

Biomecánica de la columna vertebral

Dr. Oliveira, C.; *Dr. Navarro García, R.; Dr. Ruiz Caballero, J. A.; Dra. Brito Ojeda, E.

*Director Coordinador; Doctorado: Avances en Traumatología, Medicina del Deporte y Cuidado de Heridas

Introducción

La columna vertebral humana es una estructura rígida, que permite soportar presiones, y a la vez flexible, lo que le da un gran rango de movilidad. Estos dos conceptos son antagónicos en sus funciones pero a lo largo de la evolución se han experimentado y el resultado es un equilibrio conveniente a las necesidades motoras del ser humano.

Este equilibrio, casi perfecto, se logra mediante los sistemas que interactúan para la obtención del resultado de estabilidad, protección, flexibilidad, elasticidad y gran movilidad de la columna vertebral.

Estos resultados son consecuencia de la combinación de cuatro importantes capacidades que se reúnen en nuestro cuerpo para darnos las tan amplias posibilidades motoras por las cuales se expresan nuestros movimientos: la rigidez, la estabilidad, la flexibilidad y la elasticidad.

Cualidades Fundamentales de la Columna Vertebral

La rigidez de las vértebras que aportan estabilidad de la postura esquelética, soportan las presiones en las zonas vertebrales y actúan como estuche de protección de la médula formando el canal medular.

La estabilidad articular esta a cargo de los ligamentos que actúan como estabilizadores de primero grado de las articulaciones, los músculos como estabilizadores de segundo grado y en tercero grado las adaptaciones y uniones anatómicas de las carillas e facetas articulares.

La flexibilidad de las articulaciones permiten, por si solas o en la suma del conjunto articular vertebral, un rango de movimiento con variables amplitudes, posibilitando los movimiento de flexión, extensión, lateral flexión derecha e iz-

quierda, y rotación también hacia ambos lados, así como los movimientos combinados de circunducción, flexión o extensión con rotación.

La elasticidad de las estructuras blandas que participan en la columna vertebral, está a cargo de los discos intervertebrales y músculos. Los discos amortiguan las presiones entre vértebras y en su forma anatómica son responsables por las curvas fisiológicas de lordosis cervical, cifosis dorsal, y lordosis lumbar. Los músculos proporcionan la capacidad motora de ejecución de los movimientos y la función de estabilización y mantenimiento de las posturas estáticas y dinámicas.

En el pleno funcionamiento y manifestación de estas cuatro cualidades que se reúnen en nuestro cuerpo, está el equilibrio necesario para la preservación y mantenimiento de la columna vertebral, proporcionando un aumento cronológico de sus capacidades funcionales.

Cuando una o más de estas cuatro funciones pierde o disminuye su aportación, producirá un desequilibrio que conlleva a desarreglos biomecánicos en la columna, resultando en sobrecargas de funciones sobre determinadas estructuras que, en situación de stress, sufren una disminución de sus capacidades funcionales y consecuentemente de su vida útil.

En consecuencia de este desequilibrio podrá producirse diversos tipos de lesiones y en diferentes grados de manifestación que resultan en las tan frecuentes algías de la columna vertebral.

Conceptos Anatómicos y Biomecánicos

El raquis está constituido por 31 a 33 piezas óseas o vértebras, que por sus variaciones morfológicas lo dividen en regiones distintas,

sendo 7 vértebras cervicales, 12 dorsales, 5 lumbares, 4 ó 5 sacrales y 3 ó 4 coccígeas.

Una vértebra típica se podría decomponer básicamente en 2 partes: un cuerpo vertebral por delante y un arco posterior por de tras.

El cuerpo vertebral es la parte más gruesa, tiene forma de cilindro aplastado con la cara posterior plana. El arco posterior es una especie de herradura en la que se sueldan a los lados las apófisis articulares quedando el arco dividido en dos porciones: la anterior que va del cuerpo vertebral al macizo de las apófisis articulares, es lo que llamamos el pedículo y la parte posterior que llamaremos la lamina. En la reunión de ambas láminas por detrás se encuentran las apófisis espinosas y finalmente emergiendo lateralmente de los macizos articulares se encuentran las apófisis transversas.

Mecánicamente se entenderá mejor la columna si la observamos como tres pilares, siendo uno grande anterior y dos pequeños posteriores. El pilar anterior está formado por la superposición de los cuerpos de las vértebras y los discos intervertebrales. Los pilares posteriores son las estructuras verticales del arco vertebral, articulación superior e inferior unidas por los istmos. El pilar anterior está unido a los dos posteriores a través de los pedículos que resultan ser estructuras de altísima resistencia. Los dos pilares posteriores están unidos entre sí por las láminas. Entre ellos queda delimitado el agujero vertebral, que en el segmento lumbar es amplio y en forma de triángulo equilátero. El conjunto de los agujeros vertebrales superpuestos constituye el conducto raquídeo.

El cuerpo vertebral resiste muy bien las fuerzas de compresión a lo largo de su eje vertical gracias a la disposición de sus trabéculas. Las

verticales unen los dos platillos vertebrales y las horizontales salen de ellos para atravesar el pedículo y dirigirse a las apófisis articulares y al arco posterior. Entre estos tres grupos queda una zona más débil formada por un triángulo de base anterior. La porción anterior del cuerpo vertebral es menos resistente que la posterior y en las lesiones por hiperflexión se hunde en este punto. La resistencia media a la fractura por compresión de los cuerpos vertebrales oscila entre los 600 y los 800 Kg. El cuerpo vertebral se fractura antes que el disco.

Esta resistencia disminuye con los años, con la disminución de la masa ósea que al caer un 25% disminuye su resistencia en 50%. La tasa de descenso del contenido mineral en el hueso es igual entre hombres y mujeres, aunque la mujer siempre presenta una tasa menor, siendo del 12% menos a la edad de 50 años.

Los huesos responden a las fuerzas aplicadas sobre su superficie siguiendo un patrón característico. La primera fase es elástica y depende de la rigidez del hueso. En esta fase, la deformación es temporal y se mantiene solo durante el tiempo de aplicación de la fuerza tras lo cual, el hueso recupera su forma original. Si la fuerza aumenta, se entra en una fase plástica y el hueso, aunque se recupera parcialmente, queda deformado. Por último cuando la fuerza aplicada es superior a la resistencia del tejido se produce la fractura.

La respuesta de tejido óseo frente a las fuerzas que se aplican sobre su superficie dependerá del tipo de fuerza, del tipo de hueso, así como de la densidad, arquitectura y composición del tejido óseo.

Las fuerzas que pueden actuar sobre el tejido óseo son de tres tipos: tensión, compresión y torsión. Además pueden ser aplicadas de forma perpendicular a la superficie ósea (fuerza normal) o de forma oblicua (fuerza de cizallamiento).

Los huesos largos, formados fundamentalmente por tejido óseo compacto o cortical, son elásticos y poco plásticos. En estos huesos, la resistencia será mayor cuando la fuerza se aplica de forma vertical al sentido de la car-

ga. Cuando la fuerza se aplica de forma oblicua la fase plástica se acorta y el hueso se fractura con más rapidez. En los huesos integrados por tejido óseo esponjoso, la resistencia es mayor cuando la fuerza se aplica a lo largo del eje vertical de las trabéculas vertebrales y también cuando paralela a los sistemas trabeculares del cuello femoral. Estos huesos, al ser menos densos que los formados por tejido óseo cortical, son menos elásticos y más plásticos, por lo que pueden presentar deformaciones mayores. Así mientras que en los huesos integrados por tejido esponjoso, las fracturas se producen cuando existen variaciones del 7% de su longitud, en los integrados por tejido compacto, las fracturas se producen con variaciones del 2%.

Aspectos Bioquímicos y Biomecánicos del Disco Intervertebral

En los espacios existentes entre cada vértebra encontramos el disco intervertebral.

El disco intervertebral es un elemento de fibrocartilago que une los cuerpos vertebrales y se compone de dos estructuras distintas. El núcleo pulposo y el anillo fibroso.

El núcleo pulposo se localiza en la parte central del disco, de una consistencia gelatinosa que deriva embriológicamente de la notocorda embrionaria, está formado por mucopolisacáridos y un 88% de agua, contiene algunas fibras colágenas dispuestas en tractos fibrosos pero carece de vasos y nervios. Tiene como función amortiguar las presiones intravertebrales a través de su capacidad hidráulica y elástica de absorber las cargas compresivas.

Alrededor del núcleo pulposo está el anillo fibroso, constituido por una serie de capas fibrosas concéntricas de colágeno que en su disposición y orientación permiten la sujeción del núcleo pulposo y la especial capacidad de resistir a las fuerzas de tracción.

El disco intervertebral tiene un papel fisiológico específico en la biomecánica de la columna vertebral: soportar y transmitir presiones.

Este papel depende por un lado de las propiedades físico-químicas

que posee la sustancia fundamental de mantener la presión osmótica y la permeabilidad hidráulica y, por otro lado de la conservación de las propiedades estructurales del disco, tales como el mantenimiento y correcta orientación de las fibras colágenas.

Pero este equilibrio y conservación de las estructuras físicas propias del disco a su vez dependen del equilibrio de su estructura bioquímica y de las proporciones que conserven sus componentes fundamentales: proteoglicanos, colágeno y agua.

Estos tres elementos pueden variar en cantidad o calidad según la zona del disco, sea más periférica o más central, según la edad y también dependiendo del grado de exigencia a que es sometido el disco o en el caso que sufra alguna lesión específica como infecciosa, traumática o tumoral.

Los Proteoglicanos

Están formados por una molécula proteica a la cual se unen dos tipos de glucosaminoglicanos (sulfato de condroitina y el sulfato de keratan).

En el disco joven los proteoglicanos se presentan en su mayor parte (60-80%) en forma de agregados, formados por la asociación de muchas moléculas de proteoglicanos con una molécula de ácido hialurónico, y la estabilidad de esta asociación la confiere una proteína (link-protein).

En el disco adulto la proporción de estos agregados es menor siendo de 20-30% en el núcleo y de 60% en el anillo fibroso. Eso ocurre debido que con el paso del tiempo los proteoglicanos pierden la facultad de agregarse.

Los proteoglicanos son los elementos que mantienen el equilibrio entre la concentración de agua y colágeno en el disco.

El Colágeno

Es una proteína fibrosa cuya unidad básica es una molécula de tropocolágeno orientada en forma de una triple hélice. Estas moléculas se agrupan para constituir fibras de diferente espesor. Los enlaces covalentes entre moléculas y fibras vecinas,

así como su orientación, confieren al colágeno la propiedad fundamental de resistir las fuerzas de tracción.

El Agua

Es el tercer elemento fundamental del disco. Según la zona o la edad, su proporción oscila entre 65 y 88% del volumen total de la zona discal en observación.

El agua se presenta en combinación íntima con los proteoglicanos aunque también hay una pequeña cantidad en el interior de las fibras de colágeno, entre las moléculas de de tropocolágeno. El agua sirve de transporte de las sustancias nutritivas (glucosa, oxígeno y aminoácidos) y también a los productos catabólicos (ácido láctico) que se mueven en uno u otro sentido por mecanismos de difusión molecular, influenciados hasta cierto punto por los gradientes a los que está sometido el disco.

Cuando la tasa de proteoglicanos disminuye por factores como, la edad o la degeneración discal, disminuye la presión de imbibición, y el cartílago sometido a presión pierde agua para compensar la disminución de proteoglicanos y llegar otra vez a un equilibrio entre sus componentes, lo que conlleva al mecanismo de deshidratación discal progresiva con el paso de la edad.

Anatomía Funcional del Raquis Cervical Cinético

Es posible observar tres niveles en el raquis cervical. En el primer nivel está el segmento superior cervicocéfalo, minuto de sostén y de movimientos de la cabeza, el cual está compuesto por el atlas y axis, vértebras desprovista de discos intervertebrales y que son el pivote cefálico. En el segundo nivel encontramos el segmento medio formado por las vértebras de C3 a C5 y en el tercero nivel se localiza un segmento inferior cervicodorsal constituido por las dos últimas cervicales C6 y C7 con la transición de la región cervical para la dorsal.

Las vértebras cervicales, cuando están en reposo en el curso de los movimientos, constituyen un trípode para las vértebras suprayacentes, que así dis-

puestas pueden desplazarse y asegurar la estabilidad de la cabeza. La porción principal del sostén está constituida por la columna anterior de los cuerpos vertebrales, reforzada por las dos columnitas de apófisis articulares. Los cuerpos vertebrales están inclinados hacia adelante y las interlineas articulares hacia atrás. Este el conjunto compone un sistema de distribución de las presiones verticales y un sistema de engranaje para cualquiera que sea la posición de la cabeza y el cuello.

En la flexión, el movimiento es detenido por la compresión del disco hacia delante y la extensión de los ligamentos amarillos e interespinosos hacia atrás. En la extensión, la amplitud del movimiento está limitado por la tensión del ligamento vertebral común anterior y por el contacto de las apófisis espinosas.

Las superficies de deslizamiento de las apófisis articulares superiores están en su mayoría orientadas de tal forma que C3 y C4 se inscriben en un círculo cuyo centro está situado por detrás del conducto vertebral. El centro del círculo se sitúa por delante del conducto vertebral para C6 y C7. Las superficies de C5 intermedias, son planas y no se escriben en un círculo.

Las caras articulares de una misma vértebra están aparejadas y los movimientos de rotación e inclinación se efectúan en sentido inverso para cada uno de ellas. La inclinación lateral y la rotación que están asociadas, se acompañan necesariamente de la elevación de un lado y descenso del otro.

La inclinación y la rotación para las vértebras C3 y C4, son iguales, mientras que para C6 y C7, la rotación es casi pura y se efectúa alrededor del eje vertical intermedio.

En el curso de los movimientos de flexión, extensión, flexión lateral o rotación, el cuerpo de la vértebra superior se desplaza ligeramente en la corredera cóncava formada lateralmente por las articulaciones uncovertebrales y constituye así con la cara superior del cuerpo vertebral un tipo de articulación en silla de montar.

El movimiento de flexión-extensión entre C2 y C7 alcanza 100°, pudiendo alcanzar 150° de amplitud de movimiento si la cabe-

za se moviliza sobre las dos primeras cervicales. La inclinación lateral es de 45° a cada lado y el movimiento asociado de rotación-inclinación o torsión de la cabeza aumenta 80° y aun a 90° de cada lado.

La libertad de movimiento que se obtiene en la columna cervical la caracterizan como el segmento más móvil del raquis.

Anatomía Funcional del Raquis Dorsal Cinético

La anatomía funcional de las vértebras dorsales se diferencia significativamente de las vértebras cervicales, estando constituida por los cuerpos vertebrales y por los discos, sin la constitución de un trípode de sustentación. Las apófisis articulares dorsales poseen una función de topes en los movimientos de flexión-extensión. Las apófisis espinosas, muy oblicuas, casi verticales, fijan el raquis en la posición correspondiente a la morfología del sujeto, sin grandes desplazamientos anteroposteriores; consecuentemente, la región dorsal es relativamente rígida. Las apófisis transversas, palancas laterales, están muy inclinadas hacia fuera y hacia atrás y están prolongadas por las costillas.

La relativa rigidez del conjunto vertebral y su relación con la caja torácica caracterizan el sistema vertebrocostal. La caja torácica es relativamente independiente debido a su función en el mecanismo respiratorio.

La orientación de las apófisis articulares determinan el movimiento

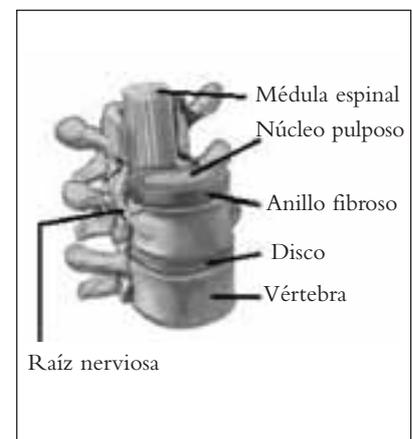


Figura 1

de flexión-extensión y la rotación. Dichas estructuras son sensiblemente verticales y se escriben en un círculo cuyo centro coincide con el centro del cuerpo de la vértebra.

Las apófisis articulares superiores constituyen segmentos de cilindro hueco. Por ellas se deslizan las apófisis articulares inferiores de las vértebras suprayacentes, que son como segmentos de cilindro macizo. En la extensión, se produce un movimiento de descenso que tiende a borrar la curvatura dorsal, y en la flexión hay un movimiento de ascenso del arco posterior que tiende a acentuar esta curvatura.

La flexión alcanza 40° y la extensión es de 15 a 20° en una columna aislada; en vivo, donde la columna es solidaria con la caja torácica, la amplitud total de la flexión no supera los 40°. En el curso de este movimiento, las dos primeras y las dos últimas vértebras torácicas son las móviles, representando la región del raquis al rededor de la cual se producen los movimientos de flexión-extensión. Se puede considerar que las vértebras de T5 a T9 son muy poco móviles; se dice que son vértebras cardiacas debido a su relación con el corazón.

La flexión lateral se acompaña del ascenso de la apófisis articular de un lado y del descenso de la del lado apuesto. Ese movimiento se limita por el contacto de las superficies y por la tensión de los ligamentos amarillos y alcanza de 23° a 30° de cada lado.

La rotación que se efectúa a nivel del raquis torácico es tanto más fácil cuanto más coincida el centro de rotación de la vértebra con el centro del disco. Las costillas, solidarias a la vez con otras costillas, con las vértebras y el esternón, limitan este movimiento, cuya amplitud por esta razón no rebasa los 35°.

Anatomía Funcional del Raquis Lumbar Cinético

Las vértebras lumbares están caracterizadas por sus destacadas apófisis transversas y espinosas, que son palancas de sus movimientos, y por la orientación sagital de sus apófisis articulares.

Las apófisis articulares limitan considerablemente los movimientos de flexión lateral. Las apófisis ar-

ticulares inferiores de la vértebra suprayacente se encajan entre las apófisis articulares superiores de la vértebra lumbar situada por debajo, asegurando así la solidez de la columna vertebral por encima del sacro. La flexión lateral se encuentra por vuelta de los 30°, de cada lado.

Las apófisis articulares se inscriben, como las de las cervicales y dorsales, en un círculo, de radio pequeño, cuyo centro se sitúa en el origen de la apófisis espinosa. La situación de este centro permitiría la rotación de la vértebra si no fuese impedida por la resistencia que opone hacia delante el disco intervertebral correspondiente, sometido en el curso de este movimiento a esfuerzos considerables de estiramiento. La rotación axial, por consiguiente, esta limitada a 5° de cada lado.

Debido a que están, inscritas en un círculo las apófisis articulares superiores constituyen un cilindro hueco en el cual se deslizan los segmentos de cilindro macizo de las apófisis articulares de la vértebra suprayacente, produciendo un desplazamiento vertical en el cilindro hueco en el curso de la flexión y extensión.

En la flexión, las apófisis articulares de las vértebras superior ascienden y el raquis lumbar rectifica su curvatura. Este movimiento alcanza una amplitud de 56° de flexión y en la extensión, se producen movimientos inversos alcanzando una amplitud de hasta 35°.

Anatomía del Raquis Sacro y Cóccix

El sacro transmite el peso del cuerpo a los miembros inferiores por intermedio de la cintura pélvica a través de las articulaciones sacroiliacas y forma con los dos huesos iliacos un anillo sólido. Debido a que las diferentes partes del sacro no poseen la misma función, solamente las dos primeras piezas sacras aseguran esta transmisión. Las tres últimas piezas sacras se unen al hueso ilíaco por los ligamentos sacrociáticos, que contribuyen a limitar el desplazamiento del sacro.

La porción vertical de la superficie auricular se mantiene fija por

dos grupos de ligamentos: los ligamentos superiores o craneales y los inferiores o caudales, que son perpendiculares al segmento vertical de la superficie auricular y se oponen a los movimientos de báscula del sacro bajo el peso de la columna vertebral y el peso del cuerpo.

El sacro esta fijo hacia atrás por los ligamentos interoseos, que le impiden bascular en el área del estrecho superior e igualmente se mantiene en su sitio por los ligamentos anteriores. Así mismo, el sacro esta fijo a la cavidad pélvica por los ligamentos sacrociáticos mayores y menores- Los ligamentos sacrociáticos se insertan en la porción libre no auricular del sacro y contribuyen a determinar la concavidad del hueso. Estos ligamentos tienen una gran importancia en la postura vertical, que se traduce a nivel del hueso ilíaco por el gran desarrollo de la espina ciática en el hombre.

El sacro se ajusta a manera de clave de la bóveda que forman los huesos iliacos en la posición vertical. No obstante, al observarlo en planos horizontales sucesivos, esta disposición general del sacro es un poco distinta.

La cara anterior de la primera vértebra sacra es más desarrollada que su cara posterior, de tal modo que toda presión de atrás hacia delante tiende a proyectar la porción alta del sacro hacia la cavidad pélvica, lo cual facilita su basculación hacia delante.

Con la segunda sacra ocurre el contrario: ligeramente más alta por detrás que por delante y por lo tanto menos cuneiforme en el sentido vertical. Se desplaza en sentido inverso que la primera sacra, es decir de adelante hacia atrás. Esta alineación opuesta de las dos primeras vértebras sacras limita su desplazamiento recíproco, deteniendo la basculación hacia delante de la primera sacra en el área del estrecho superior.

Ligamentos de la Columna Vertebral

Los ligamentos son los elementos estabilizadores pasivos en la columna vertebral.

A nivel del pilar anterior y situados entre los cuerpos vertebrales

se encuentran dos ligamentos: el ligamento longitudinal anterior y el ligamento longitudinal posterior.

El ligamento longitudinal anterior es una fuerte banda de fibras que se extiende a lo largo de la cara ventral de la columna vertebral, desde el cráneo hasta el sacro y cubre las caras anteriores de los cuerpos vertebrales y los discos intervertebrales. Está formado por diversos conjuntos de fibras de colágeno, siendo unas cortas y otras profundas, que saltan cada uno de los espacios intersomáticos y otras largas y superficiales que saltan dos, tres, o incluso cuatro espacios.

La principal función de este ligamento, a causa de su disposición longitudinal, es soportar las separaciones entre los cuerpos vertebrales, siendo más eficaz durante los movimientos de extensión de la columna, aunque su resistencia no es uniforme, ya que es más resistente en sus inserciones sobre los patillos vertebrales que entre ellas. Debido también a estar posicionado longitudinalmente, colabora en la oposición a los movimientos e deslizamiento hacia delante y atrás de los cuerpos vertebrales. El ligamento longitudinal anterior posee el doble de resistencia que el longitudinal posterior.

El ligamento longitudinal posterior, así como el anterior, se extiende a lo largo de toda la columna, siguiendo la cara posterior de los cuerpos vertebrales y los discos. Forma una banda estrecha central que se expande lateralmente en la parte posterior de los discos intervertebrales, dándole el aspecto de una cierra dentada. Las fibras del ligamento longitudinal posterior se mezclan con las del anillo fibroso. Las fibras más cortas y más profundas de este ligamento abarcan dos discos intervertebrales, insertándose proximalmente en la cara posterior de la vértebra y distalmente en la vértebra, dos niveles por debajo, describiendo una curva cóncava bilateral. Las fibras más largas y superficiales abarcan cuatro o incluso cinco vértebras.

Fundamentalmente, el ligamento longitudinal posterior se opone a la separación de las caras poste-

riores de los cuerpos vertebrales, pero, debido a su disposición poli-seguimentaria, esta acción se ejerce sobre varios cuerpos vertebrales y no sólo sobre uno.

Los ligamentos situados en el pilar posterior son el ligamento amarillo, el ligamento interespinoso y el supraespinoso. En esta zona también existen otros ligamentos, denominados falsos ligamentos: intertransversos, los transforaminales y los mamiloaccesorios.

El ligamento amarillo es una estructura ligamentosa par, corta y gruesa, que une las láminas de vértebras consecutivas. Su porción superior se origina en el borde inferior de la lámina de la vértebra superior. La porción inferior de cada ligamento se divide en dos partes, lateral y medial. La parte lateral pasa por delante de la cara anterior de la articulación cigapofisaria, a la cual refuerza. La parte medial se dirige hacia a la parte posterior de la lámina de la vértebra inferior y se inserta en la superficie rugosa situada en la parte superior de la cara dorsal de la lámina. Histológicamente, el ligamento amarillo está formado por un 20% de fibras de colágeno y un 80% de elastina. Por lo tanto, es esencialmente un ligamento elástico, en lo que difiere de todos los demás ligamentos de la columna.

Los ligamentos interespinosos unen entre sí las apófisis espinosas adyacentes, siendo que sus fibras más anteriores van desde la cara dorsal del ligamento amarillo hasta la parte más anterior del borde inferior de la apófisis espinosa, de la vértebra suprayacente. Las fibras medias forman la parte más importante de este ligamento y van desde la mitad del borde superior de la apófisis espinosa hasta la parte posterior del borde inferior de la apófisis espinosa de la vértebra superior. Las fibras más dorsales van de la parte posterior del borde superior de la apófisis espinosa a la parte posterior del borde superior de la apófisis espinosa de la vértebra suprayacente, constituyendo parte del ligamento supraespinoso.

Las fibras del ligamento supraespinoso se oponen a la separación de las apófisis espinosas y limitan los

movimientos de deslizamiento hacia delante de las articulaciones intersomáticas, aunque sólo entran en carga hacia el final de la flexión. Este ligamento y el supraespinoso ayudan a restringir el movimiento en la flexión pasiva, pero, si no actúan en combinación con la fascia lumbar, sólo pueden dar un 5% adicional de oposición a la flexión.

El ligamento supraespinoso está situado en la línea media, saltando entre los vértices de las apófisis espinosas y los espacios espinosos. Las fibras más posteriores del ligamento interespinoso forman parte del supraespinoso, uniéndose a las fibras que se insertan en el vértice de la apófisis espinosa. El ligamento supraespinoso se opone también a la separación de las apófisis espinosas, por lo que se oponen también a los movimientos de deslizamiento hacia delante de los cuerpos vertebrales y hacia el interespinoso.

El marcado ángulo lumbosacro, así como el hecho de que el espacio entre las apófisis espinosas de las dos últimas vértebras lumbares y las dos primeras sacras esté tan reducido en el ser humano, hacen que el ligamento supraespinoso describa una curva lordótica pegado a las apófisis vertebrales. Esta disposición del ligamento proporciona a la columna humana dos grandes ventajas. Por un lado, su brazo de palanca es muy grande (con respecto al centro de movimiento) y reduce la presión sobre el disco. Por otro lado, cuando el ligamento se tensa tiende a enderezar la porción entre L3 y S2, ya que el ligamento tira hacia atrás las apófisis espinosas de L4 y L5. Esta fuerza de cizallamiento hacia atrás tiende a minimizar la fuerza de deslizamiento anterior producida por el levantamiento de un peso.

Hay una serie de estructuras en la columna que se denominan ligamentos, aunque no se deberían considerarlos así. Los ligamentos intertransversos son hojas de tejido conectivo, que se extienden desde el borde superior de la apófisis transversa al borde inferior de la inmediatamente superior. A diferencia de otros ligamentos, faltan en el borde

lateral o medial y sus fibras de colágeno no tiene la misma densidad o disposición que las de los ligamentos verdaderos, y en apariencia se asemejan más a una membrana que a un ligamento. La única parte que se considera un ligamento real es el ligamento de Bourguery, que se extiende desde la base de la apófisis transversa hasta el tubérculo mamilar, a nivel de las vértebras lumbares. Estos ligamentos intertransversos forman unos aspectos que separan la musculatura anterior de la columna de la posterior y embriológicamente los ligamentos derivan del tejido que separa esta musculatura. La capa más anterior de esta membrana, o ligamento intertransverso, se confunde con parte de la fascia toracolumbar que cubre al músculo cuadrado lumbar y la capa más posterior con la aponeurosis del músculo transverso del abdomen, que formará la capa media de la mencionada fascia.

En la zona medial de cada espacio intertransverso el ligamento se divide en dos hojas. La hoja dorsal continúa en la hoja medial y se inserta en el margen lateral de la lámina de la vértebra. Inferiormente se confunde con la cápsula de la articulación interapofisaria adyacente. La hoja ventral se curva hacia delante y se extiende por la cara lateral de los cuerpos vertebrales hasta que se confunde con los márgenes laterales de los cuerpos vertebrales laterales del ligamento anterior. Forma una capa membranosa que incluye las terminaciones del agujero de conjunción, por lo que a este nivel existen dos perforaciones, una superior y otra inferior, que permiten el paso de los ramos nerviosos que van al músculo psoas, y el ramo anterior del nervio espinal y las ramas de las arterias y venas lumbares, respectivamente, en la región lumbar.

Los denominados ligamentos transforaminales son bandas estrechas de fibras de colágeno que atraviesan la parte más externa de los agujeros de conjunción. Existen varios tipos de ligamentos, dependiendo de las zonas que abarcan, sin significación mecánica. Estas estructuras están presentes sólo en el 47% y no se consideran verdaderos liga-

mentos porque se asemejan mucho más a bandas de fascia muscular y porque no unen huesos diferentes o incluso unen estructuras que no son óseas.

Por último, encontramos los denominados ligamentos mamiloaccesorios, ubicados sólo en la columna lumbar. Estas estructuras son unos tensores haces de fibras de colágeno, de espesor variable, que unen los vértices del tubérculo accesorio y el del mamilar de la misma vértebra, bajo el cual transcurre la rama medial del ramo posterior del nervio raquídeo. Por unir dos partes de un mismo hueso no se consideran ligamentos verdaderos, además de tener una estructura más parecida a la de los tendones que a la de los ligamentos. A nivel de L5 hay un 10% de los casos en los que el ligamento está total o parcialmente osificado, lo que lo convierte en un agujero óseo.

A nivel cervical existen unos ligamentos muy especializados que unen las C1-C2 y el occipital, los ligamentos alares y transversos, en forma de cruz y controlan las rotaciones en este segmento, con una resistencia de 350N.

A nivel torácico están los ligamentos entre las costillas y los ligamentos transversos, los costotransversos, de los cuales es el superior el que controla las flexiones laterales.

Los ligamentos de la columna presentan una abundante inervación que ha sido objeto de varios estudios en los últimos años. Se han identificado mecanorreceptores en el ligamento longitudinal anterior y en las dos o tres capas más periféricas del anillo. Parece ser que tienen importancia en la información sobre la postura. Al estar situados en la parte más anterior de la columna, intervienen en la postura antigravitatoria.

Músculos Profundos de la Columna Vertebral

Se sitúan mayoritariamente entre las apófisis espinosas y las transversas. La inervación de estos músculos se hace a través de ramas dorsales de los nervios espinales. Debido a su localización, estos músculos se agrupan en tracto lateral y tracto medial.

Tracto Lateral

El tracto lateral, que es superficial, se divide en sistema recto o intertransverso y sistema oblicuo o espinotransverso.

El sistema recto del tracto lateral se encarga de la erección del tronco y realiza flexión lateral (contracción unilateral) y extensión de la columna (contracción bilateral). Está formado por los siguientes músculos:

- músculos iliocostal lumbar, iliocostal del tórax, iliocostal del cuello, que también realizan la acción de rotar la columna.
- músculos longuísimo del tórax, longuísimo del cuello y longuísimo de la cabeza.
- músculos intertransversos laterales lumbares, intertransversos mediales lumbares, intertransversos del tórax, intertransversos posteriores del cuello, intertransversos anteriores del cuello.

Los músculos intertransversos se sitúan entre las apófisis transversas adyacentes, que juntamente con los músculos posturales, estabilizan las vértebras durante los movimientos de la columna vertebral, con el objetivo de permitir una acción más eficaz de los grupos musculares mayores; tiene acción extensora de la columna.

El sistema oblicuo del tracto lateral es responsable por la rotación de la cabeza y está compuesto por los siguientes músculos:

- músculos esplenio del cuello y esplenio de la cabeza también cumplen la función de rotación de la columna cervical y la cabeza hacia al mismo lado cuando realizan contracción unilateral, además de las funciones de los músculos del sistema recto.
- músculo recto lateral de la cabeza, que rota la cabeza lateralmente (contracción unilateral) y la extiende (contracción bilateral)
- músculos elevadores de las costillas, que realizan flexión lateral y rotación de la columna vertebral.

Tracto Medial

El tracto medial, más profundo, se divide en sistema recto y oblicuo. El sistema recto se compone de los siguientes músculos:

- músculos interespinosos lumbares, interespinosos del tórax, interespinosos del cuello, que discurren entre las apófisis espinosas adyacentes y forman una extensión segmentaria.
- músculos espinoso del tórax, espinoso del cuello y espinoso de la cabeza, que realizan flexión lateral (contracción unilateral) y extensión (contracción bilateral)

El sistema oblicuo sigue un trayecto convergente y oblicuo en sentido craneal y está formado por los siguientes músculos:

- Músculos rotadores que rotan (contracción unilateral) y extienden (contracción bilateral) la columna.
- Músculos multífidos, que flexionan lateralmente (contracción unilateral) y extensión (contracción bilateral).
- Músculos semiespinoso del tórax, semiespinoso del cuello, semiespinoso de la cabeza, que realizan rotación contralateral de la columna y de la cabeza (contracción unilateral) y extensión (contracción bilateral)
- Músculos recto posterior mayor y menor de la cabeza y los músculos oblicuos inferior y superior, que actúan de manera combinada y en conjunto con el músculo recto lateral de la cabeza, para la regulación fina de la posición y de la cinética de las articulaciones de la cabeza; se encargan de la rotación de la cabeza (contracción unilateral) y de la extensión de la cabeza (contracción bilateral).

Movimientos Articulares

El movimiento de la columna vertebral esta en función de los discos intervertebrales sinartrodiales y de las carillas articulares deslizantes diartrodiales. La orientación de la carilla articular hacia la

horizontal y la vertical indica el tipo y la magnitud del movimiento que cualquier unidad vertebral puede experimentar. La unidad vertebral, conforme indicado anteriormente, consiste en dos vértebras adyacentes y las respectivas estructuras de tejido conectivo como el disco intervertebral y los ligamentos.

Las dos primeras vértebras cervicales son elementos altamente especializados dedicados al sostén del cráneo. La primera llamada atlas, carece de cuerpo vertebral pero es un anillo óseo que rodea el agujero vertebral. En su superficie superior presenta dos grandes superficies articulares cóncavas que corresponden a los cóndilos occipitales del cráneo. Estas articulaciones atlanto-occipitales permiten que ocurra considerable flexión y extensión de la cabeza. Además de eso posee una cápsula laxa, pero se halla puentada por los ligamentos atlantooccipitales anterior, posterior y laterales. La segunda vértebra se denomina axis. Es también conocida como diente o apófisis odontoides, puesto que asciende verticalmente desde su cuerpo dentro del agujero vertebral del atlas, donde un ligamento muy grande la separa de la medula espinal. Esta apófisis sirve de pivote en torno del cual el atlas rota con bastante libertad, permitiendo la serie de movimientos como girar la cabeza o sacudirla de lado a lado.

En cambio, en el resto de la región cervical las carillas articulares tienen 45° de inclinación respecto al plano transversal (anterior a posterior) y en general se encuentran orientadas con el plano frontal. A causa de esta alineación particular las carillas articulares de la región cervical permiten flexión y la extensión en el plano sagital, la flexión lateral en el plano frontal y la rotación en el plano transversal. La excursión de la flexión y extensión varia mas o menos de 5° a 17°, la flexión lateral de 5° a 10° y la rotación de 8° a 12° para cada articulación diartrodial.

En la región torácica, durante el movimiento de rotación, las carillas articulares forman ángulos de hasta 60° con el plano transversal y de 20° con el plano frontal. Estas arti-

culaciones permiten una latero flexión de 7° a 10° por segmento y una rotación de 2° a 10°. Los ocho segmentos superiores permiten hasta 9° de rotación, pero esta cantidad reduce a unos 2° en los cuatro segmentos torácicos inferiores. La flexión y extensión, reducida todavía más por las costillas, se limita a unos 3° a 4° en los diez segmentos superiores pero puede llegar a 10° en los segmentos inferiores. El espesor de los discos intervertebrales también influye en la excursión del movimiento vertebral torácico.

En la región lumbar las carillas articulares pueden ser perpendiculares al plano transversal y formar un ángulo de hasta 45° con el plano frontal. A causa de esta alineación, la rotación en el plano transversal esta muy limitado por que es de 2° por segmento en todas las articulaciones excepto la ultima (L5-S1), que puede permitir hasta 4°. La flexión y extensión abarca desde 12° en las vértebras lumbares más laxas hasta 20° en las más bajas. La flexión lateral es de 3° a 8° por segmento.

Alteraciones Posturales de la Columna Vertebral

Sin duda, el dolor de espalda es uno de los males de nuestros días, y parte importante de su prevención, radica en una correcta educación e higiene postural.

Las alteraciones de la columna vertebral, representan en la actualidad un problema de Salud Pública, en general, y laboral, en particular, debido a su elevada incidencia, su poder invalidante, el alto índice de absentismo laboral que genera, y los altos costes sociales que se derivan de ellos. La columna vertebral puede deteriorarse fácilmente debido a su complicado mecanismo estructural. Para amenizar este proceso de desgaste y mantener una buena higiene postural es necesario considerar algunos conceptos que servirán para entender mejor la patología de la Columna bien como la influencia de las posturas en su aparición:

- Postura: Se define como la posición de todo el cuerpo o de

algún segmento del cuerpo en relación con la gravedad. La postura es el resultado del equilibrio entre las fuerzas musculares antigravitatorias y la gravedad.

- **Fuerza de la Gravedad:** Atracción mutua entre un objeto y la tierra en dirección vertical, siendo directamente proporcional al peso. Esta fuerza favorece los movimientos del individuo cuando se hacen a su favor, y los dificulta cuando se hacen en su contra.
- **Centro de Gravedad:** Punto teórico en el cuerpo sobre el que actúan las fuerzas de tracción y presión, y que se localiza más o menos a la altura de la 2ª vértebra lumbar. Es el punto que equivale a 55% del alto de la persona.
- **Línea de Gravedad:** Es la proyección vertical del centro de gravedad, con el sujeto puesto de pie en posición erecta. Puede considerarse como una línea vertical imaginaria que pasa a través del centro de gravedad y es perpendicular a la superficie de apoyo. Existe una línea de gravedad anteroposterior y una línea de gravedad lateral.
- **Superficie de Apoyo:** Constituida por el apoyo plantar y determinada por la separación de ambos pies.

La fuerza que ejerce la gravedad sobre el cuerpo humano debe ser equilibrada por el esfuerzo continuo de los músculos sobre el esqueleto, con el objetivo de oponerse a esta fuerza y mantener el equilibrio.

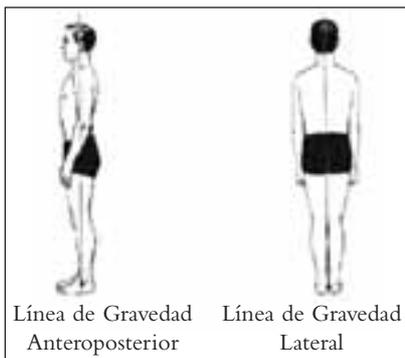


Figura 2

La postura de cada individuo tiene características propias, y está determinada por factores diversos como el tono y el trofismo muscular, el estado de los ligamentos, los contornos óseos, etc. Para mantener el cuerpo en posición erecta, se necesita un equilibrio muscular adecuado entre la musculatura anterior de nuestro cuerpo, la abdominal y la dorsal que recubre la columna. Una postura correcta implica mantener el cuerpo bien alineado en cualquiera de las posiciones que puede adoptar. Si las líneas de gravedad antero- posterior y lateral no pasan por los puntos correctos de nuestro cuerpo, es porque existe un desequilibrio de ambas partes del mismo, ocasionado a veces por las malas posturas, y que puede terminar por desencadenar determinadas deformidades patológicas como escoliosis, hipercifosis e hiperlordosis. Así, podemos definir varios tipos de posturas: excelente, buena, pobre y mala.

La postura excelente es aquella en que la cabeza y los hombros están equilibrados con la pelvis, caderas y rodillas; con la cabeza erguida y la barbilla recogida. El esternón es la parte del cuerpo que está más hacia adelante, el abdomen está recogido y plano, y las curvas de la columna están dentro de los límites normales. La postura buena se aproxima a la anterior, sin llegar a su perfección, mientras que la postura pobre es intermedia entre la buena y la mala.

En la postura mala, cuando observamos de perfil, la cabeza está hacia delante o hacia atrás, el tórax deprimido, el abdomen en relaja-

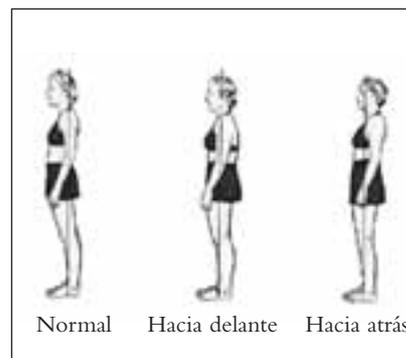


Figura 3. Equilibrio anteroposterior

ción completa y protuberante, las curvas raquídeas son exageradas o disminuidas, y los hombros están sostenidos por detrás de la pelvis o por delante.

Trabajo Muscular

La adquisición de la postura erecta produce importantes adaptaciones no sólo en los sistemas esquelético, circulatorio, respiratorio y nervioso, sino que también en la musculatura del tronco y las piernas debe ajustarse a esta postura, especializándose en algunos casos en la importante misión de mantener el centro de gravedad dentro de la base de sustentación. Estos músculos más especializados son los llamados músculos antigravitatorios que ejecutan fundamentalmente un trabajo estático con mucha resistencia y poca capacidad para generar movimientos amplios.

El objetivo de la adecuación que ha sufrido la musculatura es mantener en extensión las extremidades inferiores para que sean un soporte firme de todo el cuerpo. Esto supone un aumento de volumen respecto a nuestros antecesores de todos los músculos responsables de esta acción, entre los que destacaremos el glúteo mayor a nivel de la cadera, el cuádriceps a nivel de la rodilla y el tríceps sural al nivel del tobillo, aunque debemos entender el esqueleto como un conjunto de cadenas musculares entrelazadas que trabajan sinérgicamente. A nivel de la columna la función de la musculatura es mantener las curvas fisiológicas que se han establecido durante la evolución y a nivel de la pelvis la musculatura perineal debe soportar todo el peso viceral.

El mantenimiento de la postura erecta se consigue mediante factores esqueléticos, ligamentosos y sobre todo musculares. Entretanto, no sólo la capacidad de resistencia y fuerza de la musculatura se hace importante en la postura. Hay otro factor muscular que es fundamental para el sostén de una buena postura: el mantenimiento de su capacidad elástica, que le permite la disminución de las tensiones y la con-

servación de la acción de las cadenas musculares que participan en el mantenimiento de las curvas fisiológicas de la columna, así como la conservación de los espacios vertebrales, impidiendo el desequilibrio biomecánico de las fuerzas que actúan en la columna como un todo y en su unidad funcional.

Conclusión

Cuando se establece el desequilibrio entre la capacidad de fuerza y resistencia y la capacidad de flexibilidad articular y elasticidad muscular, hemos observado la manifestación de desarreglos posturales que, de una forma global o aislada, producirán una sobrecarga en determinadas estructuras que, sometidas a un stress, darán inicio a

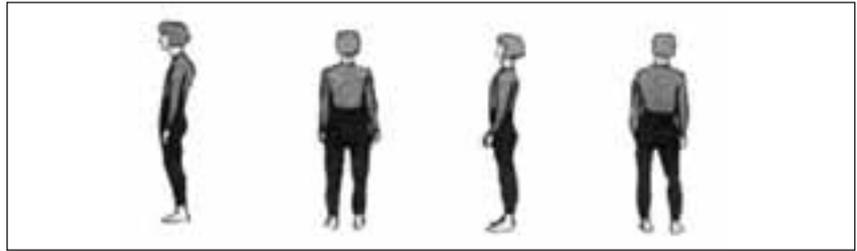


Figura 4. Postura incorrecta

alteraciones estructurales que afectaran la capacidad funcional de la columna vertebral y del complejo sistema óseo, articular, muscular, ligamentoso, nervioso y discal, que en sus funciones trabajan para resistir las cargas, proteger las estructuras nerviosas, mantener las posturas en situaciones estáticas o dinámicas, conservar su movilidad y buena amplitud articular y su capacidad elástica para la realización de

los movimientos y recuperación de la musculatura a su estado original.

Sendo así el mantenimiento de la capacidad de fuerza, resistencia, elasticidad y flexibilidad conjuntamente con la revisión de hábitos diarios pueden a través de una educación preventiva o correctiva de la postura, proporcionar un mayor cuidado de la vida útil de la columna vertebral.

BIBLIOGRAFÍA

- BOGDUK, N.: The lumbar mamilo-accessory ligament. Its anatomical and neurosurgical significance. *Spine* 1981; 6: 162-167.
- BOGDUK, N.; TWOMEY, L.T.: *Clinical Anatomy of the Lumbar Spine*. Melbourne: Churchill Livingstone, 1991.
- BYERS, P.D.; WOODS, C.G.: The Growth, Architecture and Structure of Bone. En: *Diseases of Bones and Joints*. Salisbury JR, Woods CG and Byers PD, eds. Londres: Chapman & Hall Medical, 1994; 509-526.
- COSENTINO, R.: Raquis - semiología con consideraciones clínicas y terapéuticas. El Ateneo. Argentina. 1986.
- DVORÁK, J.; SCHNEIDER, E.; SALDINGER, P.; RAHN, B.: Biomechanics of the craniocervical region: the alar and transverse ligaments. *J Orthop Res* 1988; 6: 452-461.
- EVANS, J.H.; NACHEMSON, A.L.: Biomechanical Study of Human Ligamentum Flavum. *J Anat* 1969; 105: 188-189.
- FARFAN, H.F.; HUBERDEAU, R.M.; DUBOW, H.I.: Lumbar Intervertebral Disc Degeneration. *J. Bone Joint Surg.*, 54 A: 492, 1972.
- FARFAN, H.F.: The biomechanical advantage of lordosis and hip extension for upright activity: man as compared with other anthropoids. *Spine* 1978; 3: 336-342.
- GOLUB, B.S.; SILVERMAN, B.: Transforaminal ligaments of the lumbar spine. *J Bone Joint Surg* 1969; 51: 947-956
- HINDLE, R.J.; PEARCY, M.J.; CROSS, A.T.; MILLAR, D.H.T.: Three-dimensional kinematics of the human back. *Clin Biomech* 1990; 5: 218-228.
- HIRSCH, C.; INGELMARK, B.E.; MILLER, M.: The Anatomical Basis for Low Back Pain. *Acta Orthop. Scand.*, 33: 1, 1963.
- JIANG, H.; RASO, J.V.; MOREAU, M.J.; RUSSELL, G.; HILL, D.L.; BAGNALL, K.M.: Quantitative morphology of the lateral ligaments of the spine. Assessment of their importance in maintaining lateral stability. *Spine* 1994; 19: 2676-2686.
- KNOPLICH, J.: *Enfermedades da columna vertebral*. Panamed, Sao Paulo, 1982.
- MIRLES, R.: *Biomecánica clínica del aparato locomotor*. Masson, Barcelona. 1998.
- NACHEMSON, A.: The Influence of Spinal Movements on the Lumbar Intradiscal Pressure and on the Tensile Stresses in the Annulus Fibrosus. *Acta Orthop. Scand.*, 33: 183, 1963.
- NUEMANN, P.; KELLER, T.S.; EKSTRÖM, L.; PERRY, L.; HANSSON, T.H.: Mechanical Properties of the Human Lumbar Anterior Longitudinal Ligament. *J. Biomech* 1992, 25: 1185-1194.
- PANJABI, M.M.; GOEL, V.K.; TAKATA, K.: Physiologic Strains in the Lumbar Spinal Ligaments. *An In Vitro Biomechanical Study. Spine* 1982; 7: 192-203.
- PASTRANA, R.: *Dolor de espalda y rehabilitación*. Ferjisa. Madrid. 1989
- PEYRON, J.G.: *Biologie du Disc Intervertebrale*. Sem. Hop., París, 43: 3318, 1967.
- RHALMI, S.; YAHIA, H.; NEWMAN, N.; ISLER, M.: Immunohistochemical study of nerves in lumbar spine ligaments. *Spine* 1993; 18: 264-267.
- ROBERTS, S.; EISENSTEIN, S.N.; MENAJE, J.; EVAS, E.H.; ASHTON, I.K.: Mechanoreceptors in intervertebral discs. Morphology, distribution, and neuropeptides. *Spine* 1995; 20: 2645-2651.
- SIKORYN, T.A.; HUKIS, D.W.L.: Mechanism of failure of the ligamentum flavum of the spine during in vitro tensile test. *J Orthop Res* 1990; 8: 586-591.
- TEITELBAUM, J.D.: Molecular defects of Bone Development. En: *Primer on the Metabolic Bone Diseases and Disorders of Mineral Metabolism*, Second Edition. Favus MJ. ed. New York: Raven Press, 1993; 10-14.
- TWOMEY, L.T.; TAYLOR, J.R.: Sagittal moventes of the human lumbar vertebral column: a quantitative study of the role of the posterior vertebral elements. *Arch Phys Med Rehab* 1983; 64: 322-325
- YAHIA, L.H.; NEWMAN, N.; RIVARD, C.H.: Neurohistology of lumbar spine ligaments. *Acta Orthop Scand* 1988; 59: 508-512.