

# Desarrollo de soluciones de formación innovadoras en el campo de la evaluación funcional dirigidas a la actualización de los planes de estudio de las escuelas de ciencias de la salud



## MÓDULO BIOMECÁNICA DE COLUMNA

### Unidad Didáctica A: Biomecánica de la columna normal

This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0. It is allowed to download this work and share it with others, but you must give credit, and you can't change it in any way or use it commercially.



## ÍNDICE

1. OBJETIVOS E INTRODUCCIÓN	2
¿Por qué es importante conocer la biomecánica de la columna y su comportamiento en situaciones funcionales? .....	2
Conceptos generales .....	2
2. BIOMECÁNICA NORMAL DE LA COLUMNA CERVICAL	4
2.1 Biomecánica de la columna cervical superior .....	4
Articulación Atlanto-occipital .....	4
Articulación Atlanto-axial .....	5
2.2 Biomecánica de la columna cervical inferior .....	6
3. BIOMECÁNICA NORMAL DE LA COLUMNA TORÁCICA	8
Segmento de movimiento espinal torácico .....	10
4. BIOMECÁNICA NORMAL DE LA COLUMNA LUMBAR, EL SACO Y EL CÓCCIX	12
Segmento de movimiento espinal lumbar .....	13
5. ¿QUÉ CARGA SOPORTA LA COLUMNA VERTEBRAL CUANDO ESTAMOS EN DIFERENTES POSICIONES DE REPOSO?	16
6. ¿CÓMO ES LA BIOMECÁNICA DE LA COLUMNA CUANDO REALIZAMOS GESTOS MOTORES FUNCIONALES?	17
7. IDEAS CLAVE	18
8. REFERENCIAS	20

## 1. Objetivos e introducción

---

En esta Unidad Didáctica se repasarán los aspectos más relevantes de la biomecánica normal de la columna. Los objetivos de esta unidad didáctica son:

1. Reelaborar la biomecánica de los diferentes segmentos de la columna en condiciones normales.
2. Revisar la biomecánica de la columna vertebral en condiciones normales en las principales posiciones de reposo del ser humano.
3. Revisar la biomecánica de la columna en condiciones normales durante los gestos funcionales cotidianos habituales.

### ¿Por qué es importante conocer la biomecánica de la columna y su comportamiento en situaciones funcionales?

#### Conceptos generales

La columna tiene cuatro funciones principales interrelacionadas: 1) apoyo, 2) movilidad, 3) alojamiento y protección, y 4) control. Como estructura de soporte, la columna vertebral funciona como un marco para la unión de los órganos internos, las extremidades superiores e inferiores y la cabeza. La movilidad permite las muchas tareas físicas de la vida diaria y el trabajo, pero complica la estructura de la columna. Esto, en lugar de una sola columna rígida, la columna vertebral es una pila flexible de 24 vértebras rígidas con discos flexibles en el medio.

El segmento de movimiento es la "Unidad funcional de la columna vertebral" (Functional Spine Unit, FSU) que consta de dos vértebras adyacentes y el tejido blando interconectado, desprovisto de musculatura. Cada FSU tiene seis grados de libertad (Figura 1), utilizando el sistema de coordenadas cartesiano estándar para la columna, se pueden considerar 12 movimientos potenciales alrededor del eje de rotación instantáneo: 2 de traslación y 2 de rotación a lo largo o alrededor de cada eje (x, y, z). En resumen, el rango de movimiento (ROM) se expresa por traslación y rotación en tres planos. En la columna cervical, demasiado movimiento debe considerarse como daño estructural de la columna, mientras que muy poco movimiento puede acompañar a rigidez y dolor.

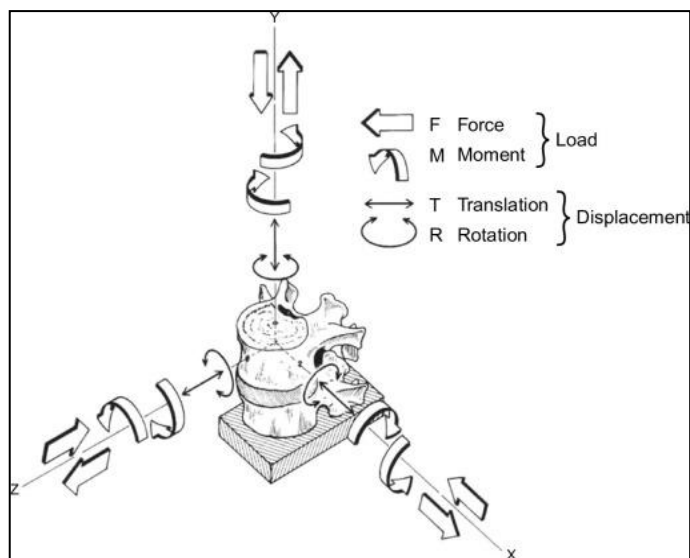


Figura 1 - El sistema de coordenadas de la columna vertebral desarrollado por White y Panjabi (1990). La imagen muestra el posible movimiento de traslación y rotación para los ejes x, y, z. Imágen de E.A. Friis et al. 2017.

## 2. Biomecánica normal de la columna cervical

La sección cervical está formada por 7 vértebras y forman una de las dos lordosis de la columna, que aumentan enormemente la resistencia al estrés de las compresiones axiales en comparación con una columna rectilínea (hasta diez veces). La sección cervical, “vértebras cervicales C1-C7”, cuya longitud varía de 15 a 16 cm en mujeres y de 18 a 19 cm en hombres, y que está representada por el grosor de los discos intervertebrales en 1/4, presenta una lordosis anteriormente convexo, cuya curvatura es de unos 36° y varía según las modificaciones de las otras curvas espinales, siendo más acentuada en los ancianos. Las vértebras cervicales, según sus peculiaridades, se pueden agrupar en columna cervical superior (C1-C2) y columna cervical inferior (C3-C7).

### 2.1 Biomecánica de la columna cervical superior

#### Articulación Atlanto-occipital

El atlas es la primera vértebra cervical y proporciona un soporte (también llamado encaje o muescas) para sostener la parte condilar del hueso occipital. Sus movimientos principales son flexión y extensión o movimientos de asentimiento. Estos movimientos se logran mediante el balanceo y deslizamiento de los cóndilos occiputales sobre la superficie cóncava de la cavidad. En flexión, los cóndilos ruedan hacia adelante y se deslizan hacia atrás a través de las paredes anteriores de sus cuencas. En extensión, se produce una combinación inversa de balanceo y deslizamiento. Los movimientos de flexión y extensión están restringidos por lo siguiente:

- El borde de la cavidad de la articulación atlanto-occipital contral la base del cráneo
- La flexión está limitada por la tensión en los músculos posteriores del cuello y por la impactación de los tejidos submandibulares contra la garganta.
- La extensión está limitada por el occipucio que comprime los músculos suboccipitales.

La rotación y flexión lateral entre el occipucio y el atlas es extremadamente limitada o no es posible debido a la profundidad de la superficie articular superior de la masa lateral. En estos movimientos, la cabeza y el atlas se mueven y funcionan esencialmente como una sola unidad. Durante la rotación de la cabeza, el cóndilo occipital contralateral contacta con la pared anterior de su cavidad atlantal y el cóndilo contralateral contacta con la pared posterior de su cavidad atlantal respectiva. En cambio, en la flexión lateral de la cabeza, la compacta cápsula de la articulación atlantooccipital evita que el cóndilo contralateral se salga de su cavidad. De hecho, la estabilidad de la articulación atlantooccipital se debe en gran parte a la profundidad de las cuencas atlanciales.

## Articulación Atlanto-axial

El complejo atlanto-axial está compuesto por dos articulaciones facetarias laterales, la articulación atlantodental y la articulación entre la superficie posterior del odontoides y el ligamento transverso.

El peso de la cabeza se transfiere a la columna cervical a través de las articulaciones atlantoaxiales laterales de C2, es decir, hacia la vertebra axis. La apófisis odontoides se extiende desde el cuerpo de la vértebra C2 hasta la faceta del atlas ubicada en el arco anterior, actúa como “pivote” y forma la articulación medial atlantoaxial. Esta articulación atlantoaxial permite que el arco anterior del atlas gire y se deslice alrededor del pivote (Figura 2), lo que permite que el atlas y la cabeza giren de lado a lado como una sola unidad. La rotación unilateral de esta articulación es de unos 40°. En tal articulación móvil debe haber una gran estabilización que, en este caso, viene dada por los ligamentos transverso, alar y apical (Figura 2), que sujetan el diente del axis mientras el atlas gira. Asimismo, al final de la rotación, el movimiento estará limitado por las articulaciones atlantoaxiales laterales, que son mucho más laxas que las cápsulas articulares C0-C1. La rotación en este nivel también es posible debido a la anatomía particular de las articulaciones atlantoaxiales laterales. En algunos textos, esta articulación se describe como bicóncava y en otros como biconvexa, dependiendo de si el texto se refiere a la forma de las superficies articulares o al cartílago articular entre ellas, respectivamente. Técnicamente, se trata de una articulación plana, que permite movimientos de deslizamiento y rotación. Esto significa que en las superficies articulares del C2, las superficies articulares inferiores y laterales del atlas pueden moverse hacia adelante o hacia atrás durante la rotación. A medida que el C1 gira, la faceta atlantal ipsolateral se desliza hacia abajo por la pendiente posterior de la faceta axial respectiva, mientras que la contralateral se desliza hacia abajo por la pendiente anterior de la faceta axial.

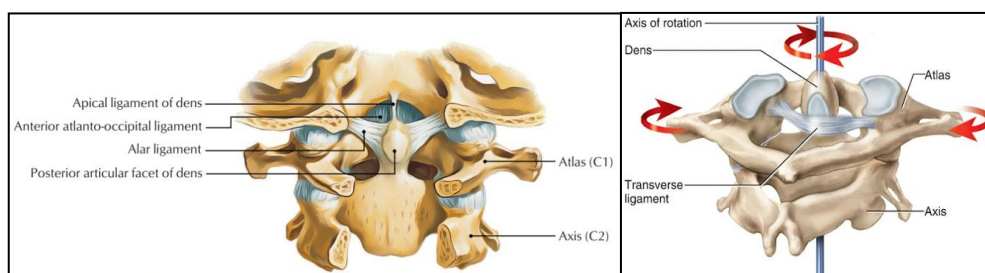


Figura 2 – Ligamento apical, alar y transverso del proceso odontoides (diente) de la vertebra Axis. Imagen de (izquierda) [www.earthslab.com](http://www.earthslab.com) and (derecha) [www.imagequiz.co.uk](http://www.imagequiz.co.uk).

La articulación lateral atlantoaxial también produce un movimiento de acoplamiento durante la flexión y extensión de la columna cervical (Figura 3), es decir, cuando la columna cervical se flexiona, el atlas se extiende y cuando la columna cervical se extiende, el atlas se flexiona. En posición neutra, C1 se equilibra precariamente sobre las convexidades de sus cartílagos articulares, pero cuando se aplica una carga de compresión axial, C1 comienza a moverse pasivamente. El deslizamiento hacia atrás del Atlas está limitado por la impactación de su arco anterior contra la apófisis odontoides, mientras que los ligamentos transversos y

alar previenen el deslizamiento hacia adelante. Se considera normal hasta 3 mm de traslación anterior de C1 en C2, medido por el intervalo atlantodental anterior.

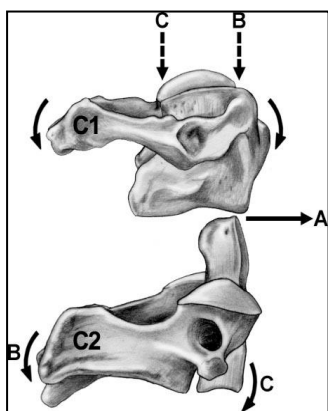


Figura 3 – La naturaleza biconvexa de C1 y C2. A, Traslación. B, Extensión de C1 creando flexión en C2. C, Flexión de C1 creando extensión en C2. Imagen de Swartz E. et al. 2005.

La integridad del complejo articular occipitoatlantoaxial no solo depende de los ligamentos que ya hemos mencionado anteriormente sino que además la membrana tectorial juega un papel fundamental en la estabilidad de estos segmentos. La membrana tectorial es una amplia continuación del ligamento longitudinal posterior y está unida entre el cuerpo posterior de C2 y el basioccipucio. Su función principal es limitar la extensión en las articulaciones occipitoatlantales.

## 2.2 Biomecánica de la columna cervical inferior

Para describir la columna cervical inferior, generalmente se considera desde C3. Sin embargo, la articulación C2-C3 tiene importantes características biomecánicas que se diferencian de las articulaciones del resto de las vértebras cervicales inferiores:

- A diferencia de las articulaciones cigapofisarias típicas cuyos planos son transversales, las apófisis articulares superiores de C3 miran no sólo hacia arriba y hacia atrás, sino también medialmente, en unos 40°. A diferencia de las típicas articulaciones cigapofisarias cuyos planos son transversales.
- En su conjunto, las apófisis de ambos lados forman una cavidad en la que se encajan las apófisis articulares inferiores del axis. Además, las apófisis articulares superiores de C3 se encuentran más bajas, con respecto a su cuerpo vertebral, que las apófisis de los segmentos inferiores.
- Durante la rotación axial del cuello, la dirección de acoplamiento con flexión lateral en C2-C3 es opuesta a la que se observa en los segmentos inferiores. En lugar de inclinarse hacia el mismo lado que la rotación, C2 gira alejándose de ese lado. La ubicación inferior del proceso articular superior de C3 se correlaciona con la ubicación inferior del eje de rotación sagital de C2.

Las características de las vértebras inferiores son más uniformes. Están separados por un disco intervertebral en la articulación intervertebral. Las superficies articulares superiores e inferiores son similares a una articulación en silla de montar, esto significa que constan de dos concavidades enfrentadas y colocadas en ángulo recto entre sí. La superficie inferior del cuerpo vertebral superior es cóncava hacia abajo en el plano sagital y la superficie superior del cuerpo vertebral inferior es cóncava hacia arriba en el plano transversal. Estas características permiten que el cuerpo vertebral pueda moverse hacia adelante y hacia atrás alrededor de un eje transversal (Figura 4, Eje I) y de lado a lado alrededor de un eje perpendicular a las facetas y acunado por los procesos unciforme (Figura 4, Eje II). El movimiento alrededor de un eje oblicuo anteroposterior (Figura 4, Eje III) está limitado por la orientación de las facetas.

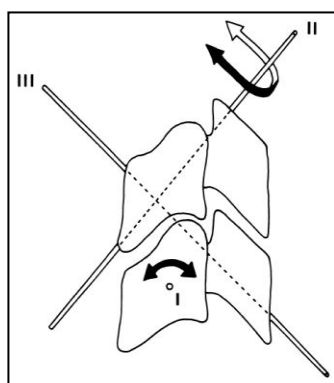


Figura 4 - Los planos de movimiento de un segmento de movimiento cervical. La flexión y la extensión ocurren alrededor de un eje transversal (eje I). La rotación axial ocurre alrededor de un eje modificado (eje II) que pasa perpendicular al plano de las articulaciones cigapofisarias. En el tercer eje (eje III) no puede ocurrir ningún movimiento. Imagen de Bogduk N. et al. 2000.



### 3. Biomecánica normal de la columna torácica

Al conectar las secciones de la columna cervical y lumbar, la columna torácica debe garantizar una alta estabilidad para el equilibrio sagital controlado por los músculos de la columna a través de los músculos erectores de la columna y abdominales, para una transmisión de fuerza óptima desde la parte superior del cuerpo a las secciones de la columna inferior, y para flexibilidad adecuada para realizar movimientos tridimensionales. Cuando la estabilidad intersegmentaria de la columna cervical y lumbar está determinada principalmente por la musculatura adyacente, los segmentos de la columna torácica se estabilizan principalmente por las estructuras óseas y ligamentosas adicionales de la caja torácica.

La columna torácica tiene 12 vértebras de T1 a T12 que forman una curvatura cóncava hacia la dirección ventral en el plano sagital llamado cifosis (Figura 5), cuyo ángulo es de 45° y varía entre 20° y 70° en la columna asintomática. La cifosis depende del ángulo de la lordosis lumbar y del posicionamiento de las vértebras cervicales inferiores, es decir, la lordosis lumbar plana induce una disminución de la curva torácica inferior y ambas conducen a un efecto en la posición de las vértebras cervicales inferiores para mantenerlas equilibradas. La curvatura espinal inicial y el peso corporal determinan la ubicación anterior del centro de gravedad. Debido a que la columna torácica generalmente está inclinada hacia adelante, existen fuerzas musculares posteriores continuas necesarias para mantener la posición erguida de la columna, especialmente por el músculo longissimus dorsi. Con el aumento de la carga axial, la curvatura torácica se endereza para ángulos iniciales bajos y aumenta para ángulos más grandes. La naturaleza cifótica de la columna conduce además a una distribución de la carga de compresión primaria en la dirección anterior hacia el cuerpo vertebral, mientras que la parte posterior debe resistir principalmente las cargas de tracción.

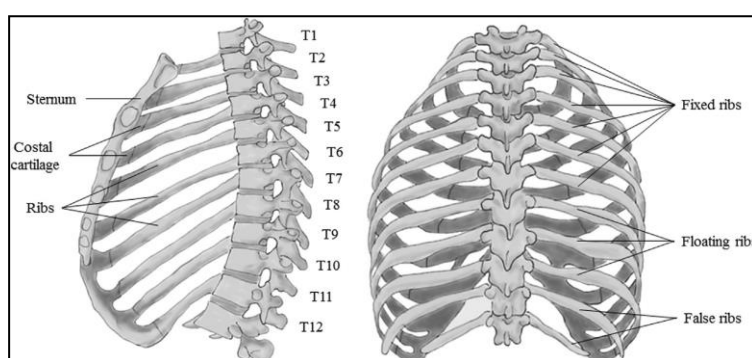


Figura 5 – La columna torácica ósea y cartilaginosa y la caja torácica en vista sagital sin las costillas izquierdas (izquierda) y vista posterior (derecha). Imagen de Galbusera F. et al. 2018.

La morfología vertebral se atribuye a la configuración inclinada de la columna torácica. El ángulo de cuña promedio (Figura 6) es de aproximadamente 4 grados, lo que muestra una tendencia hacia una configuración de cuña más pronunciada de los cuerpos vertebrales torácicos medios. La inclinación de las facetas articulares limita el rango de movimiento de flexión / extensión y rotación axial, además de alterar el eje de rotación instantáneo en el plano transversal. Las facetas tienen una orientación casi coronal en la columna torácica (T1-T10). Los ángulos de inclinación de las facetas aumentan gradualmente en dirección inferior hacia la columna lumbar al converger al plano frontal, especialmente en el plano sagital, donde los ángulos varían de 55-60° en T1 a 70-75° en T10. (Figura 6-A). En el plano transversal el ángulo de facetas varía de 70 a 80°. Debido a que todas las facetas torácicas están orientadas principalmente en paralelo al plano frontal, proporcionan una clara resistencia a la traslación anteroposterior y, en menor medida, a las cargas de compresión axial. En la zona de transición toracolumbar (T11 a L1), suele haber un cambio abrupto o segmentario de la orientación de las facetas en el plano transversal desde la orientación frontal hacia el plano sagital de las superficies articulares; en la zona de transición cervicotorácica, el ángulo del plano sagital tiende a disminuir y el ángulo transversal tiende a aumentar en dirección superior.

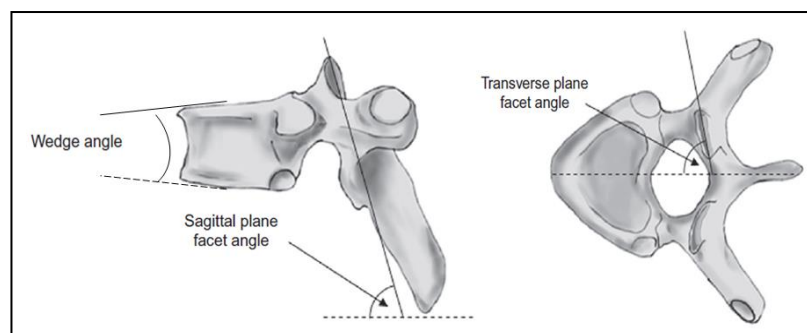


Figura 6 – Ángulo de cuña y ángulos de la articulación facetaria de los segmentos de movimiento de la columna torácica. Imagen de Galbusera F. et al. 2018.

Debido a la curvatura cifótica de la columna torácica y al aumento del momento de flexión en posición vertical, la porción anterior del disco torácico se comprime por el peso corporal, mientras que el disco muestra una forma de cuña en estado descomprimido. Esta forma de cuña, resultante de una mayor altura del disco anterior, está especialmente presente en la columna torácica inferior (T7 - T12) en aproximadamente un 20%, mientras que en la columna torácica superior, los discos son bastante planos (T1 - T4, T5- T7) o exhiben una mayor altura del disco posterior (T4 - T5). La altura promedio del disco disminuye en dirección inferior a un mínimo en T4-T5 antes de aumentar para alcanzar una altura máxima en T10-T11. En comparación con la columna cervical o lumbar, la altura del disco generalmente disminuye, pero el anillo fibroso es más grueso y fuerte, especialmente en la sección posterior, lo que conduce a movimientos de rotación limitados, mientras que el núcleo es relativamente pequeño, lo que indica que se absorben las cargas de compresión axial por otras estructuras, como las articulaciones facetarias o las estructuras de la caja torácica. En el plano transversal, las áreas transversales de los discos de la columna

torácica superior son relativamente más pequeñas que las de la columna torácica inferior y aumentan en la parte inferior en más del 100% de T1-T2 a T11-T12.

Se describirán brevemente los ligamentos de esta zona, se debe considerar que son comunes a otras regiones. El ligamento longitudinal anterior, ubicado al frente de cada vértebra, en la columna torácica tiene un área de sección transversal más alta y es aproximadamente tres veces más fuerte en la columna torácica superior que en la inferior, debido a que limita los movimientos de extensión excesivos. Por otro lado, el ligamento longitudinal posterior se sitúa dentro del canal vertebral y se extiende a lo largo de las superficies posteriores de los cuerpos de las vértebras; en la región torácica media es más fuerte que en otras regiones. Estos ligamentos son más gruesos en la columna torácica que en las otras secciones porque tienen que prevenir los movimientos de hiperflexión e hiperextensión. El ligamento flavum se define como cada una de las secciones de tejido elástico de color amarillo ubicadas entre la lámina de una vértebra superior y una inferior; Su función es mantener o recuperar la posición erguida. En el segmento torácico inferior, el ligamento flavum exhibe una alta carga de rotura por tracción de aproximadamente 300 N y también tiene un área de sección transversal alta (100 mm<sup>2</sup>). Los ligamentos intertransversos se encuentran en la columna torácica y en la columna lumbar superior, y ejercen una restricción en la inclinación lateral y la rotación axial, mientras que los ligamentos interespinoso y supraespinoso sirven para limitar la hiperflexión. Sin embargo, el ligamento supraespinoso es más fuerte que el ligamento interespinoso debido al brazo de palanca más alto durante el movimiento de flexión.

### Segmento de movimiento espinal torácico

En general, se encontró que la relación entre el rango de movimiento y la zona neutra disminuía en la dirección inferior para momentos flectores iguales. La zona neutra es una zona de movilidad, cercana a la posición neutra de la articulación en la que las estructuras osteoligamentosas ofrecen una resistencia mínima. In vivo, se encontraron rangos de movimiento más altos en los segmentos inferiores debido a que las costillas flotantes y falsas de la caja torácica inferior tienen un efecto menor en la restricción del movimiento. El movimiento segmentario ocurre de la siguiente manera:

- Durante la flexión hacia adelante, la vértebra superior se flexiona en relación con la vértebra inferior. Entre T3 y T10, la apófisis articular superior se inclina ligeramente hacia delante en el plano coronal y se produce una pequeña traslación anterior de la vértebra superior durante la flexión.
- Durante la flexión hacia atrás, la vértebra superior se extiende en relación con la vértebra inferior. Entre T3 y T10, la apófisis articular superior se inclina ligeramente hacia delante en el plano coronal y se produce una pequeña traslación posterior de la superiovertebra junto con la extensión.
- Durante la flexión lateral, la vértebra superior debe flexionarse lateralmente en relación con la vértebra inferior y la rotación puede acoplarse segmentariamente en direcciones ipsilateral o contralateral. Si la vértebra superior puede seguir la orientación de las articulaciones cigapofisarias, el patrón suele ser ipsilateral.
- Durante la rotación axial, la vértebra superior gira en la misma dirección que la rotación axial. Si la vértebra superior está libre para seguir la orientación de las articulaciones cigapofisarias, entonces el patrón de acoplamiento con flexión lateral

es ipsilateral. También hay una ligera traslación contralateral en el plano transversal de la vértebra superior en relación con la inferior.

Los ejes de rotación instantáneos están influenciados por, entre otros elementos, la caja torácica, que se encontró que cambia la posición del eje de rotación posteriormente en el plano sagital durante los movimientos de flexión / extensión. Los ejes de rotación instantáneos del segmento de movimiento de la columna torácica atraviesan la vértebra inferior durante la flexión / extensión y la flexión lateral. Pero, en rotación axial, el eje de rotación se ubica en el canal espinal cerca de la parte posterior del cuerpo vertebral. Cabe mencionar que en la región torácica, la Unidad Espinal Funcional no considera las porciones anteriores de las costillas ni las articulaciones costocondrales / esternocostales anteriores ni el esternón. Por lo tanto, el estudio del movimiento segmentario podría ser a través de la unidad de anillo, es decir, las vértebras torácicas y las respectivas costillas, y este enfoque podría cambiar la rotación de los ejes.

## 4. Biomecánica normal de la columna lumbar, el saco y el cóccix

The distal region of the spine is made up of the lumbar section of 5 vertebrae, the sacral section of 5 fused vertebrae and the coccygeal section, made up of 4–5 vertebrae. While the lumbar spine has a posterior concavity lordosis, the sacrum has an anterior concavity. The vertebral body has a structural design that supports axial loads. The vertebral body is the major load-bearing structure of the lumbar spine and are frequently described as being drum-shaped with a transverse cross-section resembling the shape of a kidney. The cranial and caudal surfaces of the vertebral bodies, termed bony vertebral endplates, are slightly concave and provide attachment for the intervertebral discs. To support the high loads acting on the lumbar vertebrae, they are comparatively large with their size increasing toward the sacrum. While the two uppermost lumbar vertebral bodies are moderately lower anteriorly than posteriorly (between about 4% at L2 and 12% at L1 at the sagittal midsection), the endplates of the L3 vertebra are almost parallel. This relation reverses for the L4 and L5 vertebrae, where the anterior height is greater than the posterior height (between approximately 7% at L4 and 14% at L5 at the sagittal midsection). In contrast, all lumbar intervertebral discs (L1/L2 to L5/S1) are at least twice as high anteriorly than posteriorly, meaning that the lumbar lordosis of approximately 60 degrees is mainly constituted by the intervertebral discs rather than vertebrae.

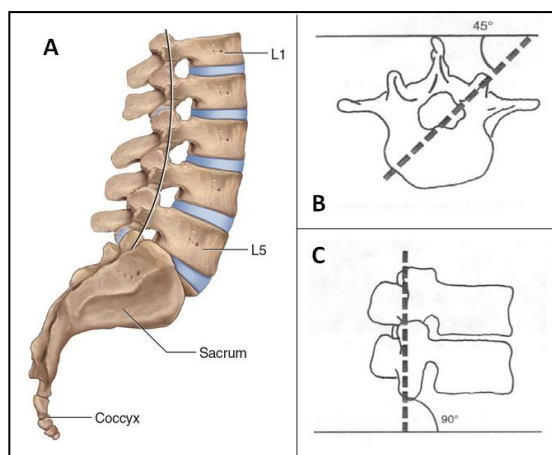


Figure 7 - A: Lumbar spine, sacrum and coccyx. Image from Joseph E. Muscolino 2015. B: orientation of the lumbar faces with respect to the sagittal plane. C: orientation of the lumbar faces with respect to the transverse plane. Image B and C from Nordin M. 2001.

The lumbar facet joints have a sagittal orientation of 90 degree and 45 degree in the transversal plane. These characteristics play an important role in the biomechanics of the lumbar spine because they determine the load sharing between the intervertebral disc and the facet joints, as well as the resistance against translational and rotational movement. In fact, the facet joints resist about 16% of the compressive force in upright standing. On the

other hand, the lumbar facet orientation facilitates more flexion and extension than rotation, which increase in range from the top to the bottom.

## Segmento de movimiento espinal lumbar

Durante el movimiento de flexión (Figura 8-A), el cuerpo vertebral de la vértebra superior de FSU se inclina y se desliza ligeramente hacia adelante, modificando el grosor del disco intervertebral en su parte anterior y aumentándolo en la parte posterior, lo que desplaza el núcleo pulposo hacia atrás, de modo que las fibras posteriores del anillo fibroso aumentan su presión. Al mismo tiempo, la faceta articular inferior de la vértebra superior se desliza hacia arriba, haciendo que la cápsula y los ligamentos estén tan tensos como los ligamentos posteriores: flavum, interespinoso, supraespinoso y el ligamento longitudinal posterior. Esta tensión limita el movimiento de flexión. En el movimiento opuesto (Figura 8-B), es decir, extensión, el cuerpo vertebral de la vértebra superior se inclina hacia atrás y el disco intervertebral se adelgaza en su zona posterior, empujando el núcleo del disco intervertebral hacia adelante, tensando las fibras anteriores del fibroso. anillo . Al mismo tiempo, se estira el ligamento longitudinal anterior y se distienden los ligamentos posteriores. Además, durante la extensión, la faceta articular inferior de la vértebra superior encaja más profundamente entre la faceta articular superior de la vértebra inferior, mientras que las apófisis espinosas se contactan entre sí. De esta forma, el movimiento de extensión está limitado por los contactos óseos del arco posterior y por la tensión del ligamento longitudinal anterior.

Cabe destacar que es en los movimientos de extensión y flexión donde se observa la mayor traslación vertebral, lo que hace de la medición de la traslación lumbar un factor determinante de la inestabilidad espinal. La literatura actual sugiere que 2 mm de traslación es normal para la columna lumbar y que la traslación superior a 4 mm debe evaluarse para detectar inestabilidad clínica.

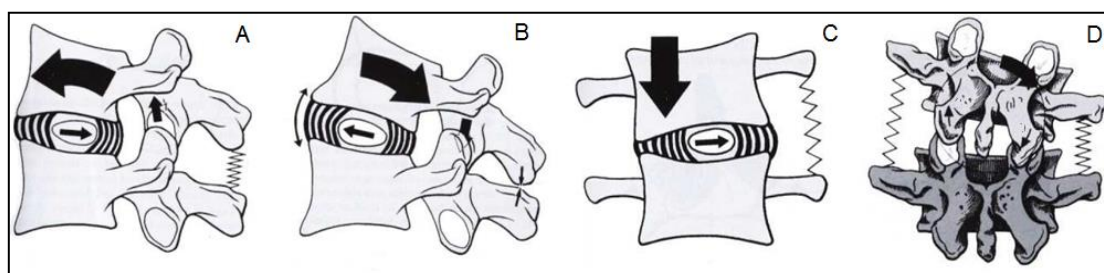


Figura 8 - Movimiento segmentario de la columna lumbar. A: flexión, B: extensión, C: vista anterior de la flexión lateral, D: vista posterior de la flexión lateral. Imagen de Kapandji A.I. 1998.

Durante la flexión lateral, el cuerpo vertebral superior se inclina hacia el lado de la flexión, el disco se vuelve más grueso en el lado opuesto de la flexión lateral y el núcleo del disco intervertebral se desplaza ligeramente hacia ese lado; al mismo tiempo, se tensa el ligamento intertransverso (Figura 8-C). En una vista posterior (Figura 8-D), se puede describir el deslizamiento desigual de las facetas articulares: mientras la faceta articular en

el lado opuesto de la inclinación se eleva, la faceta articular en el lado de inclinación descende. Esto hace que el ligamento flavum y la cápsula de la articulación cigapofisaria en el lado inclinado se distiendan, mientras que en el lado opuesto estos mismos elementos se tensan.

Los patrones de acoplamiento únicos asociados con la columna lumbar pueden contribuir directa o indirectamente a una mayor incidencia de inestabilidad clínica en el segmento L4-L5. Los segmentos lumbares superiores L1-L2, L2-L3 y L3-L4 comparten un patrón de acoplamiento diferente al de L4-L5 y L5-S1.1 En la columna lumbar superior, la flexión lateral y la rotación se producen en direcciones opuestas, mientras que en los segmentos lumbares inferiores, la curvatura lateral y la rotación ocurren en la misma dirección.

### **El sacro y el cóccix**

El sacro está compuesto por cinco cuerpos vertebrales fusionados por cuatro discos intervertebrales osificados. El sacro se articula arriba con la quinta vértebra lumbar, abajo con el cóccix y lateralmente desde las superficies auriculares con los dos huesos ilíacos de la cadera para formar las articulaciones sacroilíacas. El borde anterior que sobresale de la primera vértebra sacra se llama promontorio sacro y los dos lados son el sacro, por desgracia. El promontorio sacro se utiliza como punto de referencia para realizar mediciones pélvicas. Los cuerpos vertebrales están conectados con un gran disco intervertebral y las articulaciones cigapopohyseales (Figura 9-A) tienen un intervalo más amplio que el anterior. La articulación se refuerza posteriormente mediante ligamentos sacroilíacos interóseos y dorsales. El ligamento iliolumbar se origina en la apófisis transversa de L5 y se inserta en la cresta ilíaca. Tiene una parte ventral y otra dorsal. Este ligamento es importante para restringir el movimiento en las articulaciones lumbosacra y sacroilíaca. El sacro tiene una angulación profunda hacia adelante con respecto a la última o quinta vértebra lumbar, cuyo ángulo es de casi 30 grados en promedio con el plano horizontal.

El cóccix es un pequeño hueso triangular en la parte inferior de la columna vertebral que consta de tres a cinco (generalmente cuatro) vértebras rudimentarias fusionadas. El extremo inferior del sacro se articula como una articulación fibrocartilaginosa o, a menudo, se fusiona con el cóccix (Figura 9-B). La primera vértebra coccígea tiene procesos transversales cortos que se conectan con el sacro y dos cuernos o cuernos coccígeos que se conectan con la cornua sacra (Figura 9-C). Las vértebras coccígeas carecen de pedículos y apófisis espinosas, pero las tres primeras tienen un cuerpo primitivo y apófisis transversas. La segunda, tercera y cuarta vértebras coccígeas disminuyen sucesivamente de tamaño y la última vértebra es un mero pequeño nódulo de hueso. La articulación sacrococcígea está unida con los ligamentos sacrococcígeos laterales anterior y posterior (superficial y profundo), los ligamentos intercornuales y el disco intervertebral.

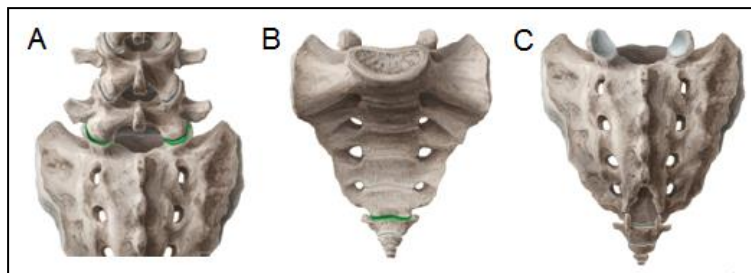


Figura 9 - La articulación lumbosacra y sacrococcígea. A: articulaciones cigapofisiarias de unión lumbosacra. B: vista anterior de la articulación sacrococcígea. C: vista posterior de la articulación sacrococcígea. Imagen de KenHub web site.



## 5. ¿Qué carga soporta la columna vertebral cuando estamos en diferentes posiciones de reposo?

En este apartado revisaremos los cambios biomecánicos estudiados en la literatura cuando la columna se mantiene en diferentes posiciones de reposo.



### Posición bípeda

- El peso del cuerpo se transmite a través del sacro y el hueso ilíaco al fémur durante la bipedestación.
- Durante la bipedestación relajada, la presión varía entre 0,48 y 0,5 MPa. La presión abdominal se eleva a 0,92 MPa y aumentó con la flexión hacia adelante a 1,1 MPa.



### Posición sedente

- El peso del cuerpo se transmite a través del sacro y el hueso ilíaco a las tuberosidades isquiáticas al sentarse.
- Sentarse en una silla con un respaldo normal y recto producía una presión de 0,45 a 0,5 MPa.
- El soporte lumbar tiene la mayor influencia en la lordosis lumbar y la inclinación del respaldo tiene la mayor influencia en la reducción de la presión dentro del disco lumbar (0,27 MPa).
- A medida que aumenta la inclinación posterior del soporte lumbar, se distribuye más peso en el respaldo y se requiere menos activación muscular de los músculos erectores de la columna vertebral.
- El uso de un reposabrazos para sostener el tronco puede disminuir aún más la cantidad de carga que se coloca sobre los discos vertebrales durante el sedente.



### Posición supina

- En decúbito supino con las piernas ligeramente flexionadas, se ha detectado una presión intradiscal en el nivel L4-L5 de 0,08 MPa. Con las piernas totalmente extendidas, la presión cambia a 1,11 MPa. La rotación a la posición decúbito lateral elevó la presión sólo ligeramente a 0,12 MPa.
- Tosar y estornudar en posición supina produjeron presiones tan altas como 0.38 MPa, pero reír con ganas aumentó la presión solo hasta 0.15 MPa.

## 6. ¿Cómo es la biomecánica de la columna cuando realizamos gestos motores funcionales?

En este apartado revisaremos los cambios biomecánicos estudiados en la literatura cuando la columna realiza diferentes gestos motores funcionales.



### Levantar y transportar objetos

- Las presiones intradiscales aumentan cuando se levantan pesos pesados, pero las técnicas de levantamiento adecuadas reducen la carga del disco. Un abdomen protuberante actúa como un peso alejado del cuerpo.
- La presión intradiscal aumenta un 50% durante la inclinación hacia adelante. Con peso en las manos, la presión aumenta entre un 70% y un 220%. Los estudios han demostrado que la presión intradiscal lumbar aumenta a 2,3 MPa durante el levantamiento de un peso de 19,8 kg con la espalda flexionada y las rodillas rectas. Mientras se le levanta el mismo peso manteniendo la espalda recta y doblando la cadera y la rodilla, se reduce la presión máxima a 1,7 MPa.
- En un disco normal, las fibras anulares se tensarán por el aumento de la presión intradiscal de la flexión del tronco hacia adelante. La orientación de la fibra anular en un disco normal es de 60 grados desde la vertical en comparación con un disco degenerativo, cuyas fibras anulares se vuelven más horizontales.
- La columna lumbar logra estabilidad y equilibrio durante el levantamiento porque a medida que la columna se flexiona hacia adelante, la contranutación del sacro que la acompaña aumenta la tensión en la fascia toraco-lumbar.
- La flexión hacia adelante de la columna lumbar también desencadena la contracción del suelo pélvico y los músculos transverso del abdomen, lo que tensa biomecánicamente la fascia toraco-lumbar. Esta acción combinada sobre el sistema ligamentoso posterior actúa como una fuerza anti-cizallamiento sobre la columna lumbar.
- Si los músculos erectores de la columna se contraen en una columna lumbar flexionada, el efecto es un aumento de la compresión en las articulaciones cigapofisarias. Esto facilitaría la transferencia de carga a través del hueso cortical de los arcos neurales, disminuyendo la compresión en las vértebras lumbares y contrarrestando así la presión intradiscal.



### Marcha

- Se produce un aumento de la carga intradiscal entre L3-L4 entre 0,2 y 2,5 veces con respecto a la presión intradiscal en reposo.
- La carga máxima se alcanza durante el despegue.
- Hay un aumento lineal de la carga intradiscal con respecto a la velocidad de marcha.

## 7. Ideas clave

---

- La columna vertebral tiene cuatro funciones principales interrelacionadas: apoyo, movilidad, alojamiento y protección y control.
- El segmento de movimiento es la "Unidad funcional de la columna vertebral" (FSU) que consta de dos vértebras adyacentes y el tejido blando interconectado, desprovisto de musculatura. Cada FSU tiene seis grados de libertad.
- La sección cervical está formada por 7 vértebras y forman una de las dos lordosis de la columna, que aumentan enormemente la resistencia al estrés de las compresiones axiales en comparación con una columna rectilínea (hasta diez veces).
- La articulación atlanto-occipital está formada por atlas y la parte condilar del hueso occipital, permite los movimientos de flexión mediante el balanceo y deslizamiento de los cóndilos occipitales sobre la superficie cóncava del encaje, ubicado en la cara superior de la masa lateral del atlas.
- El complejo atlanto-axial está compuesto por dos articulaciones facetarias laterales, la articulación atlantodental y la articulación entre la superficie posterior del odontoides y el ligamento transversario; permite que el arco anterior del atlas gire y se deslice alrededor del pivote, permitiendo que el atlas y la cabeza giren de lado a lado como una sola unidad.
- La columna torácica tiene 12 vértebras de T1 a T12 que forman una curvatura cóncava hacia la dirección ventral en el plano sagital llamado cifosis. La naturaleza cifótica de la columna conduce además a una distribución de la carga de compresión primaria en la dirección anterior hacia el cuerpo vertebral, mientras que la parte posterior tiene que resistir principalmente las cargas de tracción.
- La región distal de la columna está formada por la sección lumbar de 5 vértebras, la sección sacra de 5 vértebras fusionadas y la sección coccígea, formada por 4-5 vértebras. Mientras que la columna lumbar tiene una lordosis de concavidad posterior, el sacro tiene una concavidad anterior. Para soportar las altas cargas que actúan sobre las vértebras lumbares, son comparativamente grandes y su tamaño aumenta hacia el sacro.
- En los movimientos de extensión y flexión lumbar, se observa la mayor traslación vertebral, lo que hace que la medición de la traslación lumbar sea un factor determinante de la inestabilidad espinal.
- La carga sobre los discos intervertebrales cambia según la posición del cuerpo y las acciones realizadas. En decúbito supino, la presión intradiscal a nivel lumbar es de alrededor de 0,08 MPa, mientras que durante la bipedestación relajada, la presión varía entre 0,48 y 0,5 MPa. En una posición sentada, la presión es similar a la presión en la posición bípeda, pero la inclinación del respaldo influye mucho en la disminución de esta presión, al igual que el uso del reposabrazos.

- Durante la marcha la carga lumbar intradiscal aumenta entre 0,2 a 2,5 veces con respecto a la presión intradiscal en reposo. Sin embargo, durante el gesto de levantar un peso del suelo, la presión aumenta entre un 70% y un 220%, sobre todo si el gesto se realiza con la espalda doblada y las rodillas extendidas. También influirá en esta presión intradiscal si el peso que se levanta está alejado del cuerpo.

## 8. Referencias

---

- [1]. Bogduk, N. Mercer, S. Biomechanics of the cervical spine. I: Normal kinematics. *Clinical Biomechanics*. 2000 (15) 633-648.
- [2]. Brasiliense, LBC. Lazaro, BCR. Reyes, PM. Dogan, S. Theodore, N. Crawford, NR. Biomechanical contribution of the Rib Cage to Thoracic Stability. *Spine*. 2011, 36(26):E1686-E1693.
- [3]. Ebraheim, NA. Patil, V. Liu, J. Haman, SP. Yeasting, RA. Morphometric analyses of the cervical superior facets and implications for face dislocation. *International Orthopaedics (SITCOT)*. 2008, 32:97-101.
- [4]. Friis, EA. Arnorl, PM. Goel, VK. Mechanical testing of cervical, thoracolumbar, and lumbar spine implants. Elsevier. 2017 May; 161-180.
- [5]. Galbusera, F. Wilke, HJ. Biomechanics of the spine. Chapter 4 - Basic Biomechanics of the lumbar spine. Elsevier. 2018, 51-67.
- [6]. Hansen, L. de Zee, M. Rasmussen, J. Andersen, TB. Wong, C. Simonsen, EB. Anatomy and Biomechanics of the Back Muscles in the Lumbar Spine With Reference to Biomechanical Modeling. *Spine*. 2006, 31(17):1888-1899.
- [7]. Herkowitz, HN. Garfin, SR. Eismont, FJ. Bell, GR. Balderston, RA. Rothman-Simeone The Spine: Expert Consult. Elsevier. Chapter 7- Biomechanics of the Spinal Motion Segment. 2015, 109-128.
- [8]. Joseph E. Muscolino. Manual Therapy for the Low Back and Pelvis. A clinical orthopedic approach. Ed. Wolters Kluwer. 2015.
- [9]. Kapandji, AI. Fisiología Articular – Tronco y Raquis 5ª Edición. Chapter 3 – El raquis lumbar. 1998, 76-128.
- [10]. Kiapour, A. Joukar, A. Elgafy, H. Erbulut, DU. Agarwal, AK. Goel, VK. Biomechanics of the sacroiliac joint: anatomy, function biomechanics sexual dimorphism, and causes of pain. *International Journal of Spine Surgery*. 2020, 14:S3-S13.
- [11]. Lee, DG. Biomechanics of the thorax – reseach evidence and clinical expertise. *Journal of Manual and Manipulative Therapy*. 2015, 23(3):128-138.
- [12]. Liebsch, C. Wilke, HJ. Biomechanics of the spine. Chapter 3 – Basic Biomechanics of the Thoracic Spine and Rib Cage. Elsevier. 2018, 35-50.
- [13]. Lomeli-Rivas, A. Larrinúa-Betancourt, JE. Biomecánica de la columna lumbar: un enfoque clínico. *Acta Ortopédica Mexicana*. 2019, 33(3):185-191.
- [14]. Menchetti, PPM. Cervical Spine Minimally Invasive and Open Surgery. Chapter 2 – Functional Anatomy and Biomechanics of the Cervical Spine. Springer. 2016. 11-26.
- [15]. Miralles, RC. Puig, M. Biomecánica clínica de aparato locomotor. Part 4 – Biomecánica de los movimientos. Mason, S.A. 2000, 295-315.
- [16]. Oakes, PC. Sardi, JP. Iwanaga, J. Topale, N. Oskouian, RJ. Tubbs, S. Translation of Hecker's 1922 „the Occipital-Atlanto-Axial Ligament System”. *Clinical Anatomy*. 2017, 30:322-329.
- [17]. Pope, MH. Biomechanics of the Lumbar Spine. *Ann Med*. 1989 Oct;21(5):347-51.
- [18]. Romberg, K. Olsén, MF. Kjelby-Wendt, G. Hallerman, KL. Danielsson, A. Thoracic mobility and ist relation to pulmonary function and rib-cage deformity in patients with early onset idiopathic scoliosis: a long-term follow-up. *Spine Deformity*. 2020, 8:257-268.

- [19]. Stammen, JA. Herriott, R. Kang, YS. Bolte, J. Dupraix, R. Sequential Biomechanics of the Human Upper Thoracic Spine and Pectoral Girdle. *Annals of Advances in Automotive Medicine*. 2012 Oct, 56:151-162.
- [20]. Swartz, EE. Floyd, RT. Cendoma, M. Cervical Spine Functional Anatomy and the Biomechanics of Injury Due to Compressive Loading. *Journal of Athletic Training*. 2005; 40(3):155-161.
- [21]. Tague, RG. Fusion of Coccyx to Sacrum in Humans: Prevalence, correlates, and effect on pelvic size, with obstetrical and evolutionary implications. *American Journal of Physical Anthropology*. 2011, 145:426-437.
- [22]. Travascio, F. Eltoukhy, M. Asfour, S. Spine Biomechanics: A review of current approaches. *Spine Research*. 2015, 1(1:4)
- [23]. Watson, C. Paxinos, G. Kayalioglu, G. *The Spinal Cord*. Chapter 3 – The Vertebral Column and Spinal Meninges. Elsevier. 2008, 17-36.
- [24]. Yoganandan, N. Nahum, AM. Melvin, JW. *Accidental Injury Biomechanics and Prevention Third Edition*. Chapter 15 – Thoracic Spine Injury Biomechanics. Springer. 2015, 435-450.
- [25]. Zentrum für Chirurgie, AI. Biomechanics of the Thoracic Spine – Development of a Method to Measure the influence of the Rib Cage on Thoracic Spine Movement. *Medicine*. 2012.



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.

