo alejado que se encuentra el resultado obtenido del patrón normal de movimiento que tiene el sistema de medida utilizado. Así, valores por encima del 90% significan que están por encima del patrón normal, y si son inferiores al 90% es que se van alejando de este patrón y por tanto mayor es la deficiencia.

Los rangos de movilidad obtenidos en cada uno de los ejes de movimiento del raquis cervical están globalmente disminuidos. Destaca en este análisis el alejamiento de la normalidad en el rango de flexo-extensión, especialmente en la flexión cervical. En la figura 13 puedes ver como los rangos articulares de todos los movimientos están disminuidos siendo la flexión el más limitado (22°).

Con respecto a la movilidad del raquis cervical en relación a su velocidad de movimiento, los resultados obtenidos han sido los siguientes:

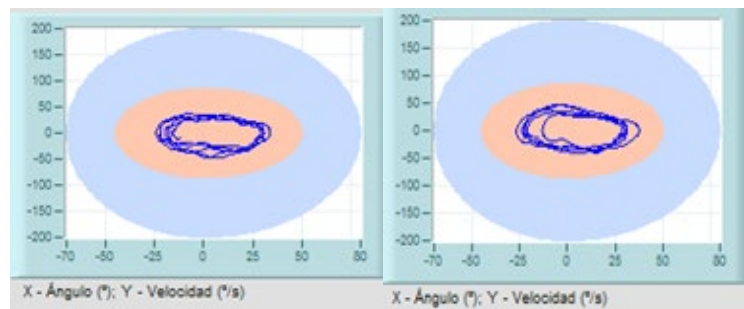


Figure 8. Flexion-extension test of two consecutive measurements.

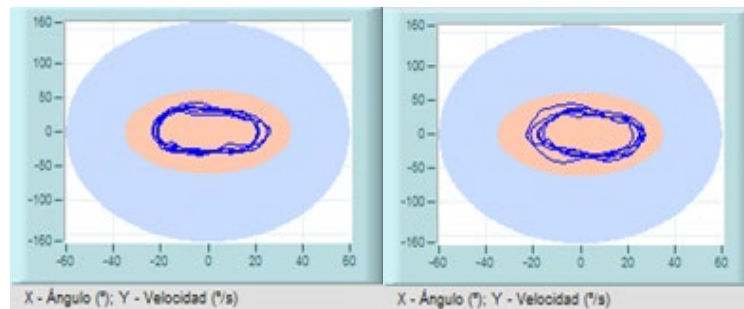


Figura 9. Prueba de flexión lateral de dos medidas consecutivas.

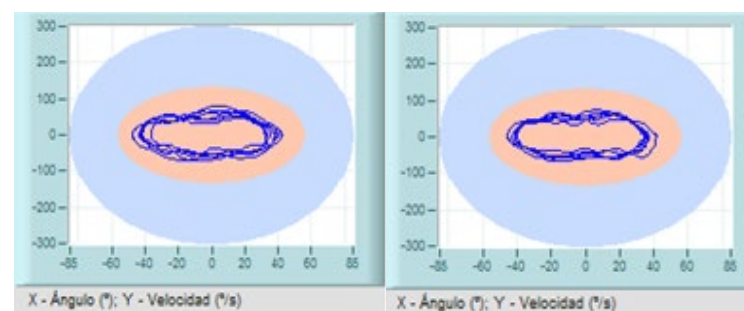


Figura 10. Prueba de rotación de dos medidas consecutivas.

En las Figura 11, Figura 12 y Figura 13 puedes ver los valores de velocidad que se representan en el eje de ordenadas y el ángulo máximo alcanzado que se ve en el eje de abscisas. Lo importante de esta gráfica es que se representa en color azul una banda de normalidad que tiene en cuenta el movimiento de personas sin ningún tipo de patología y que se corresponden con la edad y sexo del paciente. Este patrón de movimiento ha sido calculado con el mismo equipo de valoración que se ha utilizado para este paciente. Se aprecia que todos los trazados obtenidos se localizan en la zona color salmón, esto quiere decir que la paciente realiza los movimientos con unas velocidades angulares y movilidad alejadas del patrón normal, y por tanto muy disminuidas lo que es compatible con un patrón de movilidad limitado por dolor.

La repetibilidad entre la misma prueba ha sido bastante elevada y lo puedes ver a través de la similitud que se ve en los registros cuando se compara un mismo movimiento. Este parámetro es un aspecto más que se tiene en cuenta cuando se quiere analizar la sinceridad de esfuerzo del paciente en la valoración.

Con este resultado, y en coherencia con la exploración física del valorador, se objetiva una limitación importante de la movilidad en estos momentos de la paciente, significando que todavía está en un momento agudo de la lesión y que es necesario continuar con el proceso de baja laboral, manteniendo a la paciente bajo un programa de tratamiento rehabilitador.

Se pauta nueva valoración tras 19 sesiones de tratamiento físico.

En la siguiente valoración la paciente se encontraba prácticamente asintomática. La movilidad cervical era normal y no existían datos significativos en la valoración. Se le realizó una nueva valoración biomecánica para objetivar la mejoría. Los resultados son los que se muestran a continuación:

## 2. Resultados de la valoración cervical al final del tratamiento rehabilitador

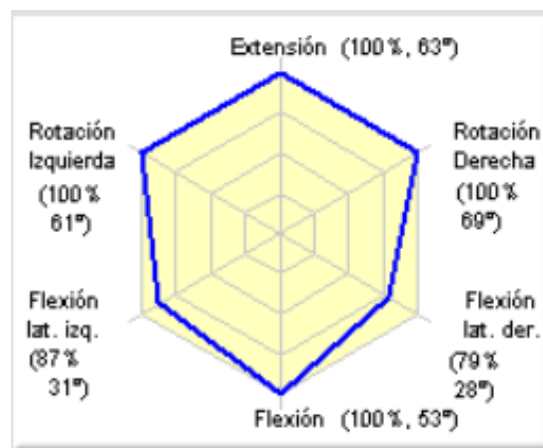


Figura 11. Hexágono visual de rango de movilidad objetivado a los 2 meses de evolución junto con su porcentaje de normalidad.

Los rangos de movilidad obtenidos en cada uno de los ejes de movimiento se han normalizado prácticamente. En flexo-extensión el valor medio obtenido ha sido de  $106^\circ$ . En la flexión lateral el valor obtenido ha sido de  $59^\circ$ . Por último, en las rotaciones el valor medio obtenido ha sido  $130^\circ$ .

Destaca un discreto alejamiento de la normalidad en el rango de las flexiones laterales.

Con respecto a la movilidad del raquis en relación a su velocidad de movimiento, los resultados han sido los siguientes:

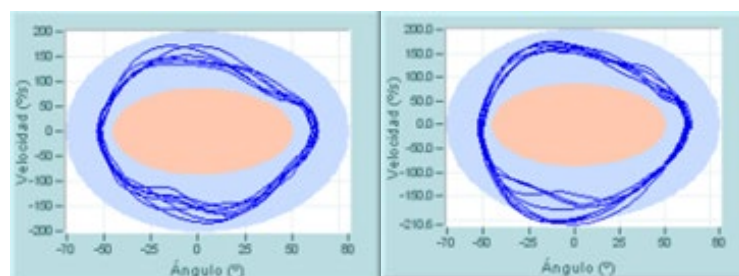


Figura 12. Prueba flexo-extensión cervical de dos medidas consecutivas.

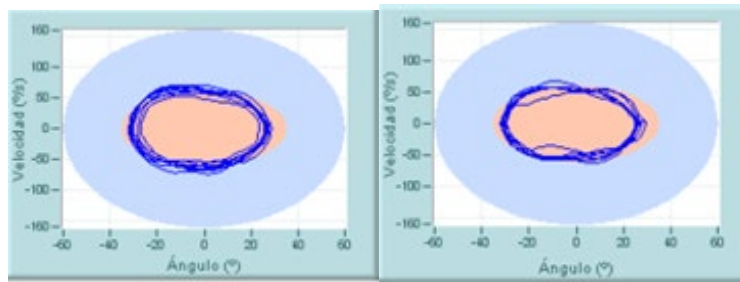


Figura 13. Prueba flexión lateral cervical de dos medidas consecutivas.

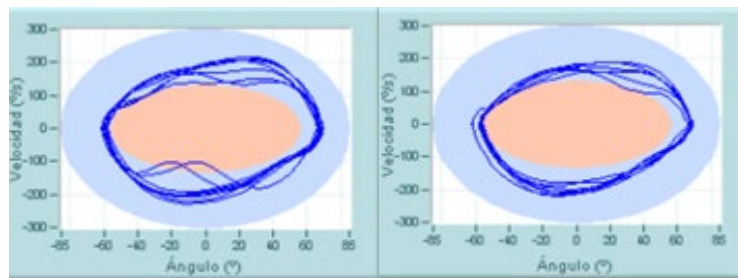


Figura 14. Prueba rotación cervical de dos medidas consecutivas.

En los gráficos ahora se aprecia que todos los trazados obtenidos se localizan en la zona normal (color azul), esto quiere decir que la paciente realiza los movimientos con unas velocidades angulares y movilidad normales, por lo que es indicativo de que ya no hay dolor que interfiera en su funcionalidad.

A la vista de los resultados obtenidos en la valoración funcional cervical llevada a cabo, se podría concluir el análisis efectuado descartándose la existencia en el momento actual de una repercusión significativa en la capacidad funcional de esta paciente como consecuencia de la patología sufrida con anterioridad y/o la sintomatología referida, a expensas básicamente de los valores registrados en los diferentes parámetros analizados, que traducirían la presencia de un nivel funcional actualmente normal.

**Evolución:** Ha sido favorable. Desaparece la sintomatología y en el momento final del tratamiento la paciente se encuentra recuperada. En la exploración física hay un buen estado general. No dolor a la palpación de espinosas cervicales. Balance articular completo en todos los arcos de movilidad. Molestias a la palpación de trapecio izquierdo sin palpase contracturas.

La paciente puede volver a su puesto de trabajo.

## 5. Valoración biomecánica lumbar. Caso clínico

---

**Caso:** Varón de 47 años.

**Profesión:** Soldador.

**Antecedentes personales:** Episodios previos de lumbalgia.

**Cuadro clínico que origina la baja:** Dolor lumbar tras esfuerzo laboral.

**Pruebas diagnósticas realizadas y resultados de las mismas:** En RNM lumbar previa se informaba de discopatía degenerativa L4-L5 y hernia discal L5-S1 lateralizada hacia la izquierda con posible afectación de raíz S1.

**Tratamiento pautado:** Rehabilitación.

**Evolución:** En la primera consulta el paciente refería dolor y con limitación de sus movimientos de columna lumbar.

**Exploración física:** Al inicio del proceso, la movilidad del raquis lumbar era flexión lumbar de 45° y extensión 5°. Refería dolor con la extensión lumbar y a la presión de las espinosas lumbares y sacroilíaca derecha. El Lassegue era negativo bilateralmente.

Ante el cuadro de limitación de movilidad lumbar del paciente, se le realizaron a lo largo del periodo de control de su baja laboral dos pruebas biomecánicas de valoración lumbar. La primera realizada a los 17 días de la baja, evidencia un patrón de limitación funcional leve. Esta limitación objetivada, junto con los signos encontrados en la exploración física del paciente hace que se continúe con el programa de rehabilitación, evidenciándose en una segunda valoración a las 7 semanas de la baja una clara mejoría.

A continuación, se comentan con mayor detalle los resultados de las pruebas realizadas:

### ***Prueba de Valoración Biomecánica: Valoración del raquis lumbar mediante prueba biomecánica***

El **objetivo** de esta prueba es analizar dinámica y cinemáticamente la actividad que puede verse limitada por una patología de raquis lumbar dolorosa, detectando movimientos anómalos o no funcionales.

El **sistema de valoración** utilizado consta de 2 plataformas dinamométricas y un sistema de fotogrametría 3D. Para llevar a cabo la valoración funcional, el sistema compara automáticamente los parámetros obtenidos con los de un grupo de sujetos comparable a las características de edad y sexo del paciente valorado.

El **protocolo de medida utilizado en este paciente** consta de la ejecución de dos gestos:

- **Levantarse de una silla** – En dicho gesto se analiza biomecánicamente la actividad de abandonar la posición de sentado y adoptar la de pie.



Figura 15. Prueba biomecánica de valoración funcional del gesto de levantarse de una silla utilizando un sistema de fotogrametría y plataformas dinamométricas.

- **Levantar peso** – En este gesto se analiza biomecánicamente la acción de flexionarse a coger y levantar un peso para moverlo de un nivel bajo a uno más alto. Se utilizan cajas de 0, 5 y 10 kg.



Figura 19. Prueba biomecánica de valoración funcional del gesto de flexionarse, coger y levantar un peso utilizando un sistema de fotogrametría y plataformas dinamométricas.

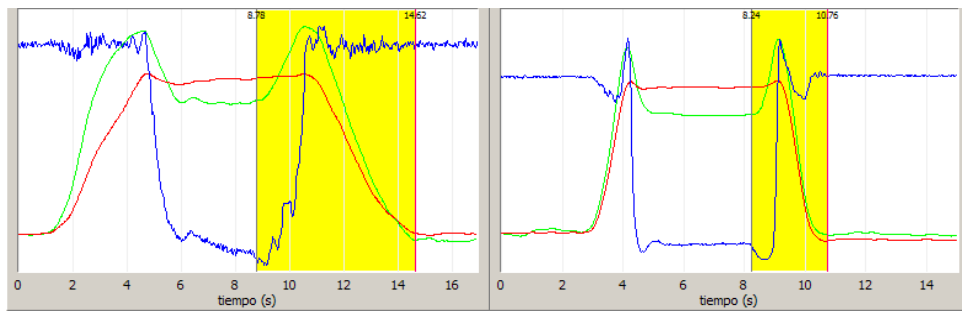
## ***Resultados de la prueba de valoración biomecánica***

### **1. Resultados de la valoración de lumbar a los 17 días de baja**

A continuación, se muestran las gráficas representativas del movimiento que hizo el paciente, pero se completa esta información con las gráficas que le corresponderían a un movimiento normal (de una persona sin dolor ni patología lumbar y de las mismas características que el paciente) para que lo puedas comparar.

Tiempo en segundos que necesitan para la ejecución de los gestos registrados.

### LEVANTARSE DE UNA SILLA



### LEVANTAR UN PESO

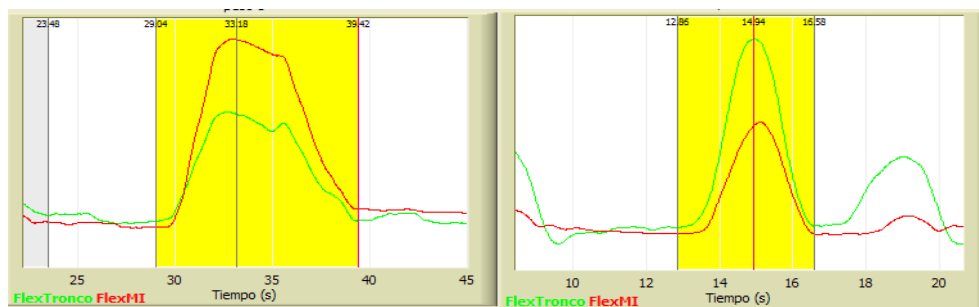


Figura 16. Con la franja amarilla se representa el tiempo total en segundos (eje de abscisas) que necesita para la ejecución de los gestos de forma completa. En la imagen de la izquierda se encuentra el registro del paciente, y en la de la derecha el de una persona sin patología ni dolor.

El paciente, en esta primera valoración necesita un tiempo elevado en la ejecución de los diferentes gestos analizados. En el lado izquierdo puedes ver que la franja amarilla es más ancha que en el lado derecho que se corresponde a la gráfica de un movimiento normal. Este hallazgo significa que el paciente hace un movimiento lento tanto para levantarse de la silla (gráficas superiores) como para flexionarse, coger y levantar un peso (gráficas inferiores). Este dato es compatible con un cuadro doloroso.

Con respecto a las **velocidades y aceleraciones del movimiento en estas dos actividades.**



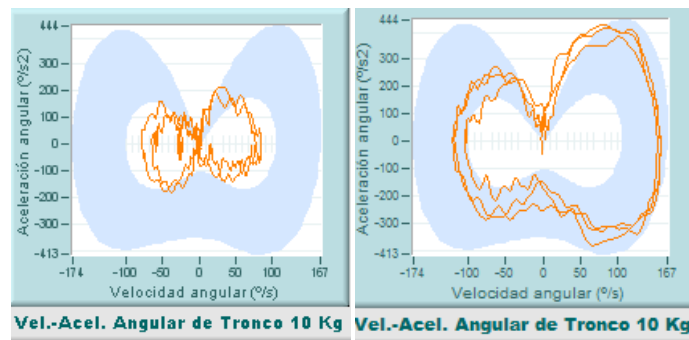


Figura 17. Representación de la velocidad/aceleración angular de tronco para las tres repeticiones del gesto realizado en levantar 10 kg junto con sus bandas de normalidad (banda azul). En la imagen de la izquierda se encuentra el registro del paciente, y en la de la derecha el de una persona sin patología ni dolor.

Las velocidades y aceleraciones están disminuidas en el movimiento de flexionarse, coger y levantar peso. En los gráficos puedes ver los valores de velocidad que se representan en el eje de abscisas y las aceleraciones que se representan en el eje de ordenadas. Lo importante de esta gráfica es que se representa en color azul una banda de normalidad que tiene en cuenta el movimiento de personas sin ningún tipo de patología y que se corresponden con la edad y sexo del paciente. Este patrón de movimiento ha sido calculado con el mismo equipo de valoración que se ha utilizado para este paciente. En la gráfica izquierda puedes ver como el trazado se dibuja en la zona central (blanca). Esta es la zona que representa la zona de movimientos patológicos o alterados funcionalmente. En la gráfica derecha se representa un movimiento normal, y en ella puedes ver como las líneas naranjas (representativas de las repeticiones) se sitúan sobre la banda azul que es la que representa un movimiento de una población normal o sin ninguna limitación. Este hallazgo significa que el paciente hace un movimiento lento tanto al inclinar su tronco para alcanzar el peso como al levantarlo. Este dato también es compatible con dolor en el movimiento, ya que con ello disminuye las velocidades y aceleraciones del mismo.

Con respecto a la fuerza vertical de reacción de cada uno de los pies y registrada con cada una de las plataformas:

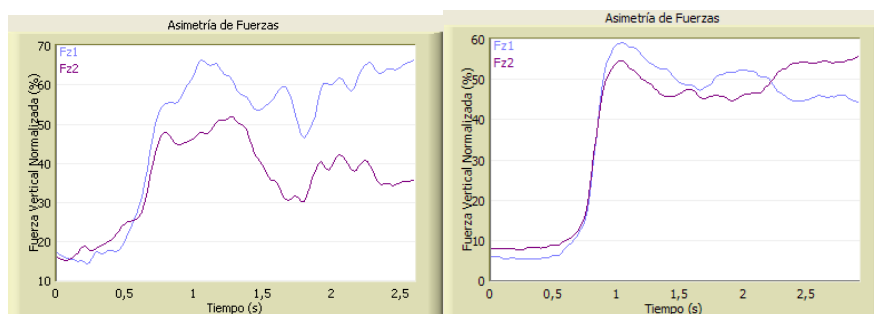


Figura 18. Fuerza vertical total normalizada realizada por el pie **derecho (Fz1)** y por el pie **izquierdo (Fz2)** mientras se realiza el gesto de levantarse de la silla en una de las repeticiones. En la imagen de la izquierda se encuentra el registro del paciente que ha sido valorado, y en la de la derecha el de una persona sin patología ni dolor.

Observa en esta gráfica como la fuerza Fz1 (azul claro) que se corresponde con la realizada con el pie derecho al levantarse alcanza valores superiores (entorno al 60%) y que la fuerza Fz2 que es la ejercida por el pie izquierdo alcanza valores en torno al 50%. Lo normal es que

los valores de estas fuerzas sean más similares, es decir, nos levantamos apoyando y estabilizándonos de forma similar en las dos piernas, y en casos de dolor en el apoyo de alguno de los miembros aparezca porque el paciente huya de dicho apoyo. La presencia de una asimetría de fuerzas, siendo la fuerza máxima vertical superior en la extremidad inferior derecha (azul claro en la gráfica) al compararla con la extremidad inferior contraria, podría interpretarse como derivada de la posible radiculopatía del paciente por la hernia discal lateralizada hacia el lado izquierdo que presenta.

Adicionalmente se realizó una prueba de valoración actividad muscular a través del procedimiento de medida del fenómeno flex-relax. Se muestra a continuación el resultado:

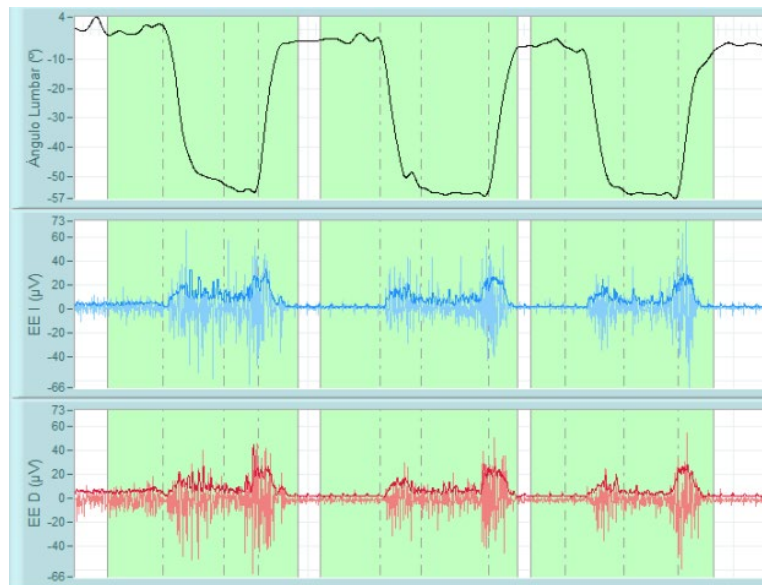


Figura 23. Resultados cinemáticos y de EMGs durante la prueba de flexión-relajación del raquis lumbar

Se ha registrado una ausencia de silencio mioeléctrico en la prueba biomecánica del fenómeno flex-relax, lo que es compatible con una falta de relajación de erectores espinales ante el proceso de dolor lumbar. Este resultado es coherente con el resto de resultados obtenidos en la valoración biomecánica y que orientan hacia una alteración en el movimiento por dolor lumbar.

### Decisión final tras la valoración biomecánica

A la vista de los resultados obtenidos en la valoración funcional lumbar llevada a cabo, se podría concluir el análisis efectuado confirmándose la existencia en el momento actual de una repercusión en la capacidad funcional de este paciente como consecuencia de la patología sufrida o la sintomatología referida, a expensas básicamente de los valores objetivos obtenidos en los diferentes parámetros analizados, que traducirían la existencia de un nivel funcional actualmente alterado.

Ante estos resultados, y junto a sus datos de exploración física, el médico que controla la IT decide continuar la baja.

El paciente continuó tratamiento rehabilitador.

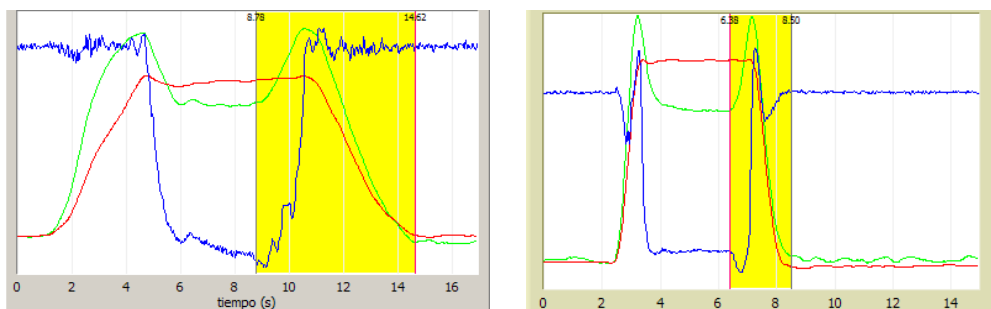
Tras 6 semanas y media se realizó una nueva valoración biomecánica. A la exploración física en ese momento en el raquis lumbar: balance articular flexión 80°, extensión completa. Existían molestias a las presiones espinosas lumbares y sacroilíaca derecha. Lassegue bilateral negativo.

## 2. Resultados de la valoración de lumbar en control posterior

A continuación, se muestran las gráficas representativas del movimiento que hizo el paciente, pero en este caso, se completa esta información con las gráficas de la sesión anterior para que os sea fácil compararlo.

Tiempo en segundos que necesitan para la ejecución de los gestos registrados.

### LEVANTARSE DE UNA SILLA



### LEVANTAR UN PESO

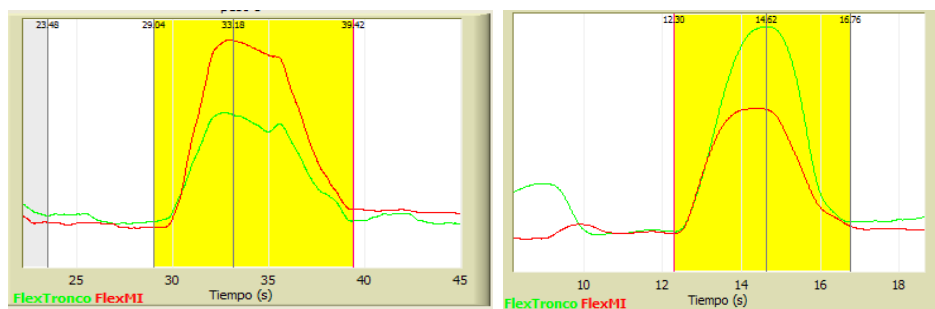


Figura 19. Con la franja amarilla se representa el tiempo total en segundos (eje de abscisas) que necesita para la ejecución de los gestos de forma completa. En la imagen de la izquierda se encuentra el registro del paciente en la sesión anterior (alteración funcional), y en la de la derecha el del mismo paciente en estos momentos de la valoración.

Ha mejorado sustancialmente el tiempo que necesita el paciente para la ejecución del gesto completo. En el lado izquierdo puedes ver como la anchura de la franja amarilla era mayor, y en el lado derecho como se ha reducido sustancialmente, por lo tanto, realiza el gesto más rápido guardando este dato relación con mejoría y menos dolor. Esta mejoría se ha objetivado tanto en la actividad de levantarse de una silla como en la actividad de flexionarse, coger y levantar un peso.

Con respecto a las **velocidades y aceleraciones del movimiento en estas dos actividades.**

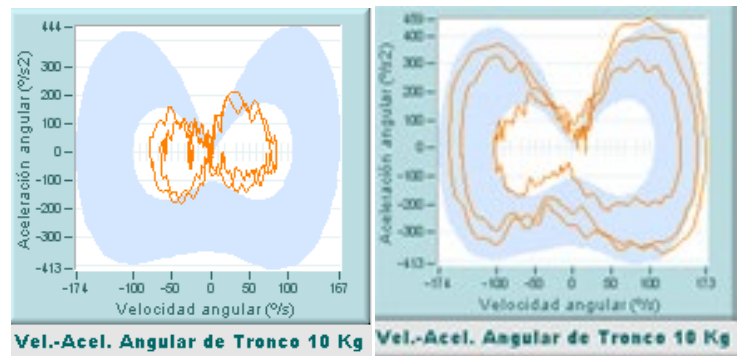


Figura 25. Representación de la velocidad/aceleración angular de tronco para las tres repeticiones del gesto realizado en levantar 10 kg junto con sus bandas de normalidad. En la imagen de la izquierda se encuentra el registro del paciente en la sesión anterior, y en la de la derecha el del mismo paciente en estos momentos.

Otro dato de mejoría encontrado es que el paciente es capaz ahora de realizar los gestos con velocidades y aceleraciones prácticamente dentro de la normalidad. En la gráfica izquierda veíamos como la representación gráfica estaba alejada de la banda azul (movimiento lento), en cambio en la imagen derecha estas líneas se sitúan ya en dicha banda por lo que el gesto se ha normalizado en relación a sus componentes de velocidad. Estos datos nos siguen apoyando la conclusión de adecuada evolución y mejoría tras el tratamiento.

Con respecto a la **fuerza vertical de reacción**, registrada con dos plataformas dinamométricas:

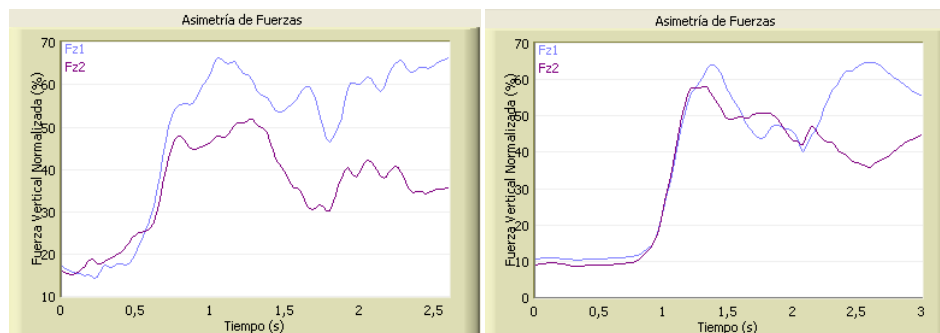


Figura 20. Fuerza vertical total normalizada realizada por el pie **derecho (Fz1)** y por el pie **izquierdo (Fz2)** mientras se realiza el gesto de levantarse de la silla en una de las repeticiones. En la imagen de la izquierda se encuentra el registro del paciente en la sesión anterior, y en la de la derecha el del mismo paciente en estos momentos

El apoyo también se ha estabilizado entre ambos miembros inferiores. Observa como en la valoración anterior existía una diferencia en el apoyo al levantarse de la silla, siendo mayor en el lado derecho (línea azul claro Fz1). En la valoración actual prácticamente son similares.

Esta prueba ha tenido una valoración global del 97% de normalidad. Lo que quiero decir que en estos momentos tiene un patrón de movimiento similar al de personas de sus características de edad y sexo sin ningún tipo de patología ni dolor, por lo que se supone que el paciente al tener ahora este tipo de patrón de movimiento, no se encuentra limitado

funcionalmente. (Con este protocolo aplicado NedLumbar/IBV se considera funcionalmente normal cuando el resultado global es superior al 90%).

Se volvió a repetir la prueba de valoración flex-relax de la columna, siendo el resultado obtenido el siguiente:

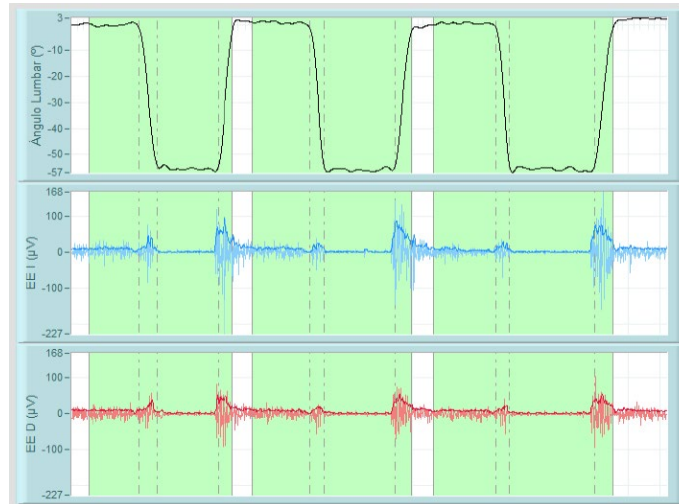


Figura 21. Resultados cinemáticos y de EMGs durante la prueba de flexión-relajación del raquis lumbar.

A la vista de los resultados obtenidos en la valoración funcional lumbar llevada a cabo, se podría concluir el análisis efectuado descartando la existencia en el momento actual de una repercusión significativa en la capacidad funcional de este paciente como consecuencia de la patología sufrida o la sintomatología referida, a expensas básicamente de los valores objetivos obtenidos en los diferentes parámetros analizados, que traducirían la existencia de un nivel funcional actualmente dentro de la normalidad.

**Evolución:** En la primera consulta el paciente refería dolor y con limitación de sus movimientos. Tras la terapia pautada y nueva valoración, el paciente refiere una mejoría, aunque persiste el dolor a la palpación de la zona lumbar. Aun así, no le limita en sus movimientos. Al finalizar el tratamiento el paciente refería algo de dolor a la presión en las espinosas lumbares. Por el contrario, las sacroilíacas y musculatura paravertebral no son dolorosas a la palpación. Flexión activa lumbar es de 60° y la extensión completa. Las inclinaciones laterales son normales y el Lassegue negativo.

Ante la normalización de los resultados y la evolución favorable del paciente, el médico decidió su reincorporación a su trabajo.

## 6. Ideas principales

---

- El dolor de columna tiene una elevada prevalencia en el ámbito clínico y, con frecuencia, ocasiona una alteración en la movilidad de la misma.
- Las técnicas de análisis biomecánico que permiten conocer la fuerza y movilidad de columna aportan información objetiva sobre su funcionalidad.
- Tanto en la columna lumbar como en la cervical se pueden analizar la amplitud de movimiento con técnicas de análisis biomecánico. Los resultados frecuentemente encontrados en personas con dolor son las limitaciones de los rangos de movilidad.
- La fuerza también puede ser evaluada, fundamentalmente mediante isocinéticos en personas con dolor lumbar. Los resultados más habituales en este tipo de población es la disminución de la fuerza junto con modificaciones en la ratio entre agonistas/antagonistas.
- Otra de las pruebas relacionadas con la actividad muscular en personas con dolor lumbar es el análisis flex-relax. Este test se suele encontrar alterado desapareciendo el fenómeno que se conoce como silencio mioeléctrico.
- También se puede valorar los patrones de movimiento en la ejecución de actividades de la vida diaria en personas con dolor lumbar. Con este análisis biomecánico se obtienen resultados que gradúan la alteración funcional y además sirven de guía en el control evolutivo.

Para realizar todas estas pruebas y obtener resultados fiables, los protocolos de medida deben estar muy estandarizados y tener un buen control de las técnicas de registro aplicadas.

## 7. Referencias

---

- [1] Prushansky, T., & Dvir, Z. (2008). La prueba de la movilidad cervical: metodología e implicaciones clínicas. *Osteopatía Científica*, 3(3), 108-114.
- [2] Dall'Alba, P. T., Sterling, M. M., Treleaven, J. M., Edwards, S. L., & Jull, G. A. (2001). Cervical range of motion discriminates between asymptomatic persons and those with whiplash. *Spine*, 26(19), 2090-2094.
- [3] Sterling, M., Jull, G., Vicenzino, B., Kenardy, J., & Darnell, R. (2003). Development of motor system dysfunction following whiplash injury. *PAIN®*, 103(1-2), 65-73.
- [4] 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.
- [5] Prushansky, T., Pevzner, E., Gordon, C., & Dvir, Z. (2006). Performance of cervical motion in chronic whiplash patients and healthy subjects: the case of atypical patients. *Spine*, 31(1), 37-43.
- [6] 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.
- [7] Dvorak, J., Antinnes, J. A., Panjabi, M., Loustalot, D., & Bonomo, M. (1992). Age and gender related normal motion of the cervical spine. *Spine*, 17(10 Suppl), S393-8.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] Ylinen, J., Salo, P., Nykänen, M., Kautiainen, H., & Häkkinen, A. (2004). Decreased isometric neck strength in women with chronic neck pain and the repeatability of neck strength measurements. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 85(8), 1303-1308.
- [11] Marras, W. S., & Wongsam, P. E. (1986). Flexibility and velocity of the normal and impaired lumbar spine. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 67(4), 213-217.
- [12] Yoshida, K., Iwakura, H., & Inoue, F. (1983). Motion analysis in the movements of standing up from and sitting down on a chair. A comparison of normal and hemiparetic subjects and the differences of sex and age among the normals. *Scandinavian journal of rehabilitation medicine*, 15(3), 133-140.

- [13] McClure, P. W., Esola, M., Schreier, R., & Siegler, S. (1997). Kinematic analysis of lumbar and hip motion while rising from a forward, flexed position in patients with and without a history of low back pain. *Spine*, 22(5), 552-558.
- [14] Radebold, A., Cholewicki, J., Panjabi, M. M., & Patel, T. C. (2000). Muscle response pattern to sudden trunk loading in healthy individuals and in patients with chronic low back pain. *Spine*, 25(8), 947-954.
- [15] Kralj, A., Jaeger, R. J., & Muni, M. (1990). Analysis of standing up and sitting down in humans: definitions and normative data presentation. *Journal of biomechanics*, 23(11), 1123-1138.
- [16] Dvir, Z. (1991). Clinical applicability of isokinetics: a review. *Clinical Biomechanics*, 6(3), 133-144.
- [17] Smith, S. S., Mayer, T. G., Gatchel, R. J., & Becker, T. J. (1985). Quantification of lumbar function. Part 1: Isometric and multispeed isokinetic trunk strength measures in sagittal and axial planes in normal subjects. *Spine*, 10(8), 757-764.
- [18] Mayer, T. G., Smith, S. S., Keeley, J. A. N. I. C. E., & Mooney, V. E. R. T. (1985). Quantification of lumbar function. Part 2: Sagittal plane trunk strength in chronic low-back pain patients. *Spine*, 10(8), 765-772.
- [19] Mayer, T. G., Smith, S. S., Kondraske, G., Gatchel, R. J., Carmichael, T. W., & Mooney, V. E. R. T. (1985). Quantification of lumbar function. Part 3: Preliminary data on isokinetic torso rotation testing with myoelectric spectral analysis in normal and low-back pain subjects. *Spine*, 10(10), 912-920.
- [20] Triano, J. J., & Schultz, A. B. (1987). Correlation of objective measure of trunk motion and muscle function with low-back disability ratings. *Spine*, 12(6), 561-565.
- [21] Sihvonen, T., Partanen, J., Hänninen, O., & Soimakallio, S. (1991). Electric behavior of low back muscles during lumbar pelvic rhythm in low back pain patients and healthy controls. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 72(13), 1080-1087.
- [22] Floyd, W. F., & Silver, P. H. S. (1950). Electromyographic study of patterns of activity of the anterior abdominal wall muscles in man. *Journal of Anatomy*, 84(Pt 2), 132.
- [23] Floyd, W. F., & Silver, P. H. S. (1955). The function of the erector spinae muscles in certain movements and postures in man. *The Journal of physiology*, 129(1), 184-203.
- [24] Nouwen, A., Van, P. A., & Versloot, J. M. (1987). Patterns of muscular activity during movement in patients with chronic low-back pain. *Spine*, 12(8), 777-782.
- [25] Shirado, O., Ito, T., Kaneda, K., & Strax, T. E. (1995). Concentric and eccentric strength of trunk muscles: influence of test postures on strength and characteristics of patients with chronic low-back pain. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 76(7), 604-611.



[26] Paquet, N., Malouin, F., & Richards, C. L. (1994). Hip-spine movement interaction and muscle activation patterns during sagittal trunk movements in low back pain patients. *Spine*, 19(5), 596-603.

[27] Lund, J. P., Donga, R., Widmer, C. G., & Stohler, C. S. (1991). The pain-adaptation model: a discussion of the relationship between chronic musculoskeletal pain and motor activity. *Canadian journal of physiology and pharmacology*, 69(5), 683-694.

[28] Ahern, D. K., Follick, M. J., Council, J. R., Laser-Wolston, N., & Litchman, H. (1988). Comparison of lumbar paravertebral EMG patterns in chronic low back pain patients and non-patient controls. *Pain*, 34(2), 153-160.

[29] Geisser, M. E., Haig, A. J., Wallbom, A. S., & Wiggert, E. A. (2004). Pain-related fear, lumbar flexion, and dynamic EMG among persons with chronic musculoskeletal low back pain. *The Clinical journal of pain*, 20(2), 61-69.

[30] Yuan, T., Liu, Q., & Ai, Q. (2010, December). Study on Best Wavelet Packet Based Independent Threshold De-noising for MUAP. In 2010 *Second World Congress on Software Engineering* (Vol. 1, pp. 269-272). IEEE.

[31] Kumar, S., & Prasad, N. (2010). Torso muscle EMG profile differences between patients of back pain and control. *Clinical biomechanics*, 25(2), 103-109.



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.

