

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



MÓDULO BIOMECÁNICA DE COLUMNA:

UNIDAD DIDÁCTICA A
Biomecánica normal de columna



A. Biomecánica normal de columna

1. Objectives
2. Normal biomechanics of the cervical spine
3. Normal biomechanics of the thoracic spine
4. Normal biomechanics of the lumbar, sacral and coccygeal spine
5. What load does the spine undergo when we are on different rest positions?
6. How is the biomechanics of the spine when we make functional motor gestures?
7. Conceptual maps
8. Bibliography

A. Biomecánica normal de columna

1. Objetivos

1. OBJETIVOS

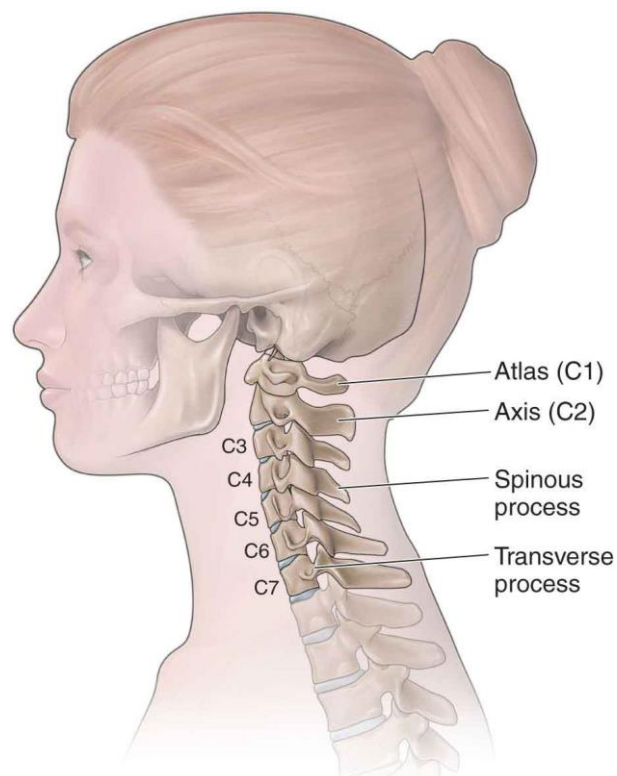
Los objetivos de esta unidad son:

- 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.

A. Biomecánica normal de columna

2. Biomecánica de la columna cervical normal

2. BIOMECÁNICA DE LA COLUMNA CERVICAL NORMAL

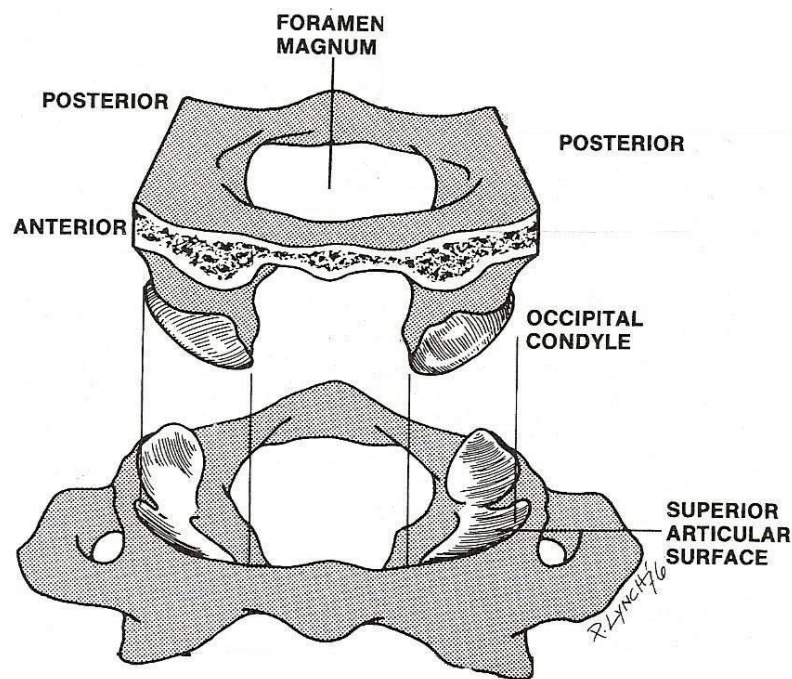


- 7 vertebras con curva lordótica.
- Columna cervical superior (C1-C2) y columna cervical inferior (C3-C7).
- Unidad funcional espinal (FSU):
 - Dos vertebras adyacentes
 - Tejido blando interconectado
- FSU tiene 12 posibles movimientos dividido en 3 ejes.

Figura 1. Estructuras de la columna cervical. Imagen de www.muskuloskeletalkey.com

2. BIOMECÁNICA DE LA COLUMNA CERVICAL NORMAL

ARTICULACIÓN ATLANTO-OCCIPITAL



- Movimientos primarios: flexión, extensión and movimiento de flexión (asentir con la cabeza).
- Restricción de movimiento por:
 - Base del cráneo.
 - Tensión de los músculos posteriores del cuello.
 - Tejidos submandibulares.
 - Compresión de músculos suboccipitales.

FigurA 2. Articulación Atlanto-occipital.
Imagen de extracted from
www.quiropracticagirona.com

2. BIOMECÁNICA DE LA COLUMNA CERVICAL NORMAL

ARTICULACIÓN ATLANTO-OCCIPITAL

ROTACIÓN

Contralateral:

Impactos del cóndilo occipital con la pared anterior de la cavidad atlantal.

Ipsilateral:

Impactos del cóndilo occipital con la pared posterior de la cavidad atlantal.

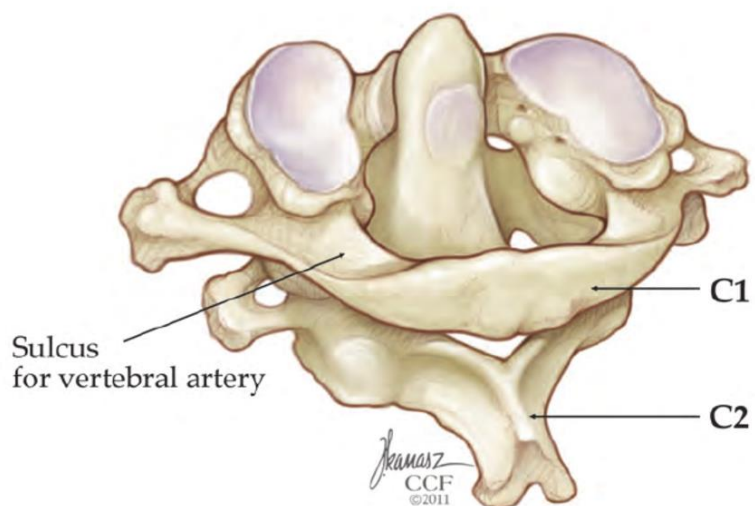
FLEXIÓN LATERAL

Contralateral:

Impactos del cóndilo occipital con la pared posterior de la cavidad atlantal.

2. BIOMECÁNICA DE LA COLUMNA CERVICAL NORMAL

ARTICULACIÓN ATLANTO-AXIAL



- Complejo articular compuesto por:
 - Dos articulaciones facetarias laterales.
 - Articulación atlanto-dental.
 - Superficie del odontoides posterior.
 - Ligamento transverso.

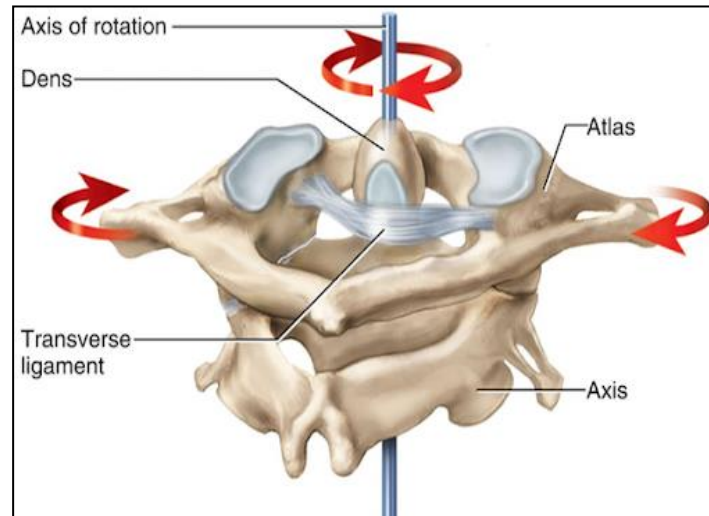
Figura 3. Articulación Atlanto-axial. Imagen de Clark JG. et al. 2011.

2. BIOMECÁNICA DE LA COLUMNA CERVICAL NORMAL

ATLANTO-AXIAL JOINT

La articulación atlantoaxial permite que el atlas gire y se deslice alrededor del pivote.

Estabilización articular proporcionada por ligamentos transversales, alares y apicales.



Las articulaciones atlantoaxiales laterales son articulaciones planas.

Durante la rotación, el atlas puede avanzar o retroceder.

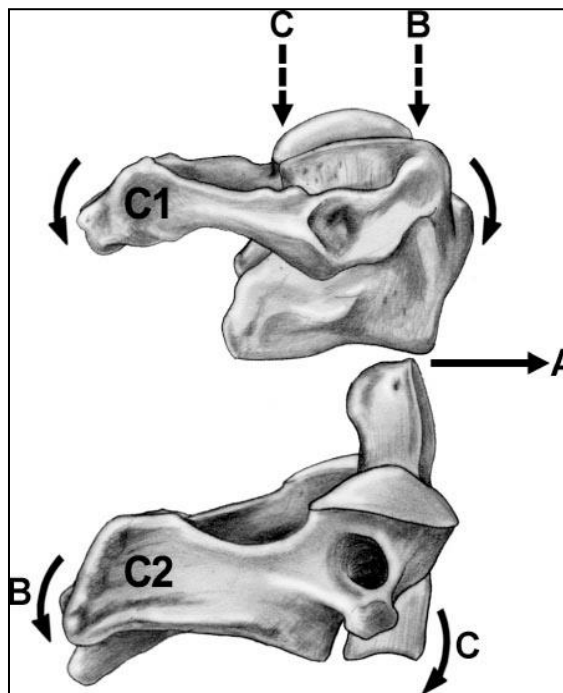
Figura 4. Pivot del odontoide.
Imagen de www.imagequiz.co.uk

2. BIOMECÁNICA DE LA COLUMNA CERVICAL NORMAL

ATLANTO-AXIAL JOINT

Atlas se flexiona cuando la columna cervical se extiende y viceversa

Durante la compresión axial, C1 comienza a moverse pasivamente



Movimiento hacia atrás limitado por la apófisis odontoides. Movimiento hacia adelante limitado por ligamentos transversales y alares

La membrana tectorial proporciona estabilidad en los movimientos hacia atrás

Figura 5. Pivot del odontoide.
Imagen de www.imagequiz.co.uk

2.2. BIOMECÁNICA DE LA COLUMNA CERVICAL INFERIOR

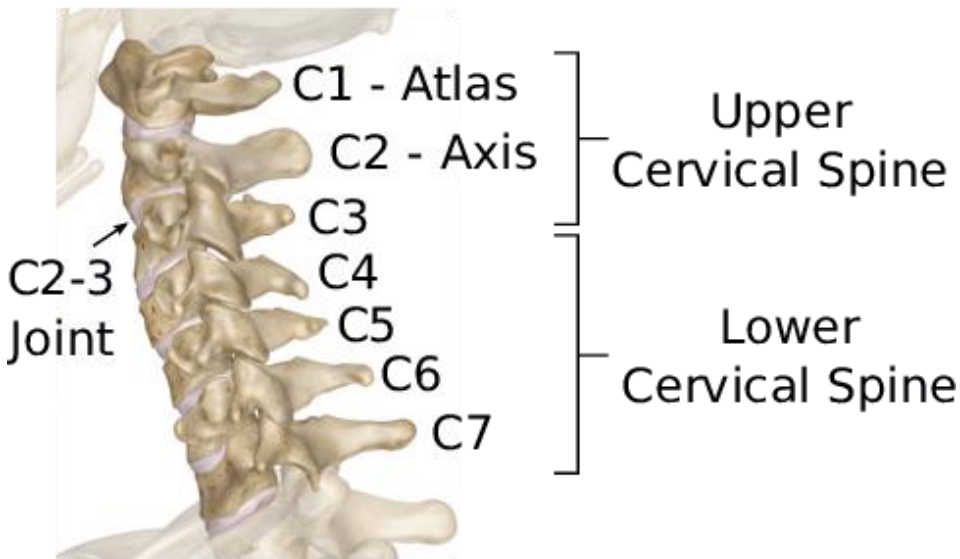


Figura 6. Esquema de la columna cervical. Imagen de Barker S. et al. 2015.

Columna cervical inferior C3 a C7

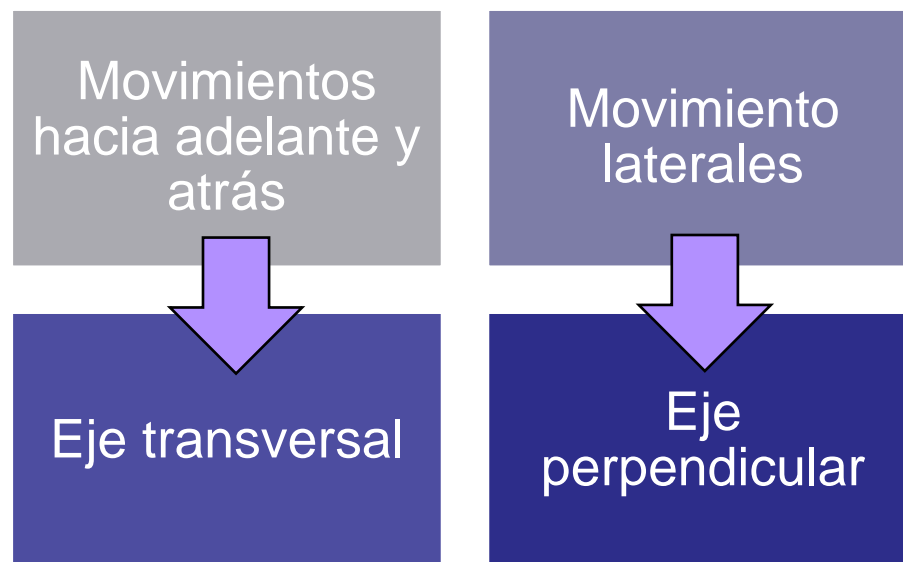
Las facetas superiores C3 permiten el movimiento medial

Los procesos del axis descansan en forma de encaje en C3

C2-C3 realiza una flexión lateral opuesta

2.2. BIOMECÁNICA DE LA COLUMNA CERVICAL INFERIOR

- Las vértebras cervicales inferiores están separadas por un disco intervertebral.
- Las superficies articulares son similares a una articulación de silla de montar:
 - La superficie inferior del cuerpo vertebral es cóncava hacia abajo.
 - La superficie superior del cuerpo vertebral es cóncava hacia arriba.



A. Biomecánica normal de columna

3. Biomecánica de la columna torácica normal

3. NORMAL BIOMECHANICS OF THORACIC SPINE

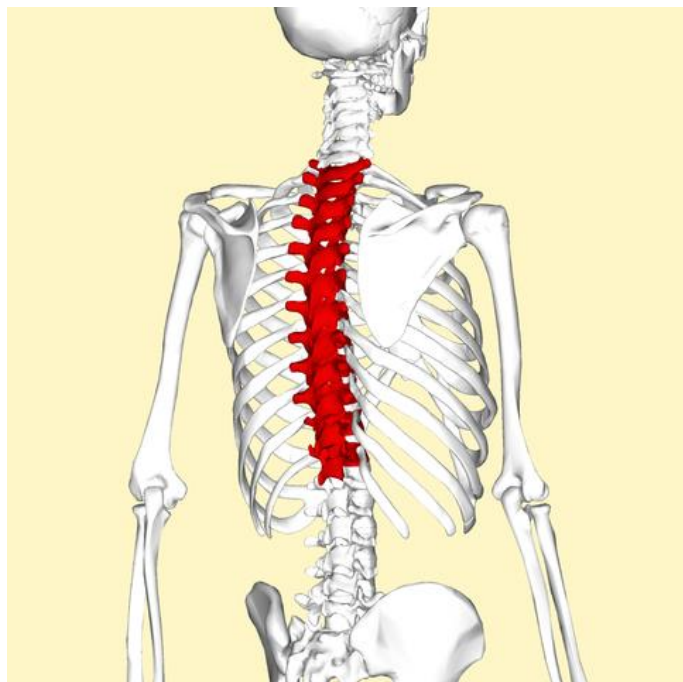
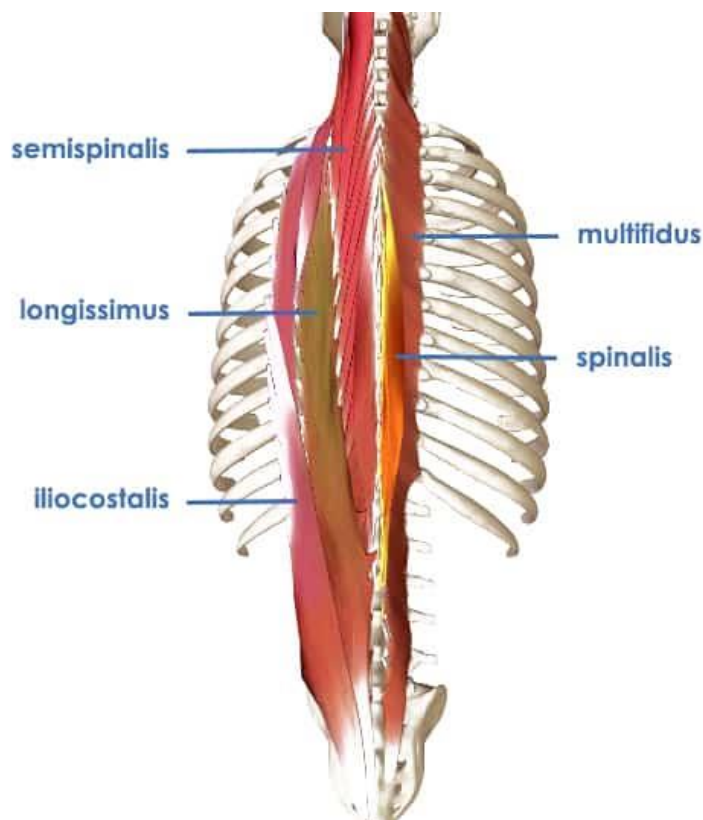


Figure 7. Vista posterior de columna torácica. Imagen de www.lifeder.com

- Equilibrio sagital de la columna a través de los músculos erectores de la columna y abdominales.
- 3 movimientos dimensionales.
- 12 vértebras (T1-T12) con una curvatura cóncava llamada cifosis.
- Ángulo normal de cifosis de 45° :
- Rango de cifosis de $20-70^{\circ}$ asintomático.
- La cifosis está determinada por la lordosis lumbar y la posición de las vértebras cervicales inferiores.

3. NORMAL BIOMECHANICS OF THORACIC SPINE



- La columna torácica tiene un complejo de musculatura que mantiene la posición vertical de la columna.
- Las cargas axiales aumentan en ángulos torácicos más grandes.
- Vértebras torácicas:
- Soporta cargas de compresión en la zona anterior del cuerpo.
- Resiste cargas de tracción en la zona posterior del cuerpo.

Figura 8. Complejo muscular torácico.
Imagen de www.precisionmovement.coach

3. NORMAL BIOMECHANICS OF THORACIC SPINE

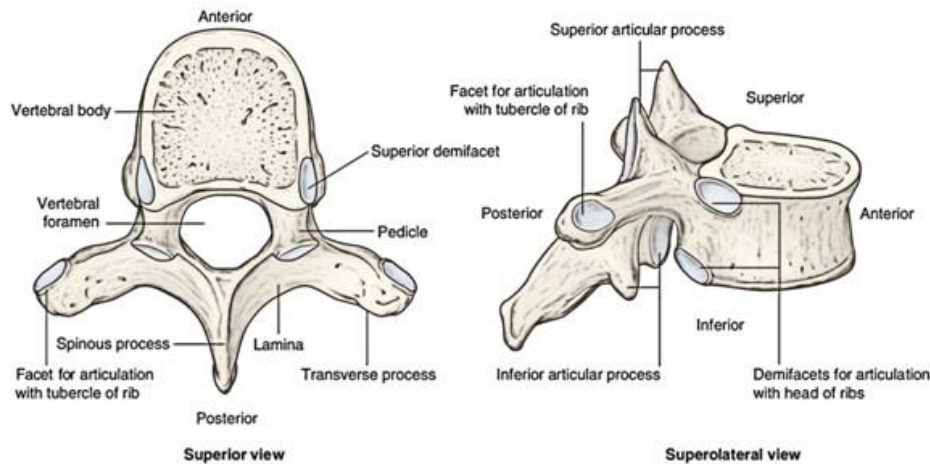


Figure 9. A Vertebra torácica. Imagen de www.earthslab.coach

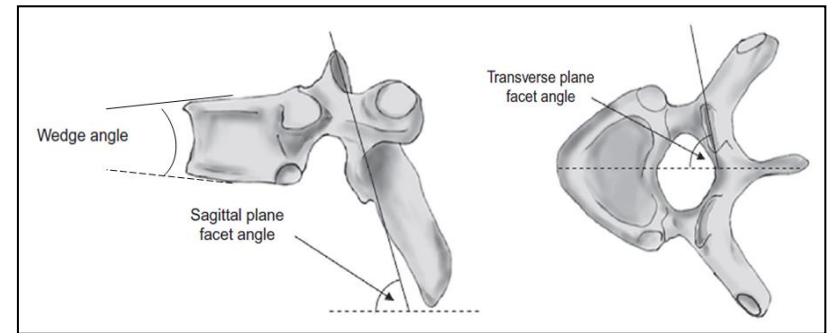


Figure 10. Ángulo de cuña y ángulos de la articulación facetaria de los segmentos de movimiento de la columna torácica. Imagen de Galbusera F. et al. 2018.

3. NORMAL BIOMECHANICS OF THORACIC SPINE

Morfología vertebral por cifosis

Aumento del ángulo de cuña hasta cuerpos vert. torácicos medios

La inclinación de las facetas limita F / E y rotación

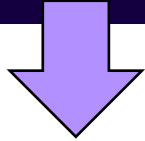
Las facetas casi tienen una orientación coronal

El ángulo de inclinación de las facetas aumenta gradualmente

Resistencia a traslación y cargas axiales

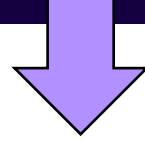
3. NORMAL BIOMECHANICS OF THORACIC SPINE

Zona de transición toraco-lumbar



La orientación de las facetas cambia en el plano transversal desde el frente hacia el plano sagital

Zona de transición cervico-torácica



El ángulo de las facetas tiende a disminuir. El ángulo transversal tiende a aumentar.

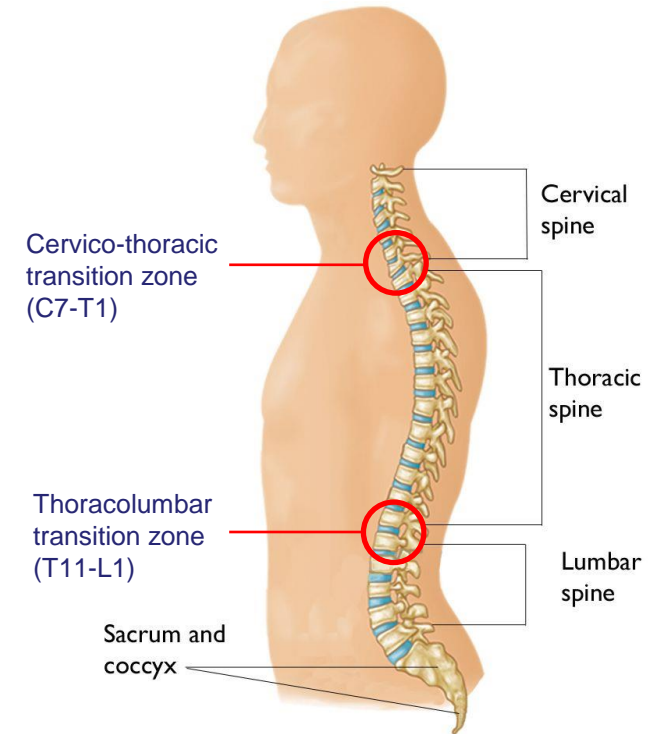


Figura 11. Zonas de transición de la columna vertebral. Imagen de www.orthoinfor.aaos.org

3. NORMAL BIOMECHANICS OF THORACIC SPINE

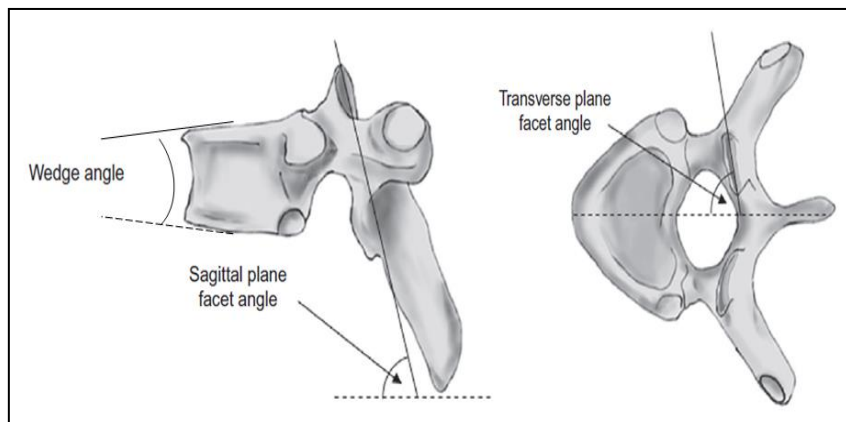


Figura 12. Ángulo de cuña y ángulos de la articulación facetaria de los segmentos de movimiento de la columna torácica. Imagen de Galbusera F. et al. 2018.

La cifosis hace que el cuerpo vertebral adopte una forma de cuña.

Alcance máximo de altura del disco en T10-T11.

La altura de los discos disminuye, pero el anillo fibroso se vuelve más grueso y fuerte

3. NORMAL BIOMECHANICS OF THORACIC SPINE

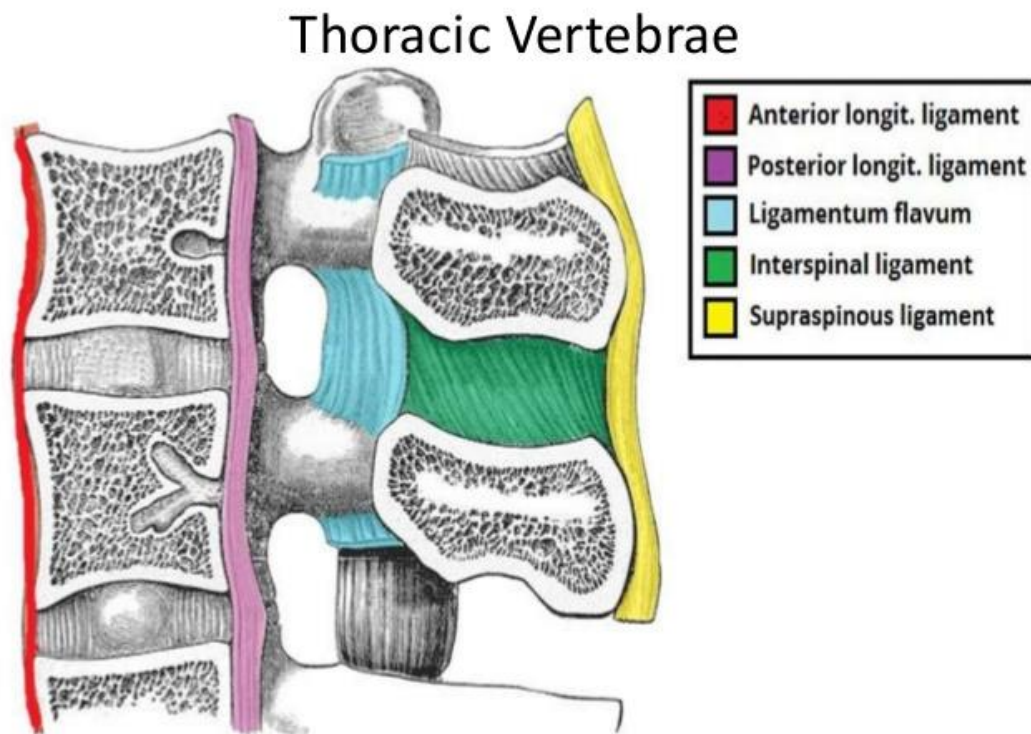


Figure 13. Complejo ligamentos torácico
Imagen de www.slideshare.com

3. NORMAL BIOMECHANICS OF THORACIC SPINE

SEGMENTO MOVIL TORÁCICO

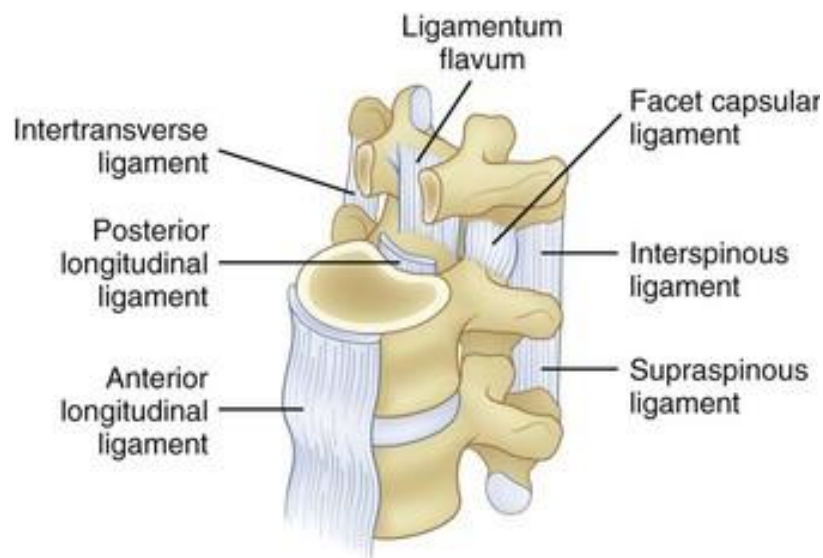


Figure 14. Complejo ligamentoso torácico.
Imagen de www.clinicalgate.com

Zona neutra

Cercana a la posición central

Las estructuras óseas y de ligamentos ofrecen una resistencia mínima

3. NORMAL BIOMECHANICS OF THORACIC SPINE

SEGMENTO MOVIL TORÁCICO

Durante flexión



La vértebra superior se flexiona en relación con la vértebra inferior

Durante extensión



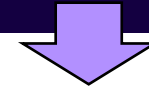
La vertebra superior se extiende en relación a la vertebra inferior

Durante flexión lateral



Vertebra superior se flecta lateralmente.
Rotación acoplada

Durante rotación axial



La vertebra superior rota en dirección de la rotación axial

3. NORMAL BIOMECHANICS OF THORACIC SPINE

SEGMENTO MOVIL TORÁCICO

- La caja torácica influye en los ejes de rotación instantáneos.
 - En los movimientos de flexión / extensión, el eje de rotación se desplaza hacia atrás en el plano sagital.
 - En flexión / extensión y flexión lateral, los ejes de rotación instantáneos atraviesan la vértebra inferior,
 - En rotación axial, el eje de rotación se ubica cerca de la parte posterior del cuerpo vertebral.
- La unidad espinal funcional no considera las porciones anteriores de las costillas ni las articulaciones costocondrales / esternocondrales o el esternón.
 - Estudio a través de la unidad de anillo.

3. NORMAL BIOMECHANICS OF THORACIC SPINE

SEGMENTO MOVIL TORÁCICO

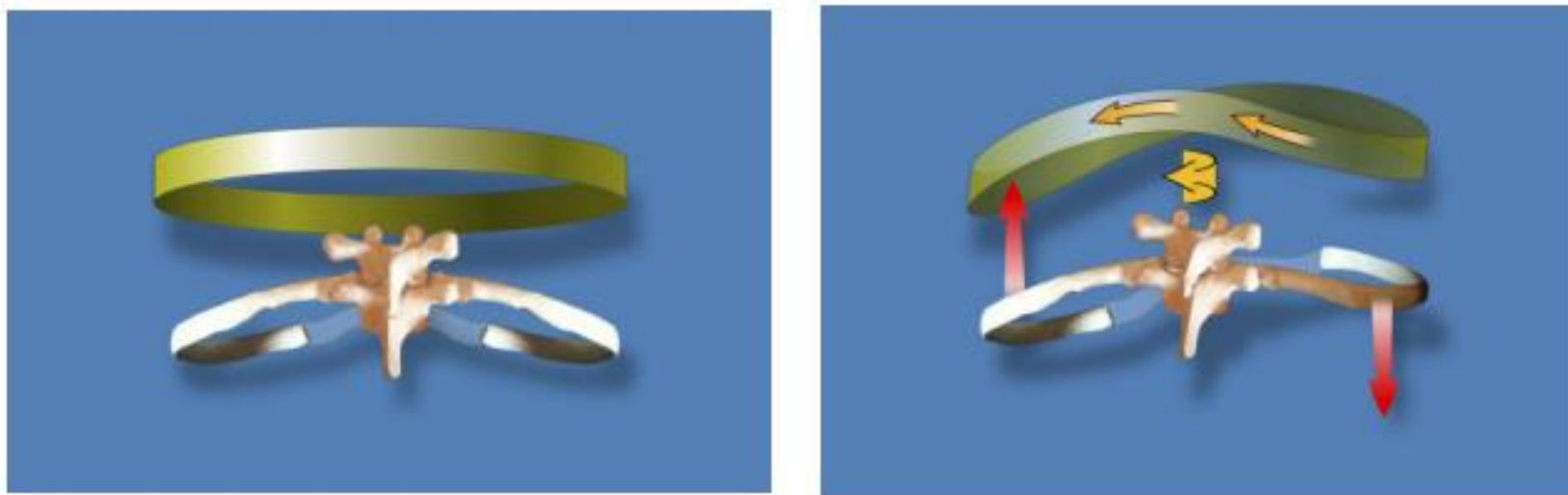


Figure 15. Cinemática normal del anillo torácico. Imagen de Lee DG. et al. 2015.

A. Biomecánica normal de columna

4. Biomecánica normal de la columna lumbar, sacro y coxis

4. NORMAL BIOMECHANICS OF THE LUMBAR, SACRAL AND COCCYGEAL SPINE

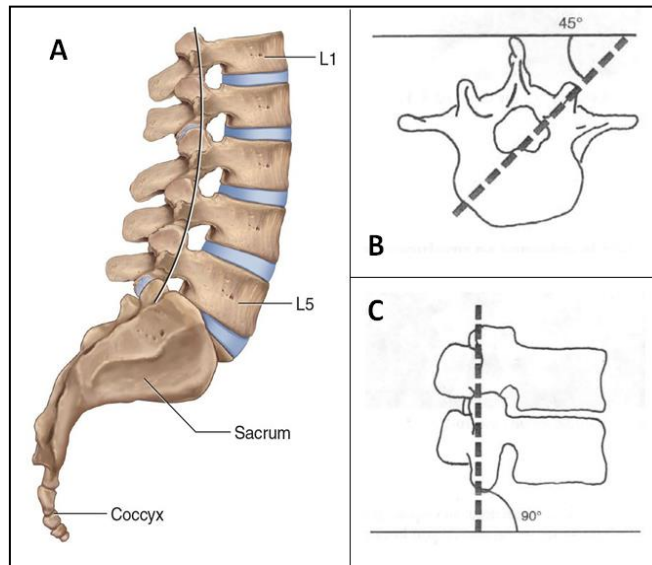
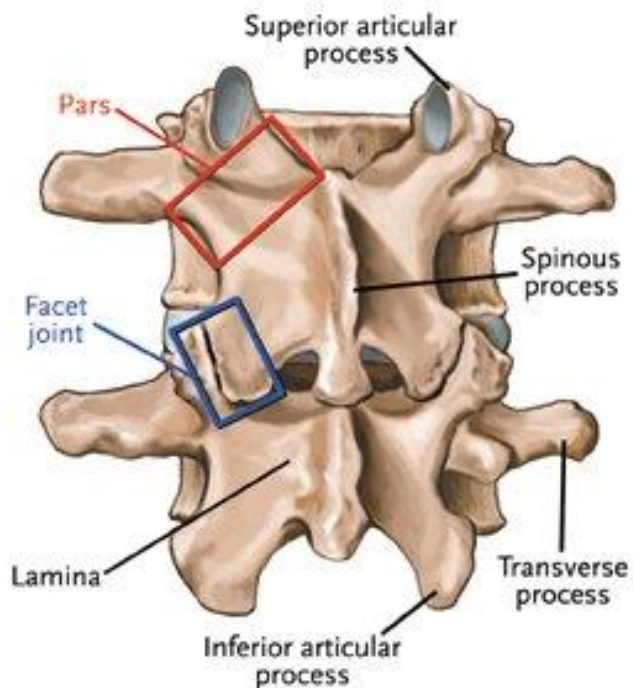


Figure 16. A: Columna lumbar, sacro y coxis. Imagen de Joseph E. Muscolino 2015. B-C: orientación de las caras lumbares respecto al plano sagital y transversal. Imagen de Nordin M. 2001.

- 5 vértebras lumbares, 5 vértebras sacras fusionadas, 4-5 vértebras coccígeas.
- Concavidad posterior lumbar (lordosis), concavidad anterior del sacro.
- Características de las vértebras lumbares:
- Cuerpo vertebral más ancho y grande para soportar cargas elevadas.
- Con terminar placas terminales óseas.
- Cuerpos vertebrales con diferentes alturas según zona anterior o posterior.

4. NORMAL BIOMECHANICS OF THE LUMBAR, SACRAL AND COCCYGEAL SPINE



- Facetas vertebrales lumbares:
 - Orientación de 90° y 45° en plano transversal.
 - Carga compartida con discos intervertebrales.
 - Determina una alta resistencia con movimientos de traslación y rotación.
 - Facilita los movimientos de flexión y extensión.

Figure 17. Estructuras vertebrales lumbares.
Imagen de www.joint-pain-solutions.com

4. NORMAL BIOMECHANICS OF THE LUMBAR, SACRAL AND COCCYGEAL SPINE

SEGMENTO MOVIL LUMBAR

Movimientos de flexión



- Disco intervertebral aumenta su espesor en la parte posterior.
- El núcleo pulposo retrocede.
- La cápsula y los ligamentos se tensan.

Movimientos de extensión

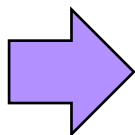


- Disco intervertebral disminuye en la parte posterior.
- El núcleo pulposo avanza.
- Estiramiento del ligamento longitudinal anterior y distensión de los ligamentos posteriores.
- Limitado por el hueso y la tensión.

4. NORMAL BIOMECHANICS OF THE LUMBAR, SACRAL AND COCCYGEAL SPINE

SEGMENTO MOVIL LUMBAR

Flexión lateral



- Disco intervertebral aumenta su espesor en el lado contralateral.
- El núcleo pulposo se desplaza ligeramente hacia el lado ipsilateral.
- Las facetas se elevan en el lado contralateral.
- Las facetas caen en el lado ipsilateral.

4. NORMAL BIOMECHANICS OF THE LUMBAR, SACRAL AND COCCYGEAL SPINE

SEGMENTO MOVIL LUMBAR

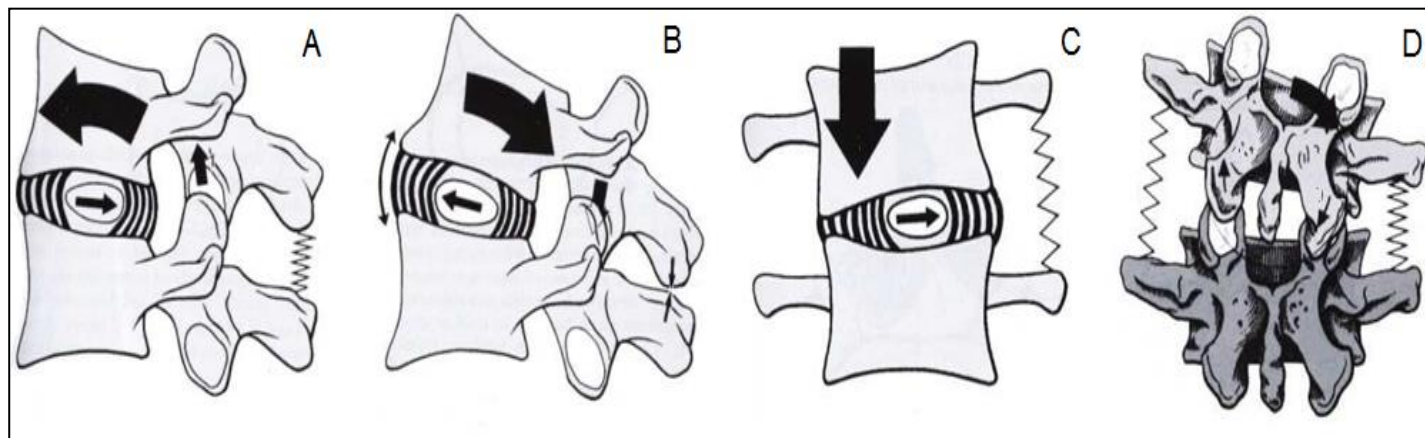


Figure 18. Movimiento segmentario de la columna lumbar. A: flexión, B: extensión, C: vista anterior de la flexión lateral, D: vista posterior de la flexión lateral. Imagen de Kapandji A.I. 1998

4. NORMAL BIOMECHANICS OF THE LUMBAR, SACRAL AND COCCYGEAL SPINE

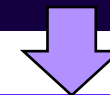
SACRO Y COXIS

SACRO



- Se articula con 5^o vértebras lumbares, cóccix y huesos ilíacos.
- Discos intervertebrales.
- El ligamento iliolumbar limita el movimiento en las articulaciones lumbosacra y sacroilíaca.

COXIS



- Se articula con el sacro con una articulación fibrocartilaginosa.
- El ligamento sacrococcígeo lateral anterior y posterior, los ligamentos intercornuales y el disco unen las articulaciones sacrococcígeas .

4. NORMAL BIOMECHANICS OF THE LUMBAR, SACRAL AND COCCYGEAL SPINE

SACRO Y COXIS

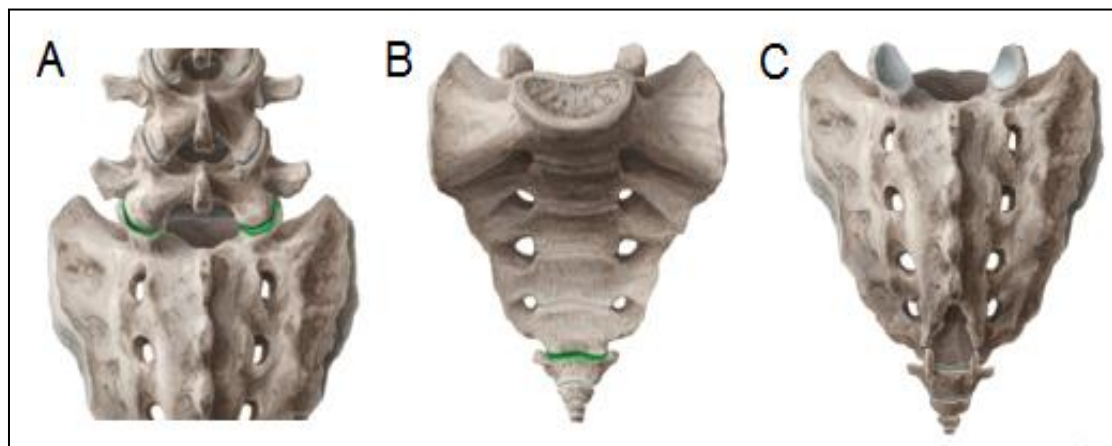


Figure 19. La articulación lumbosacra y sacrococcígea. A: articulaciones cigapofisiarias de unión lumbosacra. B: vista anterior de la articulación sacrococcígea. C: vista posterior de la articulación sacrococcígea. Imagen de KenHub web site.

A. Biomecánica normal de columna

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

5. BIOMECÁNICA DURANTE POSICIONES DE REPOSO

Posición bípeda



- Transmisión de peso a través del sacro, del ilion al fémur.
- Presión de pie relajada de 0,48 a 0,5 Mpa.



Posición sedente



- Transmisión de peso a través del sacro, ilion a tuberosidades isquiáticas.
- El soporte lumbar tiene la mayor influencia en la lordosis lumbar.

5. BIOMECÁNICA DURANTE POSICIONES DE REPOSO

Posición supina

- Flexionar las piernas en posición acostada aumenta la presión L4-L5 en 0.08MPa.
- Toser o estornudar aumentan la presión en 0,38 MPa.
- La risa aumenta la presión en 0,15 MPa.



A. Biomecánica normal de columna

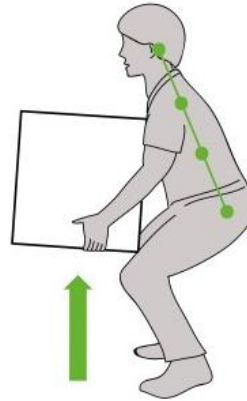
6. ¿Cómo es la biomecánica de la columna cuando realizamos gestos motores funcionales?

6. BIOMECÁNICA DURANTE GESTOS FUNCIONALES

Levantar y cargas objetos



- Las técnicas de elevación son importantes para reducir la presión intradiscal.
- 50% más de presión durante la inclinación hacia adelante.
- Más estabilidad lumbar y equilibrio durante el levantamiento.
- Importancia de las facetas



Marcha



- La carga intradiscal aumenta de 0,2 a 2,5 veces en L3-L4.
- Carga máxima en fase de despegue.
- Existe una correlación lineal entre la carga intradiscal y la velocidad al caminar.

A. Biomecánica normal de columna

7. Ideas claves

7. IDEAS CLAVES

- 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.

7. IDEAS CLAVES

- 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, por 4-5 vértebras. Mientras que la columna lumbar tiene una lordosis de concavidad posterior, el sacro tiene una concavidad anterior.

7. IDEAS CLAVES

- 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.

A. Biomecánica normal de columna

8. Bibliografía

8. BIBLIOGRAFÍA

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.

8. BIBLIOGRAFÍA

11. Lee, DG. Biomechanics of the thorax – research 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. Kjølby-Wendt, G. Hallerman, KL. Danielsson, A. Thoracic mobility and its 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.

8. BIBLIOGRAFÍA

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.

