



Dr. Mauro Lastrico – Dra. Laura Manni

Escoliosis

1. Escoliosis: aplicación de los principios físicos

1.1 Premisas etiológicas y biomecánicas

La etiología de la escoliosis idiopática permanece sustancialmente desconocida a pesar de décadas de investigación.

Han sido propuestas diversas teorías - genéticas, neurológicas, biomecánicas, metabólicas, hormonales, etcétera - pero ninguna explica completamente el fenómeno.

Lo que se observa clínicamente es que la progresión de las curvas es más rápida durante el crecimiento puberal y tiende a estabilizarse, pero no necesariamente a detenerse, después de la madurez esquelética.

El análisis biomecánico que sigue no pretende explicar las causas de la escoliosis, sino que se limita a describir los mecanismos vectoriales a través de los cuales las desviaciones vertebrales se manifiestan y pueden ser interpretadas desde el punto de vista muscular.

El "etcétera" subraya que el listado no es exhaustivo y que se trata de hipótesis aún en estudio.

1.2 Un criterio interpretativo: la relación rotación/desviación

En el análisis biomecánico de las escoliosis, la observación de la relación entre rotación y desviación vertebral puede proporcionar indicaciones sobre la respuesta al tratamiento.

Como visto en los párrafos precedentes, fisiológicamente la rotación de los cuerpos vertebrales es contralateral a la desviación lateral respecto al eje medio.

En algunas escoliosis esta relación se invierte: convexidad y rotación devienen homolaterales.

Esta observación clínica, derivada de la práctica terapéutica, sugiere una posible clave interpretativa:

Hipótesis 1: Cuando la rotación de los cuerpos vertebrales permanece opuesta a la desviación lateral (patrón fisiológico), podrían existir márgenes de mejora con el tratamiento sobre el sistema muscular.

Hipótesis 2: Cuando la rotación de los cuerpos vertebrales es homolateral a la desviación lateral (patrón no fisiológico), la curva escoliótica podría estar tan estructurada que no responda al trabajo directo a los músculos.

Este criterio representa una observación empírica que necesita validación científica y no sustituye las clasificaciones radiológicas estándar (Lenke, King-Moe) utilizadas en ámbito ortopédico. Podría

sin embargo proporcionar informaciones adicionales sobre la posibilidad de modificar las deformidades esqueléticas a través del trabajo sobre el sistema muscular.

1.3 Aplicación del criterio a las diversas fases

El criterio interpretativo propuesto sugiere abordajes diferenciados basados en la evaluación de la relación rotación/desviación.

Fase de crecimiento activo

No conociendo las causas de la escoliosis idiopática, la intervención durante el crecimiento requiere necesariamente un abordaje multidisciplinario.

Cuando se observa congruencia entre rotación y convexidad vertebral (patrón fisiológico), parece existir, teóricamente, la posibilidad de intervenir sobre el componente muscular.

Cualquier trabajo dirigido a la disminución de la fuerza resistente debe sin embargo ser evaluado con el equipo médico.

El aumento de la fuerza resistente observado podría representar un mecanismo compensatorio que el sistema nervioso ha desarrollado para contener la progresión de las curvas.

Interferir con este equilibrio sin adecuada evaluación podría alterar una estrategia defensiva espontánea del sistema.

Fase adulta estabilizada

Después de la madurez esquelética se trabaja sobre los resultados de la enfermedad, ya concluida en su fase activa.

El abordaje permanece multidisciplinario pero las perspectivas cambian.

Cuando el patrón rotación/desviación es fisiológico (rotación opuesta a la convexidad), las posibilidades de obtener una mejora efectiva de los grados de curva son mayores respecto a la fase de crecimiento.

El sistema ya no está sometido a las fuerzas evolutivas ignoradas de la patología activa y el trabajo sobre el reequilibrio vectorial puede expresar su potencial.

El criterio deviene entonces operativo: en el patrón fisiológico se trabaja para reducir tanto la sintomatología como los grados de curva a través de la disminución de la fuerza resistente.

En el patrón no fisiológico (rotación homolateral a la convexidad) el objetivo se limita al control sintomatológico, siendo la deformidad ya probablemente estructurada.

En ambos casos se busca optimizar la relación entre fuerza resistente y fuerza de trabajo para mejorar la funcionalidad global.

1.4 Análisis Vectorial en las Escoliosis

El análisis de los vectores dominantes sobre las cuatro curvas muscularmente independientes es idéntico a lo expuesto precedentemente.

En la escoliosis todo resulta sin embargo más acentuado.

Sobre el plano sagital los componentes verticales de los músculos que actúan en los dos lados de la columna son vectorialmente diversos pero se suman, alterando el recorrido de la sinusoide vertebral.

Sobre el plano frontal los componentes horizontales de los músculos con inserción directa en la columna pueden ser balanceados por músculos contralaterales que tienen vectores de igual intensidad pero verso contrario.

La tracción ejercida sobre las vértebras torácicas por los romboides, por ejemplo, puede ser balanceada por los romboides contralaterales, que potencialmente expresan fuerza igual y contraria.

A contrastar la desviación lateral concurren los paravertebrales que, a través de sus vectores longitudinales, endurecen la columna.

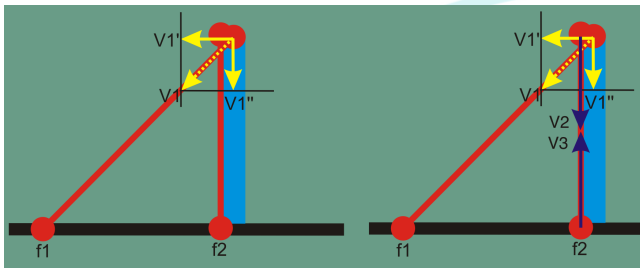


Figura 7.21 - Dos fuerzas, una oblicua y una longitudinal aplicadas a una varilla expresan componentes vectoriales diversos. La fuerza f1 tiene una resultante vectorial V1 compuesta por un componente horizontal V1' y uno vertical V1''. El componente horizontal V1' determina la desviación lateral de la varilla, mientras el componente vertical V1'' estabiliza

y endurece la varilla. La fuerza f2 tiene vectores V2 y V3 únicamente verticales que estabilizan y endurecen la varilla. La expresión del componente horizontal V1' puede ser neutralizada a través del trabajo a alta intensidad de los vectores verticales V2 y V3 expresados por la fuerza f2 a la que se suma el componente vertical V1'' expresado por la fuerza f1.

1.5 La prevalencia de los componentes verticales

Todos los músculos oblicuos, además de los componentes horizontales, presentan componentes verticales.

Estos, sumados a los de los paravertebrales, modifican el recorrido sagital de la columna y la endurecen.

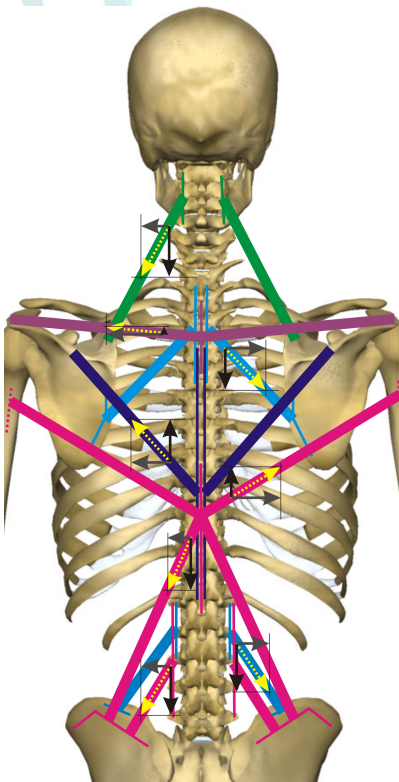


Figura 7.22 - Elevador de la escápula: verde; fascículos medios trapecio: violeta; romboides: celeste; fascículos inferiores trapecio: azul oscuro; dorsal ancho: magenta; cuadrado de los lomos: azul. Componentes vectoriales horizontales (flechas grises) y verticales (flechas negras) expresados por los músculos oblicuos con inserción en columna vertebral. La sumatoria de los componentes verticales, que alteran la sinusoide vertebral y endurecen la columna, es mayor que la sumatoria de aquellos horizontales que la desvían lateralmente. Si a los componentes verticales de los músculos oblicuos se suman los vectores verticales expresados por los paravertebrales, la diferencia se acentúa notablemente (no representada en figura).

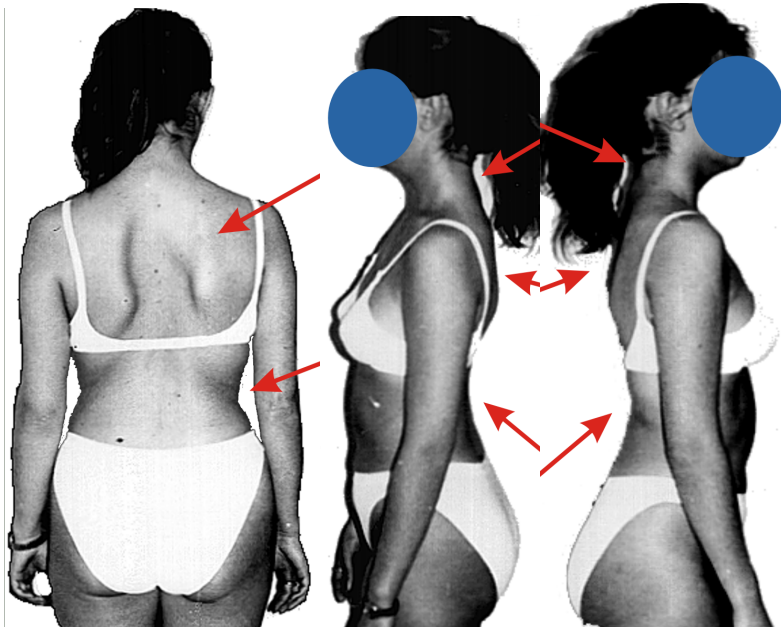
1.6 La escoliosis como expresión de saturación sagital

En el capítulo sobre el modelo neurofisiológico vendrá expuesto cómo el sistema distribuye los acortamientos musculares para evitar, lo más largo posible, que las estructuras endo-articulares entren en conflicto mecánico generando síntomas e impotencias motoras.

En esta óptica la aparición de desviaciones laterales del raquis puede ser interpretada como expresión de la saturación de las posibilidades de alterar ulteriormente el recorrido sagital sin determinar conflictos mecánicos.

El sistema, no pudiendo ya compensar sobre el plano sagital, comienza a utilizar el plano frontal.

Clínicamente, en la mayoría de los casos de escoliosis el raquis se presenta rígido y con significativas alteraciones sagitales.



Figuras 7.23, 7.24 y 7.25 - Paciente de 24 años. Escoliosis de doble curva: convexidad lumbar izquierda D12-L4, 10 grados; convexidad dorsal derecha D5-D12, 20 grados. Las flechas rojas evidencian: rectificación del tramo cervical como consecuencia de la disminución de la fisiológica cifosis dorsal; prominencia y aducción de las escápulas con rectificación del tramo dorsal; acentuación lordosis lumbar y anteversión de la pelvis. Las alteraciones del recorrido sinusoidal de la columna vertebral sobre el plano sagital resultan globalmente mayores que las del plano frontal.

1.7 Mecanismos de auto-perpetuación de la escoliosis

Una vez que un músculo oblicuo prevalece sobre el contralateral desviando lateralmente la columna, cambian las direcciones de los componentes vectoriales.

Cuando los componentes vectoriales longitudinales del músculo antagonista tienen su proyección más allá de la línea media, estos se suman a los componentes horizontales y verticales del músculo agonista.

En lugar de oponerse, contribuyen a la estabilización y al incremento de la escoliosis.

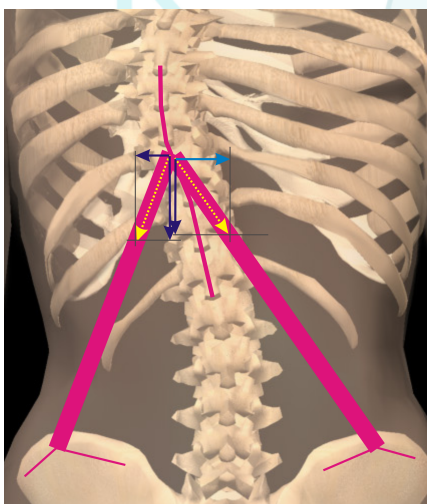


Figura 7.26 - Escoliosis izquierda convexa inducida por las fibras del dorsal ancho de izquierda extendidas de cresta iliaca a vértebras torácicas D7-D12. Una vez que la columna está desviada, los componentes vectoriales verticales del dorsal ancho de derecha, encontrándose más allá de la línea media, se suman a los del dorsal ancho de izquierda contribuyendo a la desviación escoliótica. La escoliosis viene así sostenida por los componentes verticales y horizontales del dorsal ancho de izquierda y por los componentes vectoriales verticales del dorsal ancho de derecha (flechas azules). Los componentes horizontales del dorsal ancho de derecha (flecha celeste) resultan vectorialmente subdominantes y no podrán balancear la desviación escoliótica.

También las líneas de fuerza de los paravertebrales, con escoliosis instaurada, cambian dirección. Siguiendo la columna desviada pierden su verticalidad y, sumándose a las fuerzas oblicuas dominantes, contribuyen a la fijación de la desviación vertebral.

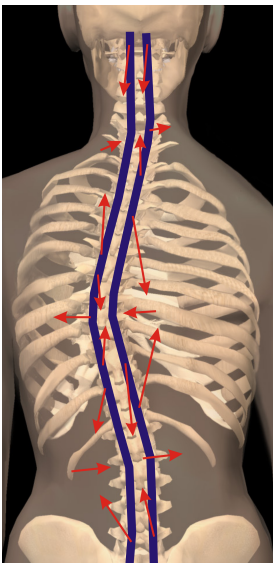


Figura 7.27 - Paravertebrales: azul. Escoliosis inducida por músculos con inserción vertebral teniendo líneas de fuerza oblicuas. Las líneas de fuerza de los paravertebrales, siguiendo la columna, pierden su dirección vertical. Las resultantes vectoriales de los paravertebrales, sumándose a las de los músculos oblicuos, estabilizan las curvas escolióticas.

1.8 El Comportamiento de los músculos del lado de la concavidad vertebral

Los músculos en el lado cóncavo están en alargamiento respecto a la posición inicial.

Su alargamiento, sin embargo, es solo aparente porque no supera el máximo alargamiento potencial del músculo.

Estos músculos, además, aumentan su tensión en el intento de balancear la lateralización de las vértebras y en el tiempo este exceso de tensión determina el acortamiento de la porción conectival de la fibra muscular.

Los músculos del lado cóncavo resultan entonces en alargamiento relativo respecto a la posición de partida, pero globalmente en acortamiento.

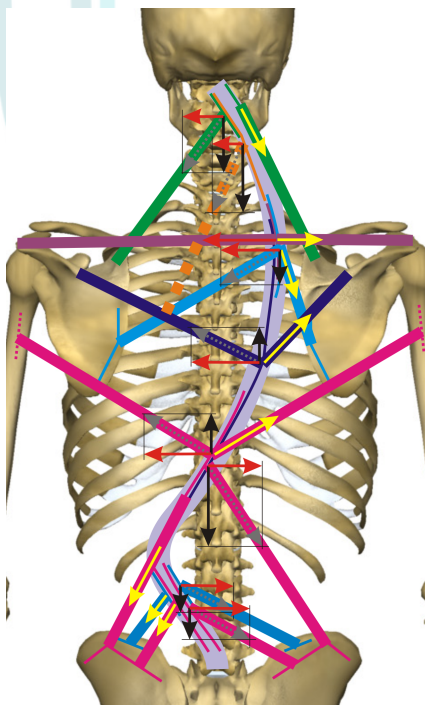


Figura 7.28 - Simulación recorrido columna vertebral: violeta claro; escalenos: naranja; elevador de la escápula: verde; fascículos medios trapecio: violeta; romboides: celeste; fascículos inferiores trapecio: azul oscuro; dorsal ancho: magenta; cuadrado de los lomos: azul. Ejemplo de escoliosis de doble curva. Los músculos del lado de la convexidad traccionan lateralmente las vértebras (flechas amarillas). Los músculos del lado cóncavo aumentan su intensidad en el intento de balancear el desplazamiento vertebral. La descomposición vectorial sobre las líneas de fuerza de los músculos de la concavidad evidencia cómo estos tengan un componente horizontal (flechas rojas) que se opone a la curva escoliótica y un componente vertical (flechas negras) que determina la acentuación. Terapéuticamente será entonces necesario disminuir el exceso de intensidad tanto de los músculos del lado de la convexidad como de aquellos de la concavidad.

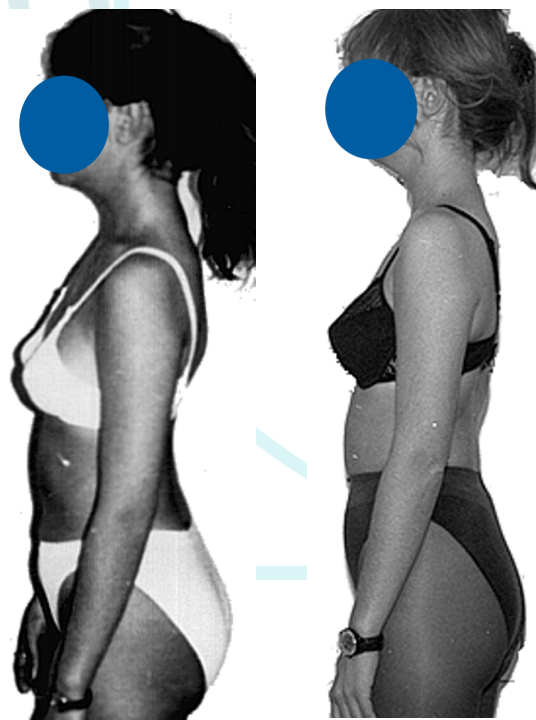
1.9 Implicaciones terapéuticas

La identificación de los vectores oblicuos dominantes en determinar el cuadro es siempre necesaria pero el tratamiento no puede dirigirse solo a estos, dado que el exceso de tensión afecta también a los músculos contralaterales y a los paravertebrales.

Será entonces necesario intervenir terapéuticamente tanto de los músculos del lado de la convexidad como de aquellos de la concavidad.

El abordaje bilateral es esencial para interrumpir el mecanismo de auto-perpetuación descrito.

1.10 Ejemplo clínico



Figuras de 7.29 a

7.34

- Paciente de 24 años. Al ingreso la paciente presentaba una escoliosis lumbar izquierda convexa D12-L4 de 10 grados y dorsal derecha convexa D5-D12 de 20 grados (foto ingreso paciente con ropa interior blanca y alta foto con ropa interior oscura). El tratamiento dirigido al reequilibrio vectorial de las fuerzas musculares actuantes en disminución de la Fuerza resistente a favor de la Fuerza de Trabajo ha producido una disminución de más del 60% de las curvas escolióticas. Evidentes las mejoras morfológicas tanto sobre el plano frontal como sagital (sobre el plano sagital la aparente cifosis está dada por la proyección posterior de la escápula, la columna, en realidad, se presentaba en total hipocifosis)

1.11 Clasificación sistemática de las acciones musculares

Considerando los músculos individuales vectorialmente dominantes, estos podrán tener efecto directo sobre la columna por roto-traslación gracias a sus inserciones, o provocar la desviación vertebral lateral como resultante mecánica de su acción sobre las cinturas y/o sobre el cráneo:

MÚSCULO	ACCIÓN DIRECTA	ACCIÓN INDIRECTA
Fascículo superior trapecio	Inclinación cabeza y elevación hombro homolaterales	Convexidad vertebral cervico-torácica contralateral
Esternocleidomastoideo	Elevación hombro y clavícula homolaterales, inclinación cabeza homolateral, rotación cabeza contralateral	Rotación cuerpos vértebras cervicales contralateral
Escalenos	Rotación cuerpos vértebras C1-C7 contralateral y convexidad homolateral	
Elevador de la escápula	Convexidad vértebras C1-C4 homolateral	
Romboides	Convexidad vértebras C6-D4 homolateral y rotación cuerpos vertebrales contralateral	
Fascículos medios trapecio	Convexidad vértebras C7-D3 homolateral y rotación cuerpos vertebrales contralateral	
Fascículos inferiores trapecio	Convexidad vértebras D2-D12 homolateral y rotación cuerpos vertebrales contralateral	
Dorsal ancho porción D7-D12	Convexidad vértebras D7-D12 homolateral y rotación cuerpos vertebrales contralateral	
Dorsal ancho porción húmero-cresta ilíaca	Elevación hemipelvis y descenso hombro homolaterales	Concavidad vértebras toraco-lumbares homolateral
Dorsal ancho porción L1-L5	Convexidad vértebras L1-L5 homolateral y rotación cuerpos vertebrales contralateral	
Cuadrado de los lomos	Convexidad vértebras L1-L4 homolateral y rotación cuerpos vertebrales contralateral	
Diafragma	Rotación vértebras L1-L4 contralateral y convexidad homolateral	

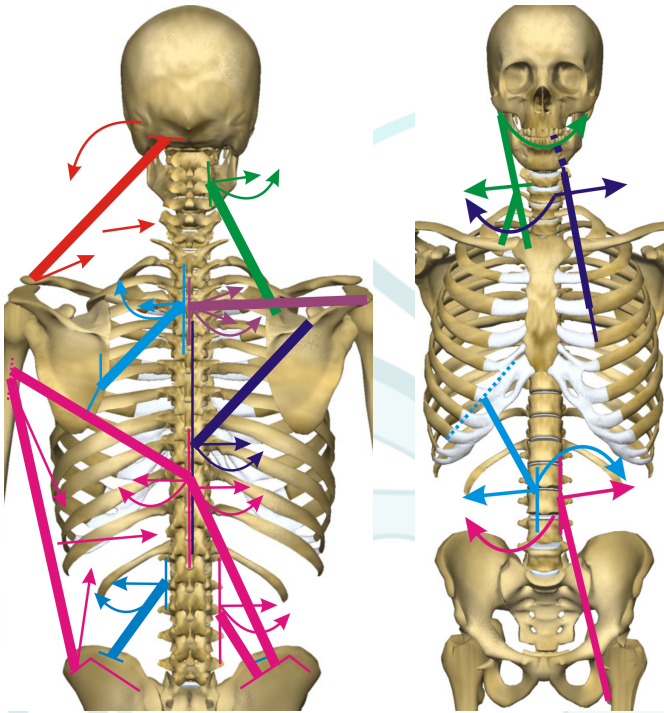
MÚSCULO

ACCIÓN DIRECTA

ACCIÓN INDIRECTA

Psoas

Rotación vértebras D12-L5 contralateral
y convexidad homolateral



Figuras 7.35 y 7.36 - Roto-traslaciones vertebrales inducidas por los músculos posteriores y anteriores. Vista posterior: fascículos superiores trapecio: rojo; elevador de la escápula: verde; fascículos medios trapecio: violeta; romboides: celeste claro; fascículos inferiores trapecio: azul oscuro; dorsal ancho: magenta; cuadrado de los lomos: celeste. Vista anterior: esternocleidomastoideo: verde; escalenos: azul; diafragma: celeste; psoas: magenta.

2. Síntesis del capítulo

El pasaje al plano tridimensional requiere metodologías específicas. El examen en posición supina elimina las compensaciones activas permitiendo identificar los acortamientos estructurales reales. La alineación del paciente sobre la línea media (maléolos-sínfisis-manubrio-occipucio) es esencial para una evaluación accurada.

La distinción entre convexidad y concavidad de una curva refleja mecanismos diversos. La convexidad deriva de tracción muscular directa sobre las vértebras y es vectorialmente dominante. La concavidad es resultante mecánica de desplazamientos de otros segmentos esqueléticos.

El dorsal ancho presenta dos cuadros principales. En el cuadro A los fascículos cresta ilíaca-húmero determinan concavidad vertebral homolateral por acercamiento mecánico de escápula y pelvis. En el cuadro B los fascículos con inserción vertebral producen convexidad homolateral por tracción directa. El cuadro B es clínicamente más frecuente.

La columna presenta cuatro curvas muscularmente independientes. Cada tramo tiene músculos específicos responsables de las desviaciones: cervical (elevador escápula/escalenos), cervico-torácico (romboides/trapecio medio), torácico (dorsal ancho), lumbar (cuadrado lomos/diafragma/psoas).

En las escoliosis la relación rotación/desviación tiene valor pronóstico. Cuando la rotación permanece opuesta a la convexidad (patrón fisiológico) existen márgenes de mejora con el trabajo muscular. Cuando rotación y convexidad son homolaterales la deformidad está estructurada.

Los mecanismos de auto-perpetuación estabilizan la escoliosis. Una vez instaurada la desviación, los componentes vectoriales cambian dirección. Los músculos contralaterales y los paravertebrales, en lugar de oponerse, contribuyen al mantenimiento de la curva.

Los músculos del lado cóncavo están paradójicamente acortados. Aunque estando en alargamiento relativo respecto a la posición inicial, el exceso de tensión en el intento de balancear las fuerzas opuestas determina acortamiento de los componentes conectivos.

Bibliografía

1. Lastrico M. *Clinical Assessment of Muscle Shortening*. CPD Certification Service; 2025.
2. Lastrico M. *Body Equilibrium – A Physical-Clinical Interpretation of Human Upright Stability*. CPD Certification Service; 2025.
3. Lastrico M. *Vector Analysis in Musculoskeletal Biomechanics – Part 1*. CPD Certification Service; 2025.
4. Lastrico M. *Vector Analysis in Musculoskeletal Biomechanics – Part 2*. CPD Certification Service; 2025.
5. Panjabi MM. The stabilizing system of the spine. *J Spinal Disord*. 1992.
6. Winter DA. *Biomechanics and Motor Control of Human Movement*. Wiley; 2009.
7. Knudson D. *Fundamentals of Biomechanics*. Springer; 2007.
8. Cools AM et al. *Scand J Med Sci Sports*. 2007.
9. Vasavada AN et al. *Spine*. 1998.
10. Keshner EA. *J Neurophysiol*. 2003.
11. Page P et al. *Assessment and Treatment of Muscle Imbalance*. Human Kinetics; 2010.
12. Neumann DA. *Kinesiology of the Musculoskeletal System*. Mosby; 2017.
13. Dubousset J. *The Pediatric Spine*. Raven Press; 1994.
14. McGill SM. *Low Back Disorders*. Human Kinetics; 2016.
15. Adams MA, Roughley PJ. *Spine*. 2006.
16. Roussouly P et al. *Spine*. 2005.
17. Hodges PW, Richardson CA. *Phys Ther*. 1997.
18. Kibler WB et al. *Sports Med*. 2013.
19. Ludewig PM, Reynolds JF. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2009.
20. Borstad JD. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2006.
21. Bogduk N. *Clinical Anatomy of the Lumbar Spine*. Elsevier; 2005.
22. Kapandji IA. *Physiology of the Joints*. Churchill Livingstone.
23. Hansen L et al. *Clin Biomech*. 2006.
24. Cholewicki J, McGill SM. *Spine*. 1996.
25. Weinstein SL et al. *Lancet*. 2008.
26. Stokes IAF. *Spine*. 1994.

27. Burwell RG et al. *Stud Health Technol Inform.* 2008.
28. Asher MA, Burton DC. *Spine.* 2006.
29. Lenke LG et al. *Spine.* 2001.
30. Bar-Yam Y. *Dynamics of Complex Systems.* Westview Press; 1997.

