



Dr. Mauro Lastrico – Dra. Laura Manni

Columna Vertebral en el Plano Sagital

Parte I

Las consideraciones que siguen representan la aplicación de los principios físicos y vectoriales descritos en los capítulos anteriores.

El plano sagital constituye la referencia para el análisis de las curvas fisiológicas de la columna y de sus relaciones de equilibrio.

El objetivo es describir individualmente los segmentos y los músculos implicados, para comprender cómo la distribución de las fuerzas musculares determina la configuración de la columna y cómo las variaciones de dichas fuerzas modifican la secuencia articular.

Identificando los vectores dominantes y las resultantes mecánicas en la base de las variaciones de las curvas fisiológicas de la sinusoide vertebral, el análisis distrital mantiene coherencia con el modelo físico general, mostrando cómo las mismas leyes —elasticidad de los tejidos, momentos de fuerza, equilibrio entre fuerzas G y R— encuentran expresión concreta en el cuerpo humano.

1. Introducción al análisis vectorial en el plano sagital

En este capítulo se analiza la acción de los músculos que actúan simétricamente en ambos lados de la columna vertebral y sus efectos sobre la sinusoide vertebral en el plano sagital.

El análisis vectorial permitirá identificar las dominancias musculares presentes en cada tramo y las modalidades con las que los músculos antagonistas intentan el balance de las fuerzas dominantes.

El análisis en el plano sagital no representa una reducción bidimensional de la complejidad del sistema, sino una herramienta analítica que permite aislar los componentes vectoriales dominantes dentro de un comportamiento tridimensional.

1.1 La subdivisión miofuncional

Observando la disposición anatómica de los músculos que influyen en el cráneo, la columna vertebral y la pelvis, emerge que las inserciones musculares no respetan los confines anatómicos sino que crean unidades funcionales que comprenden más segmentos vertebrales.

Esta observación lleva a añadir a la clasificación anatómica una subdivisión miofuncional distinguida en:

- Lordosis cráneo-cérvico-dorsal: extendida desde el cráneo hasta la apófisis espinosa de D3
- Cifosis dorsal: extendida desde la apófisis espinosa de D4 hasta la de D6
- Lordosis dorso-lumbo-sacra: extendida desde la apófisis espinosa de D7 hasta el sacro

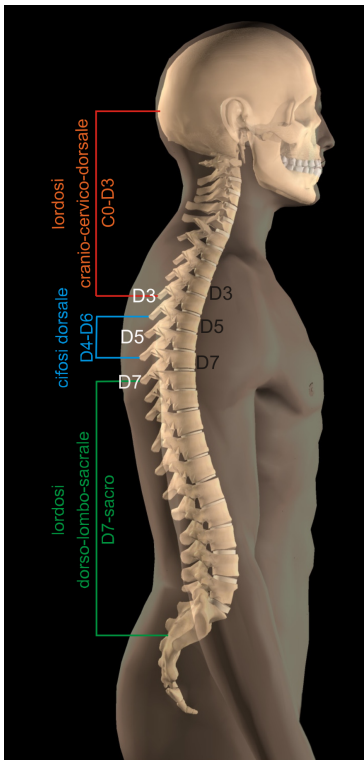


Fig. 01 - Subdivisión miofuncional de la columna vertebral

1.2 El fundamento biomecánico de la subdivisión

Extensión de la lordosis cervical hasta D3

La lordosis anatómica C1-C7 se prolonga muscularmente hasta D3 por la acción de grupos musculares específicos.

Posteriormente:

- Trapecios (fascículos superiores) que se insertan en la escápula
- Elevadores de la escápula que conectan las vértebras cervicales con la escápula
- Paravertebrales (incluyen los esplenios, los semiespinales y los multifidos)

El ángulo súpero-medial de la escápula se posiciona anatómicamente a nivel de D3, creando una unidad funcional continua.

Anteriormente:

- Paravertebrales anteriores que se insertan hasta D3 (largos de la cabeza, largos del cuello y rectos de la cabeza)

- Escalenos que conectan las vértebras cervicales con las primeras costillas
- Esternocleidomastoideos

Esta extensión muscular explica por qué las problemáticas cervicales pueden manifestarse con síntomas que involucran también el tramo dorsal alto.

Extensión de la lordosis lumbar hasta D7

La lordosis lumbar se prolonga hasta D7 principalmente por las inserciones del dorsal ancho, que se extiende desde las vértebras lumbares hasta las vértebras dorsales medio-bajas.

Este músculo, por su extensión y potencia vectorial, unifica funcionalmente todo el tramo desde D7 hasta el sacro.

La cifosis dorsal como zona de transición

De este análisis se deduce que la cifosis fisiológica con ápice en D5 es la conjunción posterior de dos curvas orientadas hacia adelante. Sobre este breve tramo actúan principalmente los fascículos medios del trapecio y los romboides.

1.3 La función biomecánica de las curvas

Funcionalmente la sinusoide vertebral tiene la tarea de amortiguar las cargas verticales.

Si la columna fuera recta sufriría mayores daños compresivos por el efecto directo de las fuerzas de compresión.

La presencia de las curvas transforma las fuerzas de compresión vertical en componentes más manejables, distribuyendo las cargas sobre toda la estructura.

La pequeña curva posterior D4-D6 no es más que la conjunción geométrica de las dos curvas orientadas hacia adelante, y crea un sistema de amortiguación de las sollicitaciones sobre el eje vertical.

1.4 El desarrollo ontogenético de las curvas

El desarrollo de las curvas vertebrales durante el crecimiento confirma esta visión funcional:

1. El recién nacido presenta la columna vertebral en cifosis total (curva primaria).
2. Durante el crecimiento utiliza los músculos comprendidos entre el cráneo y D3 para crear la lordosis cérvico-dorsal que le permite el control del cráneo y la visión horizontal.
3. Sucesivamente utiliza los músculos comprendidos entre D7 y el sacro para crear la lordosis dorso-lumbo-sacra que le permitirá conquistar la posición erecta.

Este desarrollo secuencial demuestra cómo las curvas vertebrales son el resultado de la acción muscular y no simples adaptaciones anatómicas.

1.5 Implicaciones para el análisis clínico

En el análisis que sigue veremos las posibles modificaciones de los tramos vertebrales causadas por el acortamiento de los músculos que actúan sobre cada unidad funcional.

Herramientas de evaluación clínica:

- Investigaciones específicas para la evaluación de las curvas.
- Palpación de las vértebras sobre las espinosas para identificar los cambios de curva y las zonas de mayor tensión.
- Evaluación de las compresiones discales a través de la palpación de las apófisis espinosas.

Principios guía para la interpretación:

1. cada alteración en una de las tres unidades funcionales puede influir en las otras;
2. los acortamientos musculares modifican las curvas según esquemas previsibles;
3. la sintomatología puede manifestarse a distancia de la causa biomecánica primaria;
4. el abordaje terapéutico debería considerar que la intervención sobre el segmento sintomático individual podría no ser suficiente y que pueda ser necesario evaluar la unidad funcional en su conjunto.

Esta visión integrada de la columna vertebral como sistema de unidades funcionales interconectadas representa la base para una correcta interpretación biomecánica de los cuadros clínicos vertebrales.

2. Lordosis cráneo-cérvico-dorsal (C0-D3)

2.1 Características anatómicas y funcionales

El tramo cráneo-cérvico-dorsal presenta una característica específica respecto al resto de la columna vertebral: es el único segmento en el que están presentes músculos paravertebrales con doble inserción, tanto anteriormente (músculos anteriores del cuello) como posteriormente (paravertebrales posteriores).

Esta peculiaridad anatómica determina mecanismos biomecánicos complejos y particulares para este distrito.

Como ya se ha observado, el sostén muscular para la prolongación de la lordosis cervical hasta D3 es producido principalmente por los músculos anteriores del cuello que se insertan hasta D3: músculo recto anterior de la cabeza, músculo largo de la cabeza, músculo largo del cuello.

2.2 Los grupos musculares actuantes

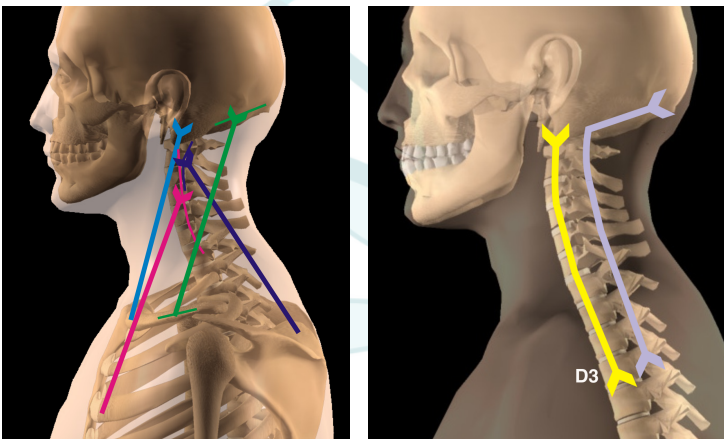
Anteriormente:

- Escalenos y esternocleidomastoideos
- Músculos anteriores del cuello (recto anterior de la cabeza, largo de la cabeza, largo del cuello)

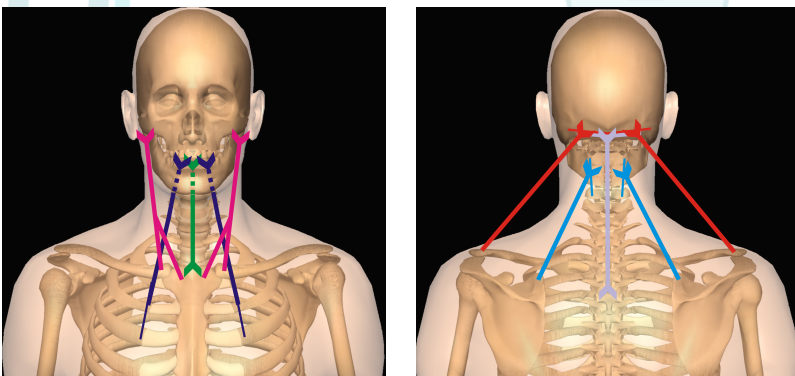
Posteriormente:

- Paravertebrales posteriores
- Elevadores de la escápula
- Fascículos superiores de los trapecios

En las figuras sucesivas están representadas las líneas de fuerza de los músculos individuales, considerando como punto móvil las inserciones craneales y vertebrales.



Figuras 2 y 3: Músculos representados - esternocleidomastoideo: celeste; elevador de la escápula: azul; fascículo superior del trapecio: verde; escalenos: magenta; anteriores del cuello: amarillo; paravertebrales: violeta claro



Figuras 4 y 5: Músculos representados - esternocleidomastoideos: magenta; anteriores del cuello: verde; fascículos superiores trapecios: rojo; elevadores de las escápulas: azul; paravertebrales: violeta claro; escalenos: azul

2.3 Análisis vectorial de los músculos posteriores

El aumento del tono basal y el sucesivo acortamiento de los músculos posteriores determinan dos efectos principales:

1. Flexión posterior del cráneo por la acción:
 - Directa: paravertebrales y fascículos superiores de los trapecios
 - Indirecta: elevadores de la escápula
2. Aumento de la lordosis cervical por la acción:
 - Directa: paravertebrales y elevadores de la escápula
 - Indirecta: fascículos superiores de los trapecios

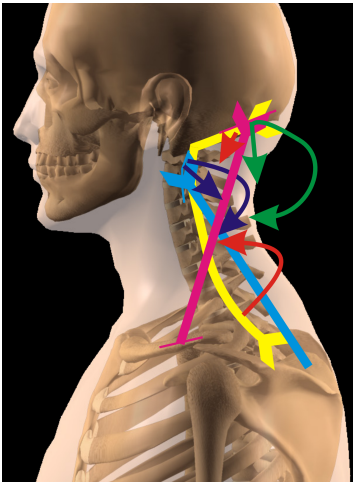


Figura 6: Acciones de los músculos posteriores - los fascículos superiores de los trapecios (flechas verdes) flexionan posteriormente el cráneo y, por resultante mecánica, aumentan la lordosis vertebral; los elevadores de la escápula (flechas azules) flexionan posteriormente las vértebras desde C1 hasta C4 y, por resultante mecánica, aumentan la lordosis cervical en total; los paravertebrales (flechas rojas) flexionan posteriormente el cráneo y aumentan la lordosis cervico-dorsal desde C1 hasta D3.

2.4 Análisis vectorial de los músculos anteriores

La acción de los músculos anteriores varía en base a la posición del cráneo y a la curva cervical existente.

La implicación de los músculos anteriores crea cuadros diferentes, según si el cráneo se comporta como punto fijo o punto móvil.

Con cráneo como punto fijo

Situación 1: Lordosis fisiológica

Con el occipucio sobre la misma vertical de la cifosis dorsal y la columna cervical en lordosis fisiológica, los esternocleidomastoideos en su acción bilateral flexionan anteriormente el cráneo, induciendo como resultante mecánica la reducción de la lordosis.

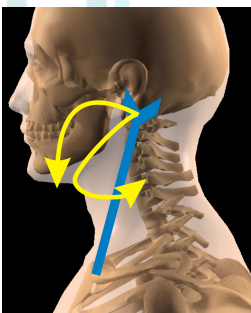


Figura 7: Con el occipucio en línea con las vértebras torácicas y la columna cervical en lordosis fisiológica, los esternocleidomastoideos, teniendo la línea de fuerza que pasa por delante de la mastoides, flexionan anteriormente el cráneo y, por resultante mecánica, reducen la lordosis cervical. Esternocleidomastoideo: azul

Situación 2: Hiperlordosis preexistente

Si sin embargo la posición del cráneo está en flexión posterior, la línea de fuerza de los esternocleidomastoideos pasa por detrás de la mastoides, determinando la inversión de su acción.

Ellos flexionarán posteriormente el cráneo concurriendo al aumento de la lordosis junto con los escalenos.

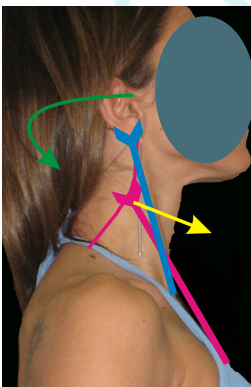


Figura 8: Con el cráneo como punto fijo y en flexión posterior, los esternocleidomastoideos, teniendo su línea de fuerza que pasa por detrás de la mastoides, invierten su acción y flexionan posteriormente el cráneo aumentando la lordosis cervical. Lordosis cervical aumentada también por la acción de los escalenos. Esternocleidomastoideo: azul; escalenos: magenta

Comportamiento de los músculos anteriores del cuello

Los músculos anteriores del cuello (recto anterior de la cabeza, largo de la cabeza y largo del cuello) muestran un comportamiento de inversión de acción similar.

Cuando la columna está en lordosis fisiológica y el occipucio en eje con las vértebras torácicas, tienen la línea de fuerza que pasa por delante de la línea media sagital de las vértebras.

En este caso su acción es la de rectificar el tramo cervical.

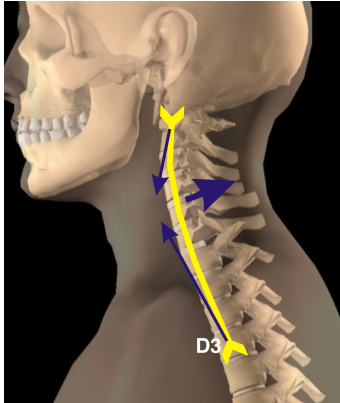
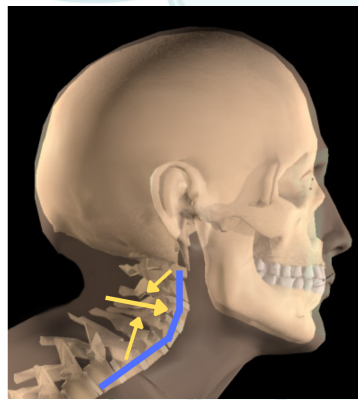
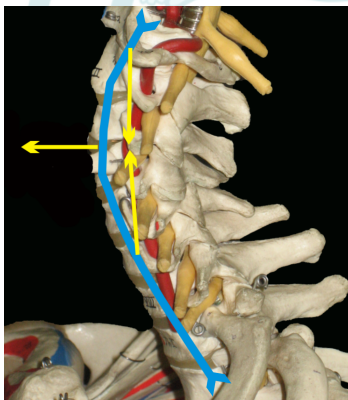


Figura 9: Occipucio en eje con las vértebras torácicas y columna cervico-dorsal en lordosis fisiológica. Los músculos anteriores del cuello, teniendo la línea de fuerza que pasa por delante de la línea media sagital de los cuerpos vertebrales, reducen la lordosis cervico-dorsal. Anteriores del cuello: amarillo

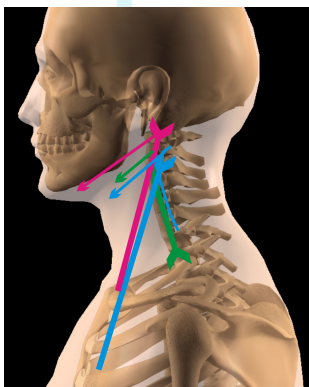
En el caso en que la columna esté en hiperlordosis, la línea de fuerza se desplaza posteriormente a la línea media sagital y la acción se vuelve opuesta: los músculos anteriores del cuello aumentarán la lordosis.



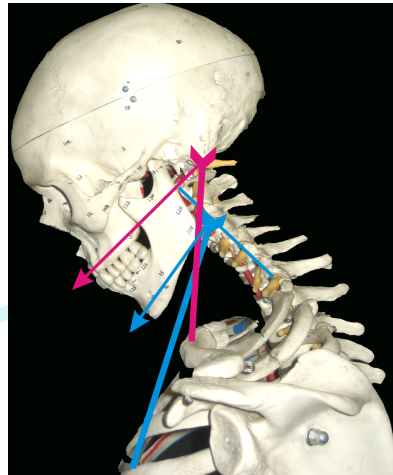
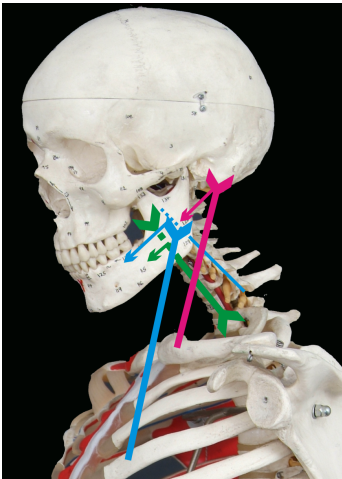
Figuras 10 y 11: Columna cervical en lordosis aumentada. En este caso, los músculos anteriores del cuello, teniendo la línea de fuerza que pasa posteriormente a la línea media sagital de los cuerpos vertebrales, aumentan la lordosis cervico-dorsal. Anteriores del cuello: azul

Con cráneo punto móvil

Cuando para permitir el mantenimiento del equilibrio y de la orientación visual el sistema nervioso central lo necesitara, esternocleidomastoideos, escalenos y músculos anteriores del cuello entran en sumatoria y sinergia de acción y determinan la proyección anterior de la cabeza, rectificando en dirección oblicua y hacia adelante la columna cervical.

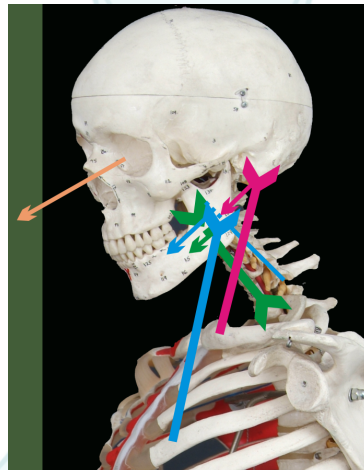
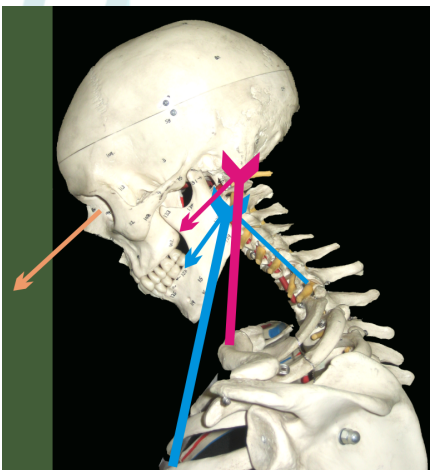


Figuras 12, 13 y 14: Cráneo punto móvil - esternocleidomastoideos, escalenos y músculos anteriores del cuello entran en sumatoria de acción y proyectan anteriormente el cráneo y las primeras vértebras cervicales. La columna cervical asume un recorrido rectilíneo y oblicuo hacia adelante. Anteriores del cuello: verde; escalenos: azul; esternocleidomastoideo: magenta

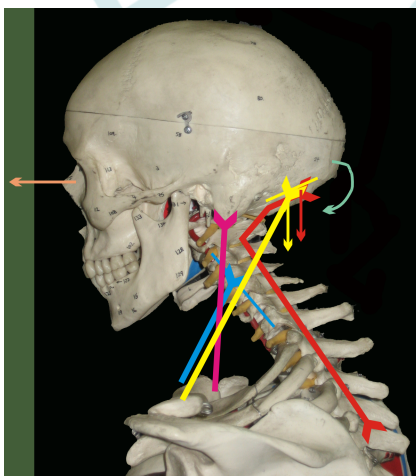


Compensación para el control visual

La recuperación de la orientación de la mirada ocurre después a través de la contracción de los paravertebrales posteriores y de los fascículos superiores de los trapecios que flexionan posteriormente el cráneo.



Figuras 15, 16 y 17: Si esternocleidomastoideos, escalenos y músculos anteriores del cuello proyectan anteriormente el cráneo y las primeras vértebras cervicales, la mirada está orientada hacia abajo. Para recuperar la orientación horizontal de la mirada, paravertebrales y fascículos superiores de los trapecios flexionan posteriormente el cráneo. Anteriores del cuello: verde; esternocleidomastoideo: magenta; escalenos: azul; paravertebrales: rojo; fascículo superior del trapecio: amarillo



2.5 El control de la posición del cráneo

Los reflejos del control del equilibrio

Los reflejos del control del equilibrio interactúan entre sí con el fin de mantener la posición del cráneo bien orientada en el espacio, con la hendidura de los ojos lo más posible horizontal, implicando la intervención de todos los músculos cráneo-cérvico-escapulares.

Vectorialmente los músculos que aumentan la lordosis cervical, directa o indirectamente, son dominantes y su acortamiento determina también la flexión posterior de la cabeza, interfiriendo con la visual.

El mecanismo compensatorio

Como ya se ha observado, para recuperar la orientación horizontal de los ojos, los músculos anteriores de la columna cervico-dorsal entran en exceso de tensión y, "desenrollando" hacia adelante el raquis, anteponen el cráneo.

A dicha anteposición concurren directamente también los esternocleidomastoideos.

La visual horizontal es así recuperada pero el baricentro craneal ya no se encuentra alineado con el cuerpo vertebral de D3.

Cálculo del momento de fuerza

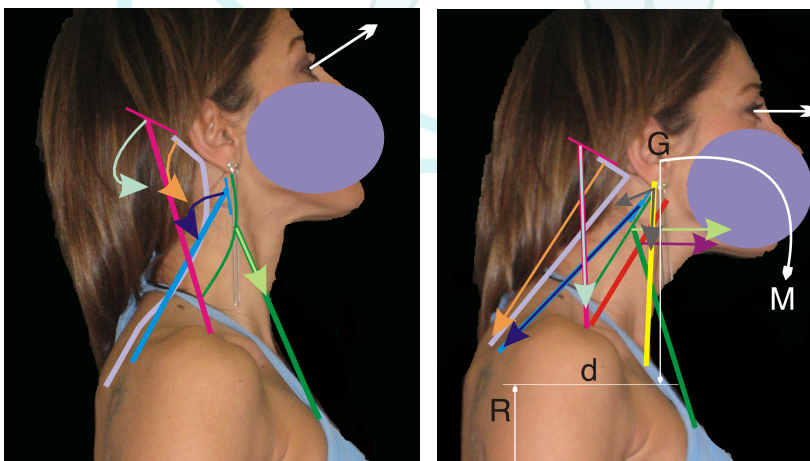
En presencia de dos fuerzas iguales y contrarias alineadas verticalmente (el peso del cráneo aplicado a su baricentro y el contrarrespaldo a lo largo de la columna, por ejemplo a nivel de D3), se genera un par que produce un momento de fuerza igual al producto entre la fuerza y la distancia que las separa.

Si el cráneo pesa aproximadamente 5 kg y la distancia entre el baricentro craneal (en proximidad del meato acústico) y el punto en el que consideramos aplicado el contrarrespaldo vertebral (por ejemplo la espinal de D3) es de 3 cm, el momento extensor requerido será:

$$M = F \times d = 5 \text{ kg} \times 3 \text{ cm} = 15 \text{ kg} \cdot \text{cm}$$

La fuerza que los músculos posteriores deben desarrollar no es de 15 kg, sino que depende de su brazo respecto al eje de rotación: si su brazo es, por ejemplo, de 2 cm, la fuerza necesaria será aproximadamente $15/2 = 7,5 \text{ kg}$.

Lo que interesa clínicamente no es el valor absoluto, sino el hecho de que, aumentando la distancia entre el baricentro craneal y el punto de contrarrespaldo, crece el momento a equilibrar y por tanto la demanda de fuerza a los músculos extensores.



Figuras 18 y 19: Si los músculos posteriores entran primariamente en acortamiento, el cráneo se encuentra en flexión posterior y la mirada orientada hacia arriba. Para volver a obtener la horizontalidad de la mirada, los músculos situados por delante de la columna proyectan anteriormente el cráneo y las primeras vértebras cervicales. Con el cráneo en anteposición, los

músculos posteriores deben aumentar ulteriormente su tensión para balancear el momento de fuerza M. Paravertebrales: violeta claro; fascículo superior trapecio: magenta; escalenos: verde; anteriores del cuello: rojo; elevador de la escápula: azul; esternocleidomastoideo: amarillo

2.6 Interpretación de los cuadros radiográficos

Rectificación oblicua hacia adelante

En algunos cuadros radiográficos se evidencia la rectificación de la columna cervical, con recorrido oblicuo hacia adelante.

Esto puede ser expresión de la resultante producida primariamente por los músculos anteriores, que desplazan hacia adelante el cráneo con la mirada dirigida al suelo.

La recuperación de la visual horizontal será después realizada por los extensores de la cabeza.

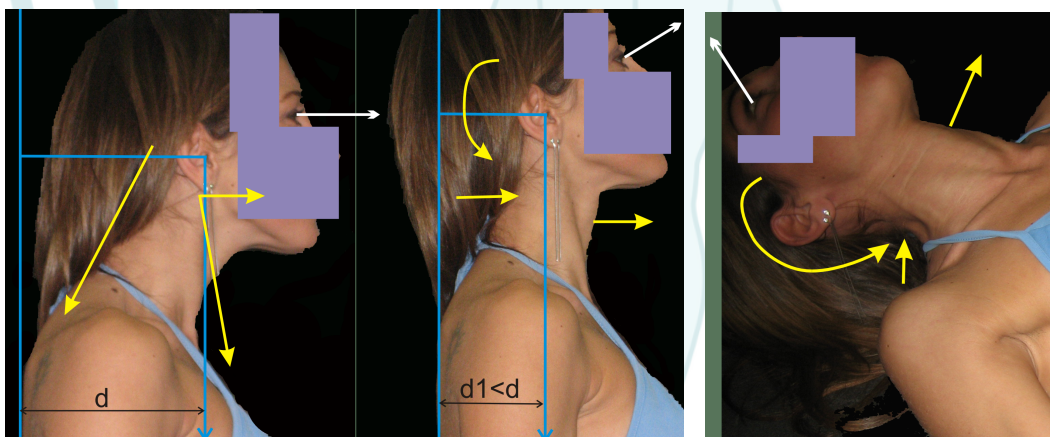
Rectificación vertical

Cuando en cambio radiográficamente la columna aparece rectificada y vertical, siendo el cuadro incompatible con la acción de los músculos que actúan localmente, la rectificación es la resultante de la disminución de la cifosis dorsal fisiológica con ápice en D5, causada por los paravertebrales dorsales y por los aductores escapulares.

Con el término rectificación no se entiende necesariamente una pérdida estructural de la curva, sino una configuración geométrica resultante del equilibrio (o desequilibrio) de los vectores musculares que actúan sobre los segmentos vertebrales.

Test diagnóstico

Incluso cuando la columna cervical aparece rectificada y oblicua, la causa del cuadro es a menudo la hiperlordosis: de hecho, cuando se intenta llevar el cráneo sobre la vertical de la cifosis dorsal (pasivamente, activamente o posicionando al paciente supino), la consiguiente co-contracción de todos los músculos que actúan en la columna cervical revelará el aumento de la lordosis.



Figuras 20 y 21: Comparación de control - foto habitual a la izquierda y posteriorización del cráneo a la derecha. La posteriorización activa del cráneo respecto a la condición habitual determina el pasaje de la columna cervical desde la rectificación en dirección oblicua a la hiperlordosis perdiendo la horizontalidad de la mirada. A análogo efecto se asiste poniendo a la paciente supina. En ambos casos se puede "leer" la rectificación como respuesta funcional adaptativa a una condición primaria de hiperlordosis.

2.7 Consecuencias biomecánicas sobre los discos intervertebrales

Sea que la columna cérvico-dorsal presente una lordosis aumentada o una rectificación con proyección anterior de la cabeza, las fuerzas G y las reacciones R, aplicadas al cráneo y a las vértebras individuales, determinan momentos de fuerza sobre los segmentos vertebrales y compresiones con sus componentes g y r a los discos intervertebrales.

En hiperlordosis

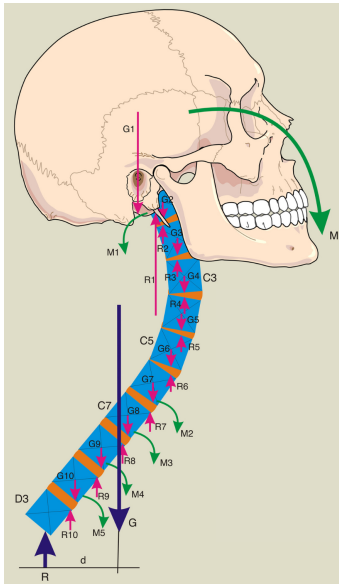


Figura 22: Columna cérvico-dorsal en exceso de lordosis. Las fuerzas G individuales aplicadas a los baricentros individuales y sus reacciones R determinan el adensamiento de los componentes g y r (no representadas) en algunos puntos de los discos articulares que sufrirán fuerzas compresivas. Las fuerzas G y R individuales determinan además momentos de fuerza al cráneo (M1) y a las vértebras desde C6 hasta D2 (M2, M3, M4, M5). Las fuerzas globales G y R crean el momento de fuerza global M. Los músculos posteriores, además de haber determinado la hiperlordosis, deben actuar a alta intensidad para equilibrar el momento de fuerza M. Haciéndolo así, determinan ulteriores compresiones mecánicas posteriores a los discos articulares entre C2 y C6.

En rectificación oblicua

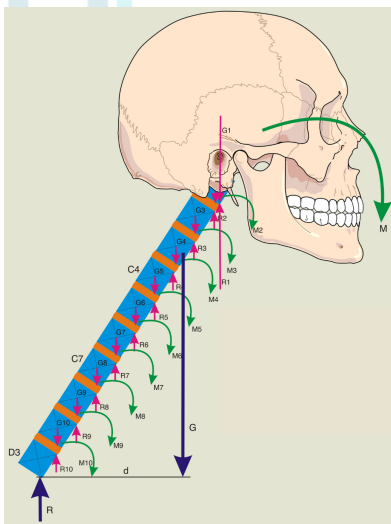


Figura 23: Columna cérvico-dorsal rectificada y oblicua por la acción de los anteriores del cuello, escalenos y esternocleidomastoideos. Las fuerzas G y R individuales determinan los momentos de fuerza desde M2 hasta M10. Los componentes g y r crean compresiones mecánicas a las porciones anteriores de los discos intervertebrales. Las fuerzas globales G y R determinan un momento de fuerza M que debe ser equilibrado por la tensión de los músculos posteriores.

2.8 Conclusiones y herramientas diagnósticas

Sobre la columna cráneo-cérvico-dorsal actúan músculos tanto anteriores como posteriores y su balance determina la correcta posición en el espacio del tramo esquelético.

El potencial balance de los músculos anteriores es posible solo en condición de lordosis fisiológica.

Su aumento por obra de los músculos posteriores (que no invierten nunca su acción) determina la inversión de acción de los anteriores, transformándolos en co-agonistas de los posteriores.

Cuando esto sucede, además de los cambios de curva se determinan compresiones sobre los discos intervertebrales inducidos, bilateralmente, por los componentes vectoriales verticales de los músculos oblicuos que se suman.

Test diagnóstico: tracción craneal

Una manera de diferenciar e individualizar la dominancia en la producción de hiperlordosis entre músculos anteriores y posteriores es la de efectuar, en posición supina, una pequeña tracción craneal:

- Si con la tracción la columna tiende a normalizarse es hipotetizable una dominancia de los músculos posteriores y la maniobra puede convertirse también en una herramienta eficaz de tratamiento.
- Si a la tracción la columna viene proyectada hacia adelante (incluso de una única o pareja de vértebras) esto es la señal de la dominancia de los músculos anteriores y la maniobra, repetida en terapia, agravaría el cuadro.

Bibliografía

1. Lastrico M. Clinical Assessment of Muscle Shortening. The CPD Certification Service; 2025.
2. Lastrico M. Body Equilibrium - A Physical-Clinical Interpretation of Human Upright Stability. The CPD Certification Service; 2025.
3. Lastrico M. Vector Analysis in Musculoskeletal Biomechanics - Part 1: Foundations and Clinical Principles. The CPD Certification Service; 2025.
4. Lastrico M. Vector Analysis in Musculoskeletal Biomechanics - Part 2: Clinical Applications and Case Interpretation. The CPD Certification Service; 2025.
5. Sahrmann SA. Diagnosis and Treatment of Movement Impairment Syndromes. St. Louis: Mosby; 2002.
6. Knudson D. Fundamentals of Biomechanics. 2nd ed. New York: Springer; 2007.
7. Winter DA. Biomechanics and Motor Control of Human Movement. 4th ed. Hoboken: Wiley; 2009.
8. Lieber RL, Fridén J. Functional and clinical significance of skeletal muscle architecture. Muscle Nerve. 2000;23(11):1647-1666.
9. Lieber RL, Ward SR. Skeletal muscle design to meet functional demands. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci. 2011;366(1570):1466-1476.
10. Panjabi MM. The stabilizing system of the spine. Part I. Function, dysfunction, adaptation, and enhancement. J Spinal Disord. 1992;5(4):383-389.
11. Harrison DD, Janik TJ, Troyanovich SJ, Harrison DE, Colloca CJ. Evaluation of the assumptions used to derive an ideal normal cervical spine model. J Manipulative Physiol Ther. 1997;20(4):246-256.
12. Shumway-Cook A, Woollacott M. Motor Control: Translating Research into Clinical Practice. 4th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2012.
13. Dubousset J. Three-dimensional analysis of the scoliotic deformity. In: Weinstein SL, editor. The Pediatric Spine: Principles and Practice. New York: Raven Press; 1994. p. 479-496.

14. Page P, Frank CC, Lardner R. Assessment and Treatment of Muscle Imbalance: The Janda Approach. Champaign: Human Kinetics; 2010.
15. Vasavada AN, Li S, Delp SL. Influence of muscle morphometry and moment arms on the moment-generating capacity of human neck muscles. *Spine*. 1998;23(4):412-422.
16. Mayoux-Benhamou MA, Revel M, Vallée C. Selective electromyography of dorsal neck muscles in humans. *Exp Brain Res*. 1997;113(2):353-360.
17. Conley MS, Meyer RA, Bloomberg JJ, Feedback DL, Dudley GA. Noninvasive analysis of human neck muscle function. *Spine*. 1995;20(23):2505-2512.
18. Keshner EA. Head-trunk coordination during linear anterior-posterior translations. *J Neurophysiol*. 2003;89(4):1891-1901.
19. Panjabi MM, Crisco JJ, Vasavada A, Oda T, Cholewicki J, Nibu K, Shin E. Mechanical properties of the human cervical spine as shown by three-dimensional load-displacement curves. *Spine*. 2001;26(24):2692-2700.
20. Adams MA, Roughley PJ. What is intervertebral disc degeneration, and what causes it? *Spine*. 2006;31(18):2151-2161.
21. Cholewicki J, McGill SM. Mechanical stability of the in vivo lumbar spine: implications for injury and chronic low back pain. *Clin Biomech*. 1996;11(1):1-15.
22. Cools AM, Declercq GA, Cambier DC, Mahieu NN, Witvrouw EE. Trapezius activity and intramuscular balance during isokinetic exercise in overhead athletes with impingement symptoms. *Scand J Med Sci Sports*. 2007;17(1):25-33.
23. Lee LJ, Coppieters MW, Hodges PW. Differential activation of the thoracic multifidus and longissimus thoracis during trunk rotation. *Spine*. 2005;30(8):870-876.
24. Kado DM, Huang MH, Karlamangla AS, Barrett-Connor E, Greendale GA. Hyperkyphotic posture predicts mortality in older community-dwelling men and women: a prospective study. *J Am Geriatr Soc*. 2004;52(10):1662-1667.
25. McGill SM. *Low Back Disorders: Evidence-Based Prevention and Rehabilitation*. 3rd ed. Champaign: Human Kinetics; 2016.
26. Hodges PW, Richardson CA. Contraction of the abdominal muscles associated with movement of the lower limb. *Phys Ther*. 1997;77(2):132-142.
27. Adams MA, Hutton WC. The effect of posture on the role of the apophysial joints in resisting intervertebral compressive forces. *J Bone Joint Surg Br*. 1980;62(3):358-362.
28. Roussouly P, Gollogly S, Berthonnaud E, Dimnet J. Classification of the normal variation in the sagittal alignment of the human lumbar spine and pelvis in the standing position. *Spine*. 2005;30(3):346-353.
29. Barker PJ, Guggenheimer KT, Grkovic I, Briggs CA, Jones DC, Thomas CD, Hodges PW. Effects of tensioning the lumbar fasciae on segmental stiffness during flexion and extension: Young Investigator Award winner. *Spine*. 2006;31(4):397-405.