

Relación entre la degeneración discal, el dolor y la estabilidad lumbar

Relationship between disc degeneration, pain and lumbar stability

Relation entre la dégénérescence discale, la douleur et la stabilité lombaire

Horacio Inocencio Tabares Neyra¹
Juan Miguel Díaz Quesada²
Horacio Tabares Sáez²
Laura Tabares Sáez²

¹ Centro de Investigaciones en Longevidad, Envejecimiento y Salud. La Habana, Cuba.

² Hospital General Docente "Calixto García Iñiguez". La Habana, Cuba.

RESUMEN

Introducción: El envejecimiento y la degeneración producen cambios en la columna vertebral que se inician en el disco intervertebral. Los discos dejan de cumplir sus funciones (movimiento y resistencia de las cargas), lo que provoca dolor y posible pérdida de estabilidad mecánica.

Objetivo: Valorar lo publicado acerca de la degeneración del disco intervertebral y su relación con el dolor y la estabilidad de la columna lumbar.

Métodos: Se revisaron los principales avances relacionados con la degeneración discal y su influencia sobre los mecanismos de estabilidad vertebral y en la ocurrencia del dolor. Se consultaron artículos publicados en PubMed, en idioma inglés, desde 2012 hasta 2017. Igualmente se examinaron artículos accesibles de forma libre o a través del servicio Clinical Key y Hinari. Se tuvo en cuenta algunos artículos que sobrepasan los 5 años de antigüedad, pero que son claves en el tema tratado.

Resultados: La degeneración, que inicia en los discos intervertebrales y continúa en las articulaciones facetarias, estimula el proceso compensatorio vertebral, lo que incide en la degeneración de los ligamentos y en la musculatura vertebral lumbar. Esta secuencia de tipo degenerativo influye sobre la estabilidad de la columna vertebral lumbar y ocasiona sintomatología clínica y funcional.

Conclusiones: La degeneración discal afecta la estrecha relación y coordinación entre los subsistemas estructural pasivo, móvil activo y regulador nervioso, provoca dolor y afecta la estabilidad vertebral.

Palabras clave: degeneración discal; degeneración de ligamentos; afectación muscular; zona neutra; estabilidad vertebral.

ABSTRACT

Introduction: Aging and degeneration produce changes in the spine that start in the intervertebral disc. The disks stop fulfilling their functions (movement and resistance of the loads), which causes pain and possible loss of mechanical stability.

Objective: To assess what has been published about the degeneration of the intervertebral disc and the relationship with pain and stability of the lumbar spine.

Methods: The main advances related to disc degeneration and its influence on the mechanisms of vertebral stability and the occurrence of pain were reviewed. Articles published in English in PubMed from 2012 to 2017 were consulted. Free access articles, Clinical Key and Hinari articles were examined, likewise. Some articles older than 5 years were taken into account, but which are relevant to this subject.

Results: Degeneration, which starts in the intervertebral discs and continues in the facet joints, stimulates the vertebral compensatory process, which affects degeneration of ligaments and lumbar vertebral musculature. This sequence of degenerative type influences the stability of the lumbar spine and causes clinical and functional symptomatology.

Conclusions: Disc degeneration affects the close relationship and coordination between the subsystems structural passive, active mobile and nervous regulator subsystems. It causes pain and affects the vertebral stability.

Keywords: disc degeneration; ligament degeneration; muscular involvement; neutral zone; vertebral stability.

RÉSUMÉ

Introduction: Le vieillissement et la dégénérescence entraînent des changements rachidiens qui débutent au niveau des disques intervertébraux. Les disques perdent leurs fonctions (mouvement et résistance aux charges), ce qui déclenche la douleur et la possible perte de la stabilité mécanique.

Objectif: Le but de cette revue est d'évaluer ce qui est publié sur la dégénérescence des disques intervertébraux et son association avec la douleur et la stabilité de la colonne lombaire.

Méthodes: Les principales questions concernant la dégénérescence discale et son impact sur les mécanismes de stabilité vertébrale et de survenue de la douleur sont passées en revue. Des articles publiés en PubMed, en langue anglaise, depuis 2012 jusqu'à 2017, ont été consultés. On a également examiné les articles accédés de

manière libre ou à travers les ressources Clinical Key et Hinari. On a tenu compte de quelques articles publiés il y a plus de 5 ans, mais étant essentiels pour aborder ce sujet.

Résultats: La dégénérescence, née dans les disques intervertébraux et étendue vers les articulations, déclenche un processus de compensation vertébrale qui a un impact sur la dégénérescence des ligaments et sur la musculature des vertèbres lombaires. Cette séquence de type dégénératif influe sur la stabilité de la colonne lombaire, et provoque une symptomatologie clinique et fonctionnelle.

Conclusions: La dégénérescence discale trouble la relation et la coordination étroites entre les sous-systèmes (passif, actif et neuromusculaire), provoque la douleur, et affecte la stabilité vertébrale.

Mots clés: dégénérescence discale; dégénérescence des ligaments; trouble musculaire; zone neutre; stabilité vertébrale.

INTRODUCCIÓN

La columna vertebral debe conciliar dos imperativos mecánicos contradictorios: estabilidad y flexibilidad. La estabilidad garantiza la protección de la médula espinal y el soporte del tronco. La flexibilidad se logra gracias a la configuración de múltiples piezas superpuestas (vertebras y discos intervertebrales), unidas y articuladas entre sí mediante elementos ligamentosos y musculares.¹

A mediados del siglo XX comenzó a utilizarse en la clínica el vocablo "inestabilidad" para referirse a determinados fallos mecánicos no específicos de la columna vertebral que no se relacionaban con artritis o infecciones del raquis. La entrada de los bioingenieros en las investigaciones sobre la biomecánica vertebral produjo que estos se apropiaran del término y comenzara la interpretación de los mencionados fallos mecánicos desde un punto de vista literalmente ingenieril. Ellos validaron estos fallos con fenómenos que ocurren en otras articulaciones como la rodilla y el hombro.²

White y Panjabi definieron la inestabilidad clínica de la columna como la pérdida de la habilidad de la columna para mantener los patrones de desplazamiento bajo cargas fisiológicas sin iniciar un déficit neurológico adicional. Por su parte, hay estabilidad cuando los elementos óseos, ligamentosos y musculares de la columna vertebral cumplen con sus funciones ortostáticas, ortocinéticas y de protección de las estructuras nerviosas y vasculares que cursan por sus canales.³

Kirkaldy-Willis y Farfan fueron los primeros en proponer que los cambios iniciales de la degeneración discal conllevan a que el segmento espinal sea menos estable; y que la progresión de la degeneración produce estabilidad. Esa hipótesis plantea que la inestabilidad es la causa de dolor en la espalda baja.⁴

Estudios recientes se han dedicado a determinar el efecto de la degeneración del disco intervertebral en la estabilidad de la columna lumbar.⁵

Es propósito de este artículo, valorar lo publicado acerca de la degeneración del disco intervertebral y su relación con el dolor y la estabilidad de la columna lumbar.

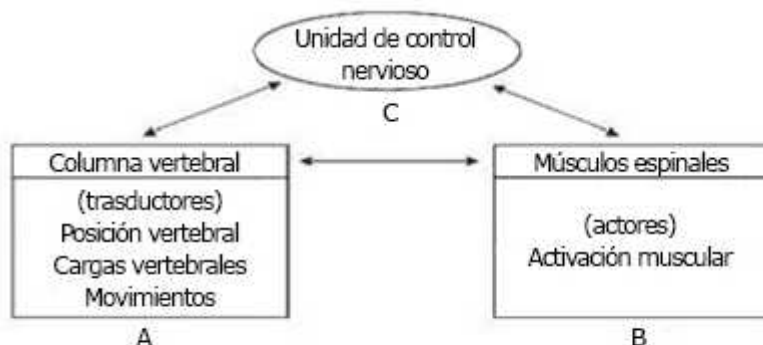
ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA Y CRITERIO DE SELECCIÓN

Se revisaron los principales avances relacionados con la degeneración discal y su influencia sobre los mecanismos de la estabilidad vertebral y en la ocurrencia de dolor. Se consultaron artículos publicados en PubMed, en idioma inglés, desde 2012 hasta 2017. Se emplearon en la búsqueda los términos "degeneración del disco intervertebral", "degeneración discal y dolor", "degeneración discal e inestabilidad". Igualmente se revisaron artículos accesibles de forma libre o a través del servicio Clinical Key y Hinari. Se añadieron algunos artículos que sobrepasan los cinco años de antigüedad, pero que son claves en el tema tratado.

DESARROLLO

En sus trabajos, *Panjabi* estableció que el sistema básico de estabilización de la columna vertebral cuenta con tres subsistemas que interactúan entre sí (Fig. 1):¹

- A. Subsistema pasivo, integrado por las vértebras, los discos y los ligamentos.
- B. Subsistema activo, constituido por la totalidad de los músculos y tendones que rodean la columna y aplican fuerzas sobre ella.
- C. Subsistema nervioso, formado por los nervios periféricos y el sistema nervioso central que determinan los requerimientos para la estabilidad espinal; modulan y envían las señales al subsistema activo.



Fuente: Panjabi MM. The stabilizing system of the spine. Part I. Function, dysfunction, adaptation and enhancement. *J Spinal Disord.* 1992;5:383-9.

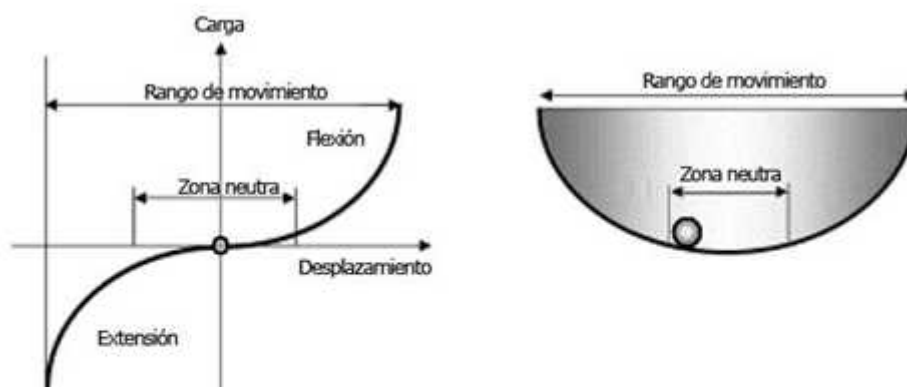
Fig. 1. Sistema de estabilización espinal.

La disfunción, en alguno de los componentes de los tres subsistemas, conduce a las siguientes posibilidades:

- I. Inmediata respuesta de otros subsistemas en la búsqueda de una compensación.
- II. Respuesta de adaptación a largo plazo de uno o más subsistemas ante la inestabilidad creada.
- III. Daño de uno o más componentes de algún subsistema.

En la primera respuesta (I), el resultado es la función vertebral lumbar normal, pero con sobrecarga. En la segunda (II), la función es normal, pero con el sistema de estabilización espinal alterado morfológicamente, y en la tercera (III) se produce disfunción de todo el sistema de estabilización vertebral, con daño anatómico permanente, lo que genera dolor lumbar crónico.

Otro aporte importante de *Panjabi* es su hipótesis sobre la zona neutra y la inestabilidad (Fig. 2).² La zona neutra es la porción del movimiento intervertebral alrededor de la postura neutra. Es cuando la columna vertebral ofrece menor resistencia (estado de reposo). Sus estudios en animales, cadáveres y simulaciones matemáticas demostraron que la zona neutra es un parámetro que se correlaciona con otros que indican inestabilidad en el sistema espinal. La zona neutra disminuye con el incremento de la fuerza muscular alrededor del segmento vertebral involucrado y la fijación con instrumentación.^{2,3}



Fuente: Panjabi MM. Clinical spinal instability and low back pain. Journal of Electromyography and Kinesiology. 2003;13:371-9.

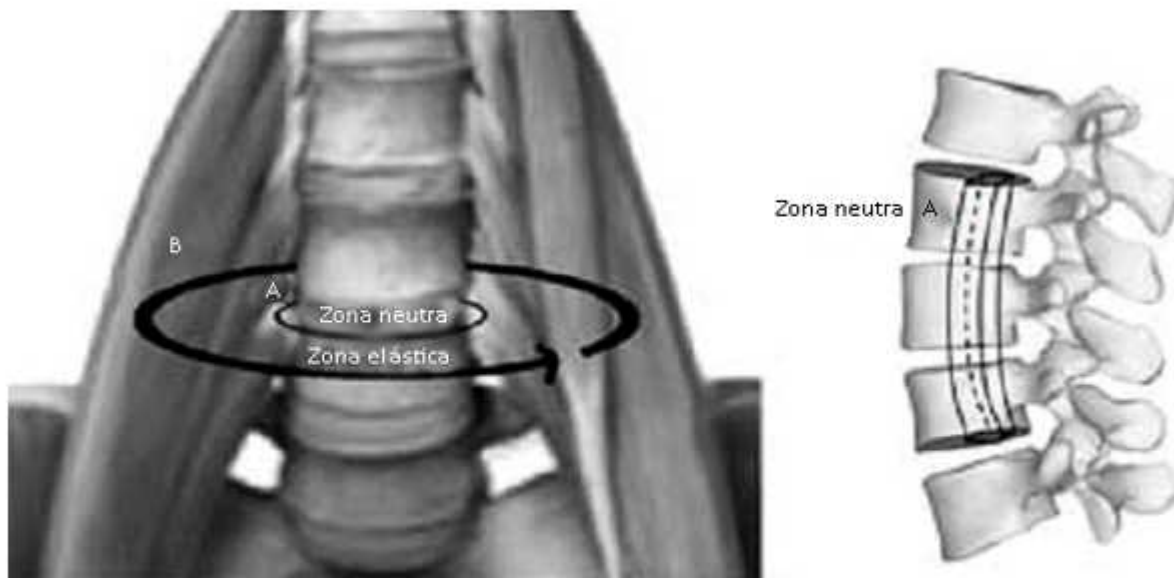
Fig. 2. Representación de la zona neutra.

En algunos estudios se ha demostrado que los cambios en la zona neutra son más valiosos y útiles para el diagnóstico de inestabilidad que los cambios en el rango de la movilidad intervertebral total (Fig. 3).³ La zona neutra es una medida útil para determinar la función del sistema de estabilidad espinal. Disminuye de sus límites fisiológicos por producirse fusión vertebral quirúrgica o osteofitosis, e, incluso, por el fortalecimiento de los músculos alrededor de un segmento específico.²⁻⁴

Al establecer la zona neutra como elemento clave en la determinación de la estabilidad, a partir de especímenes cadavéricos y animales, *Panjabi* redefinió el concepto de inestabilidad. Es la habilidad del sistema estabilizador vertebral para mantener dentro de límites fisiológicos la zona neutra de las unidades espinales funcionales sin que se produzcan deformidades, déficit neurológico o dolor.⁵ En esta definición la calidad del movimiento es más importante que el incremento del rango total de la excursión articular en el diagnóstico de inestabilidad.

En el subsistema pasivo, dentro del sistema básico de estabilización vertebral, el hueso, los discos y los ligamentos juegan un rol estructural intrínseco en el control de la zona elástica cercano a las partes extremas del movimiento normal.¹ El hueso, los discos, los ligamentos y las cápsulas articulares contienen mecanorreceptores que actúan como transductores, envían un flujo continuo de información propioceptiva relativa a cargas, movimientos y postura desde cada

unidad funcional vertebral al sistema nervioso central, lo que se replica en una acción muscular coordinada de respuesta.^{1,5}



Fuente: Panjabi MM. A hypothesis of chronic back pain: ligament subfailure injuries lead to muscle control dysfunction. Eur Spine J. 2006;15:668-76.

Fig. 3. Rango de movimiento vertebral, que se divide en: A- zona neutra, donde el movimiento inicia con poca resistencia y B- zona elástica, donde el resto del movimiento ocurre contra resistencia alta.

El subsistema activo y el sistema nervioso central controlan, esencialmente, la zona neutra de movimiento de las unidades funcionales vertebrales donde la resistencia es mínima.¹ La degeneración o alguna lesión traumática en el hueso o las partes blandas de la columna lumbar provocan incremento del rango de movimiento y de la zona neutra, lo que aumenta la demanda sobre los músculos y el sistema nervioso para preservar la estabilidad segmentaria.¹

Durante las actividades diarias, la columna lumbar normalmente soporta cargas verticales de 500-1000 N, aproximadamente dos veces el peso corporal, y, en ocasiones, más de 5000 N.⁶

El subsistema de estabilización pasivo vertebral depende, estructuralmente, de:

- La arquitectura vertebral y la densidad mineral ósea
- Los discos intervertebrales
- Las articulaciones facetarias
- Los ligamentos
- Las curvas fisiológicas de la columna

La capacidad de los cuerpos vertebrales para resistir cargas depende de su forma y tamaño. El cuerpo vertebral se compone, principalmente, de un hueso esponjoso con una estructura de panal tridimensional similar a las alas de avión, que brinda una mejor relación fuerza / peso.⁷

El aumento progresivo del tamaño de los cuerpos vertebrales en la columna vertebral lumbar es la única respuesta fisiológica al aumento de las cargas de peso que ocurren en igual sentido, con una fuerza media que oscila entre 2000 N en el segmento cervical y 8000 N en la columna lumbar.⁸

El hueso esponjoso de los cuerpos vertebrales lumbares tiene cuatro sistemas trabeculares principales con orientación constante:⁷

- Un sistema vertical que se extiende entre las placas terminales de los cuerpos, que acepta y transmite las cargas verticales.
- Un sistema horizontal en el arco posterior que se une a las apófisis transversas.
- Dos sistemas oblicuos curvos, superior e inferior, que parten de las placas terminales y cruzan los pedículos para terminar en las apófisis articulares y las espinosas. Su función es soportar las fuerzas de cizallamiento horizontal y unir el arco al cuerpo vertebral.

La resistencia del hueso esponjoso también depende de la densidad mineral ósea (DMO). La pérdida ósea en la osteoporosis representa una reducción exponencial desproporcionada de la resistencia (una pérdida ósea de 25 % conduce a una reducción de la resistencia de alrededor de 50 %).⁸

Existe una fuerte y continua correlación entre la DMO espinal y el riesgo de sufrir una fractura, sin que exista un umbral definido del valor de la DMO en el que se producirá la falla vertebral.⁸

En los adultos mayores, debido al colapso degenerativo del disco, las fuerzas ya no se distribuyen uniformemente sobre las placas terminales. A su vez, las facetas articulares posteriores asumen mucho más la carga durante la postura erguida de pie. Esta disminución relativa del estrés sobre los cuerpos vertebrales anteriores debe favorecer la pérdida ósea y el debilitamiento del hueso, pues, según la ley de Wolff, los huesos adaptan su masa y arquitectura en respuesta a la magnitud y dirección de las fuerzas habitualmente aplicadas sobre ellos.⁸

Debido a su peculiar estructura, el disco posee tanto las propiedades de resistencia a la tensión como las de resistencia a la compresión, propiedades que son típicas del cartílago articular. El disco se comporta como un ligamento que permite y controla los movimientos tridimensionales complejos de la columna: compresión vertical y distracción, flexión-extensión, flexión lateral y rotación axial.⁸

El disco intervertebral soporta enormes cantidades de cargas en compresión y debe mantener su flexibilidad.⁴ Las cargas que actúan sobre él son principalmente en compresión, pero el disco está también sometido a otros tipos de cargas como son la tracción y el cizallamiento.⁹ Cuando las cargas compresivas actúan sobre el disco, la presión hidrostática que se desarrolla en el núcleo pulposo gelatinoso empuja hacia afuera el anillo fibroso, pone en tensión las fibras del anillo externo, abomba la porción externa de este, y se forma una protuberancia.¹⁰

Se realizaron estudios en voluntarios para determinar las cargas sobre el espacio vertebral L3-L4 en diferentes posturas del cuerpo, así como mediciones de la presión dentro del disco intervertebral en pacientes vivos. Estos estudios revelaron que la carga sobre el disco del nivel L3-L4 en posición sentada y en posición de pie, con 20° de flexión, fue de 250 % con respecto al peso total del cuerpo.¹¹

El disco intervertebral es también el amortiguador principal de las tensiones mecánicas que se transmiten al cráneo y al cerebro durante los movimientos espinales. El núcleo pulposo, al poseer alto contenido de agua, se comporta como una bolsa llena de líquido. Al ser sometido a cargas simétricas, las transmite en todas las direcciones y, por tanto, disminuye la presión sobre las placas terminales de los cuerpos vertebrales. Mientras, cuando las cargas son asimétricas, las transmite hacia la zona de presión menor donde las fibras del anillo se ponen en mayor tensión. Los movimientos de flexión lateral inducen fuerzas de tracción y compresión sobre los lados opuestos de las capas exteriores del anillo fibroso. Se produce abombamiento en el lado de compresión y estiramiento en el lado de tensión.

Las fibras más externas del anillo son el controlador inicial de los movimientos micrométricos anormales dentro de los movimientos segmentarios: las discectomías experimentales causan un aumento significativo de los movimientos, especialmente, en flexión-extensión.¹²

Durante la rotación axial, el disco experimenta *stress* de torsión y cizallamiento con la mitad de las fibras anulares activadas (las paralelas a la dirección de la rotación), hasta que ocurre la eventual delaminación. El comportamiento biomecánico del núcleo joven y normal es homogéneo e isotrópico y transmite iguales fuerzas en todas las direcciones, por lo que, en dependencia de la posición espacial de la columna, las cargas se transmiten uniformemente a las placas terminales y se evita cualquier concentración focal.¹³

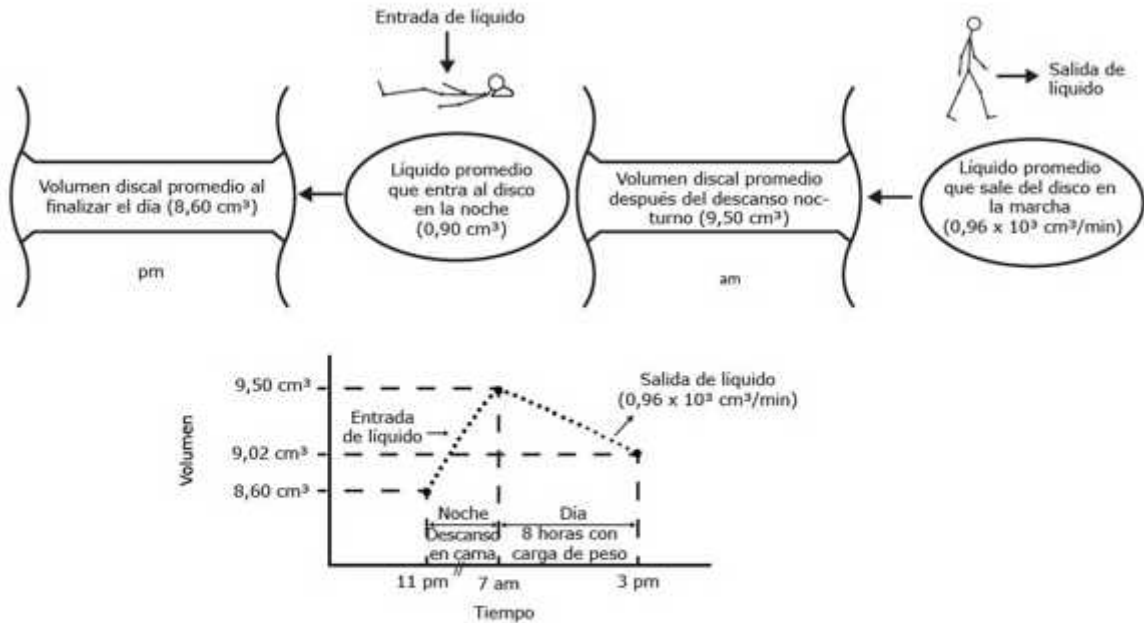
Cuando el disco se ha degenerado, el núcleo pierde sus propiedades semejantes a un fluido. Las cargas se transmiten de manera asimétrica, asumen un comportamiento parecido al de una estructura sólida.

En contraste con el núcleo, la principal propiedad biomecánica del anillo fibroso es la alta anisotropía en tensión. Puede llegar hasta 1000 veces el módulo de tracción a lo largo de las fibras alineadas de colágeno. Las propiedades en la circunferencia del anillo no son homogéneas, el anillo anterior es más angosto que el anillo posterior, y la zona exterior del anillo es más rígida que la zona interior.¹³

Cuando el disco normal recibe cargas en tensión, se generan cargas circunferenciales en el anillo debido a la presurización del núcleo, a la resistencia de sus fibras, al estiramiento y al abombamiento bajo compresión axial. Al ocurrir la despresurización degenerativa del núcleo, las fibras del anillo no son empujadas hacia afuera, y reciben cargas en compresión. Los cambios en las propiedades en tracción, que se producen como consecuencia del envejecimiento y la degeneración del disco intervertebral, son pequeños en comparación con los cambios morfológicos. El núcleo pulposo incide en el control de la zona neutra, soporta las cargas axiales de poca intensidad; mientras que el anillo fibroso es más rígido y recibe la mayor proporción de cargas altas. Cuando las cargas en compresión son altas, las placas terminales son la primera estructura que falla y no el disco intervertebral.¹³

El contenido de agua y la altura de los discos cambian de forma continua durante las actividades físicas normales, bajo las influencias opuestas de las presiones

hidrostática y osmótica. Bajo cargas axiales, la elevada presión hidrostática motiva salida de agua en el disco, lo que disminuye su altura. Esto se compensa al aumentar la presión osmótica ejercida por los proteoglicanos, cuya concentración se incrementa. En decúbito la presión osmótica provoca entrada de agua en el disco intervertebral (Fig. 4).¹¹



Fuente: Wilke HJ, Neef P, Caimi M. New in vivo measurements of pressures in the intervertebral disc in daily life. Spine 1999;24:755.

Fig. 4. Esquema de entrada y salida de agua en el disco intervertebral.

En los discos degenerados, la presión hidrostática reducida del núcleo desplaza las cargas de compresión sobre el anillo interno que se pliega hacia adentro con aumento de las tensiones de cizallamiento. Se producen fisuras y delaminación con fatiga estructural y respuesta celular anormal. La fractura de la placa terminal y la herniación de Schmorl reducen drásticamente la presión discal, y aceleran la degeneración y la destrucción del anillo.⁸

Las articulaciones facetarias vertebrales cumplen dos funciones básicas: control de la dirección y amplitud del movimiento, y reparto de cargas.

Acorde con la teoría de las tres columnas de Louis, el peso de la cabeza y el tronco se trasmite, inicialmente, a dos columnas ubicadas en el mismo plano frontal. Las articulaciones facetarias laterales establecen un triángulo con vértice anterior que completan la estructura de tres columnas. La columna anterior está constituida por la superposición de los cuerpos y discos intervertebrales; las dos columnas posteriores, por la sucesión vertical de las articulaciones facetarias.⁷

Normalmente, entre las tres columnas existe una acción modular y equilibrada por lo cual las articulaciones facetarias posteriores aceptan entre 0 % - 33 % de la carga en dependencia de la postura. En el caso de hiperlordosis, de carga prolongada de pesos altos o de degeneración discal, este porcentaje puede aumentar hasta 70 %. Al igual que con los cuerpos vertebrales, el tamaño creciente de las articulaciones facetarias compensa el aumento de la demanda funcional.⁸

La simetría espacial de las articulaciones facetarias es un requisito esencial para el correcto funcionamiento vertebral lumbar. Cada asimetría significativa condiciona la inestabilidad y, a su vez, la degeneración prematura de las facetas y los discos. Los cambios degenerativos de larga evolución y la desestabilización de las articulaciones facetarias, asociado a cambios degenerativos en los ligamentos posteriores, conducen a espondilolistesis degenerativa (la orientación sagital de las facetas articulares actúan como un factor predisponente).⁵

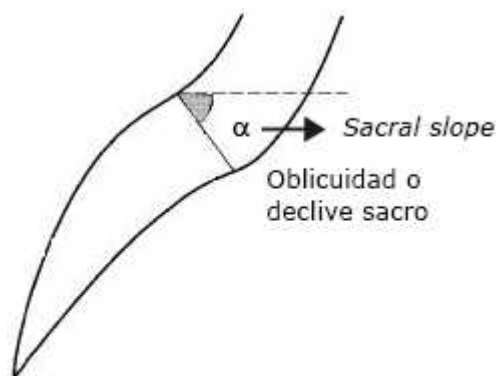
Los pacientes que muestran apófisis articulares inferiores estrechas y espacios facetarios articulares visibles en radiografías anteroposteriores o ángulos estrechos, en imágenes de resonancia magnética o tomografía axial computarizada de las articulaciones facetarias, poseen alta posibilidad de desarrollar espondilolistesis degenerativa. Cuando las facetas articulares poseen un ángulo mayor de 45° en el plano coronal, el espacio vertebral tiene 25 veces más posibilidades de desarrollar deslizamiento degenerativo.⁸

Se estima que entre 15 % - 40 % de los casos con dolor lumbar crónico tienen su origen en las facetas articulares lumbares debido al *stress* mecánico sobre las cápsulas articulares y la deformidad que activa los nociceptores.⁸

Los ligamentos son los estabilizadores pasivos de la columna vertebral. La acción estabilizadora de un ligamento depende no solo de su fuerza intrínseca, sino también de la longitud del brazo de palanca a través del cual actúa, de la distancia entre los puntos de su inserción ósea y del punto de aplicación de la fuerza. Un ligamento muy fuerte con un brazo de palanca corto puede contribuir menos a la estabilidad que un ligamento menos fuerte que trabaja a través de un brazo de palanca más largo, que le brinda una ventaja mecánica.

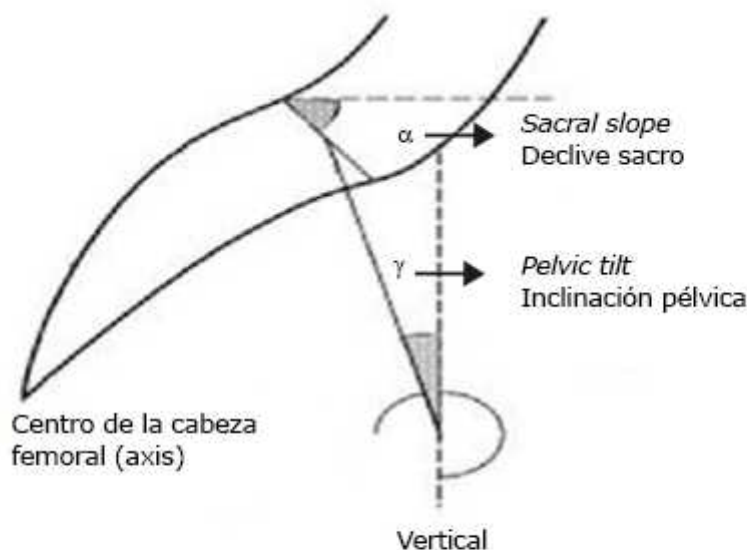
El ligamento interespinoso y los ligamentos supraespinosos están lejos del cuerpo vertebral por lo que trabajan con un brazo de palanca largo y se oponen a la flexión espinal anterior mucho más que el ligamento amarillo, que posee un brazo de palanca más corto por estar dentro del canal espinal. Al estar muy cerca del cuerpo vertebral y poseer menor resistencia interna, el ligamento longitudinal posterior tiene una doble desventaja mecánica frente a los frecuentes movimientos de flexión del cuerpo.⁸

Las curvas sagitales de la columna vertebral humana son adquiridas en el proceso de la evolución como una respuesta a las necesidades de la posición erguida y a la marcha bípeda con poco gasto de energía. La cifosis torácica es la única curva presente al nacer. Las lordosis cervical y lumbar se desarrollan al levantar la cabeza, con la postura de pie y la marcha bípeda. Tanto en individuos normales como en condiciones patológicas, estas curvas sagitales están reguladas por la geometría de la pelvis, lo que se expresa a través de diferentes parámetros como son: la pendiente sacra o *sacral slope* (SS), la inclinación pélvica, *pelvic tilt* (PT) y la incidencia pélvica (PI), (Figs. 5, 6 y 7).¹⁴⁻¹⁷



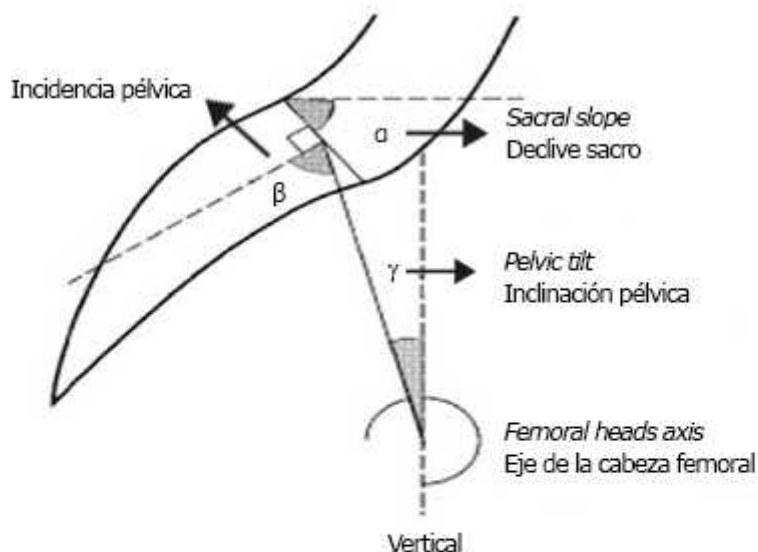
Fuente: Vialle R, Levassor N, Rillardon L. Radiographic analysis of the sagittal alignment and balance of the spine in asymptomatic subjects. Journal of Bone and Joint Surgery. 2005;87:260-7.

Fig. 5. Oblicuidad o declive sacro (sacral slope). Ángulo entre el platillo superior de la vertebra S1 y la horizontal.



Fuente: Vialle R, Levassor N, Rillardon L. Radiographic analysis of the sagittal alignment and balance of the spine in asymptomatic subjects. Journal of Bone and Joint Surgery. 2005;87:260-7.

Fig. 6. Inclínación pélvica (*pelvic tilt*). Ángulo entre la línea que une el punto medio del platillo superior de la vertebra S1 y el punto medio del eje de la cabeza femoral con la vertical.



Fuente: Vialle R, Levassor N, Rillardon L. Radiographic analysis of the sagittal alignment and balance of the spine in asymptomatic subjects. *Journal of Bone and Joint Surgery*. 2005;87:260-7.

Fig. 7. Incidencia pélvica (PI). Ángulo formado entre la línea perpendicular al punto medio del platillo superior de la vertebra S1 y la línea que conecta dicho punto medio con el axis de la cabeza femoral. Incidencia pélvica = pelvic tilt + sacral slope.

Las curvas espinales sagitales también aumentan la resistencia de las cargas verticales hasta 17 veces. Dirigen las deformaciones en direcciones preordenadas, lo que puede ser controlado rápidamente por la intervención de la contracción muscular.^{18,19}

Según *Panjabi*, los músculos y los tendones proporcionan la estabilización activa de la columna vertebral bajo control del sistema nervioso. Aseguran la estabilidad en la zona neutra, donde la resistencia al movimiento es mínima.¹ La acción muscular es necesaria para estabilizar la columna durante las actividades de pararse, inclinarse y flexionarse. Sin los músculos, la columna vertebral sería altamente inestable, incluso, bajo cargas muy ligeras.¹⁸

La función de los músculos posteriores ubicados superficialmente, que son multisegmentarios, difiere de la de aquellos situados más profundos y que son unisegmentarios. Los músculos pequeños, al estar muy cercanos a los ejes de rotación vertebral (intertransversos, interespinosos y *multifidus*) actúan de manera global como fuerza transductora conectada al sistema nervioso central para regular los movimientos, cargas y posición espinal. Los músculos largos, situados superficialmente, constituyen la fuerza principal responsable de generar los movimientos.²⁰

El músculo erector de la columna lumbar y los músculos abdominales oblicuos producen la mayor parte de las fuerzas con la potencia requerida en tareas de elevación y movimiento de rotación, respectivamente, y poseen solamente inserciones limitadas en el área lumbar, mientras que el músculo *multifidus* actúa como un estabilizador dinámico de estos movimientos.²¹

Los músculos abdominales oblicuos y transversales son principalmente flexores y rotadores de la columna lumbar, pero estabilizan la columna al mismo tiempo.

Crean un cilindro rígido alrededor de la columna con incremento de la presión intrabdominal y tensan la fascia toracolumbar.²²

La complejidad de la musculatura posterior excluye cualquier posibilidad de control voluntario sobre unidades individuales. El sistema nervioso central recibe continuos estímulos de todas las articulaciones, de los músculos y los tendones de cada segmento móvil vertebral con el fin de regular y coordinar en el tiempo y el espacio la actividad muscular.^{1,23}

En caso de daño agudo o crónico de ligamentos, discos, cápsulas articulares y de los mecanorreceptores que estas estructuras contienen, se generan señales transductoras anormales que se envían al sistema nervioso central y causan una respuesta motora alterada con alteración de la coordinación temporal y espacial.²⁴ A su vez, la alteración de la respuesta muscular aumenta el *stress* mecánico sobre los componentes óseos y articulares de la columna vertebral. Provoca una respuesta de retroalimentación anormal por las unidades funcionales segmentarias y los propios músculos, que se inicia en las fibras musculares y en los organelos Golgi tendón. Se crea un círculo vicioso que conduce, en última instancia, a inflamación, fatiga muscular y activación de los nociceptores que inician y perpetúan el dolor.²⁸

CONCLUSIONES

La estabilidad vertebral depende de tres subsistemas íntimamente relacionados y coordinados: estructural o pasivo, activo, y de control. Ellos establecen la adecuada función biomecánica de toda la columna vertebral. La degeneración discal afecta la estrecha relación y coordinación de estos subsistemas lo que provoca dolor y afectación de la estabilidad vertebral.

Los estudios publicados demuestran que la zona neutra posee mayor incidencia sobre la estabilidad vertebral que el rango de movimiento total intersegmentario, lo que antepone la calidad del movimiento a su cantidad.

Conflicto de intereses

Los autores no declaran conflictos de intereses potenciales con respecto a la investigación, autoría y / o publicación de este artículo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Panjabi MM. The stabilizing system of the spine. Part I. Function, dysfunction, adaptation and enhancement. *J Spinal Disord.* 1992; 5: 383-9.
2. Panjabi MM. Clinical spinal instability and low back pain. *Journal of Electromyography and Kinesiology.* 2003; 13: 371-9.
3. Panjabi MM. A hypothesis of chronic back pain: ligament subfailure injuries lead to muscle control dysfunction. *Eur Spine J.* 2006; 15: 668-76.

4. White AA, Panjabi MM. Clinical biomechanics of the spine. 2 ed. Philadelphia: Lippincott; 1990.
5. Panjabi MM. The stabilizing system of the spine. Part II. Neutral zone and instability hypothesis. *Journal of Spinal Disorders.* 1992;5:390-7.
6. Wilke HJ, Neef P, Caimi M. New in vivo measurements of pressure in the intervertebral disc in daily life. *Spine.* 1999;24(8):755-62.
7. Louis R. *Chirurgia del rachide.* Padova: Piccin ed; 1989.
8. Izzo R, Guarnieri G, Guglielmi G, Muto M. Biomechanics of the spine. Part I: Spinal stability. *European Journal of Radiology.* 2013;82:118-26.
9. Stokes IA, Iatridis JC. Mechanical conditions that accelerate intervertebral disc degeneration: overload versus immobilization. *Spine.* 2004;29:2724.
10. Inoue N, Espinoza Orías AA. Biomechanics of Intervertebral Disk degeneration. *Orthop Clin N Am.* 2011;42:487-99.
11. Wilke HJ, Neef P, Caimi M. New in vivo measurements of pressures in the intervertebral disc in daily life. *Spine.* 1999;24:755.
12. Schulte K, Clark CR, Goel VK. Kinematics of the cervical spine following discectomy and stabilization. *Spine.* 1989;14(10):1116-21.
13. Elliot DM, Yerramalli CS, Auerbach JD. Biomechanics of the intervertebral disc. In: Slipman CW, editor. *Interventional spine.* Philadelphia: Saunders; 2008. p.827-8.
14. Morvan G, Wybier M, Mathieu P. Plain radiographs of the spine: static and relationships between spine and pelvis. *Journal de Radiologie.* 2008;89:654-63.
15. Vialle R, Levassor N, Rillardon L. Radiographic analysis of the sagittal alignment and balance of the spine in asymptomatic subjects. *Journal of Bone and Joint Surgery.* 2005;87:260-7.
16. Yang X, Kong Q, Song Y, Liu L, Zeng J, Xing R. The characteristics of spinopelvic sagittal alignment in patients with lumbar disc degenerative diseases. *Eur Spine J.* 2014;23:569-75.
17. Young-Min O, Jong-Pil E. Clinical impact of sagittal spinopelvic parameters on disc degeneration in young adults. *Medicine.* 2015;94(42):e1833.
18. Keith DK, Samartzis D. Intervertebral disc "dysgeneration". *The Spine Journal.* 2015;15:1915-18.
19. Sudhir G, Acharya Sh, Kalra KL, Chahal R. Radiographic analysis of the sacropelvic parameters of the spine and their correlation in normal asymptomatic subjects. *Global Spine J.* 2016;6:169-75.
20. Schmidt H, Shirazi-Adl A, Galbusera F. Response analysis of the lumbar spine during regular daily activities-a finite element analysis. *J Biomech.* 2010;43:1849.

21. Edwards TC, Lavalley DC, Bauer Z, Comstock BA, Jarvik JG, Patrick DL, et al. Problem areas identified as important to older adults with lumbar spinal stenosis. *The Spine Journal*. 2015;15:1636-44.
22. Cano-Gómez C, Rodríguez de la Rúa J, García-Guerrero G, Juliá-Bueno J, Marante-Fuertes J. Fisiopatología de la degeneración y del dolor de la columna lumbar. *Rev. Esp. Cir. Ortop. Traumatol*. 2008;52:37-46.
23. Fields AJ, Liebenberg EC, Lotz JC. Innervation of pathologies in the lumbar vertebral end plate and intervertebral disc. *The Spine Journal*. 2014;14:513-21.
24. Galbusera F, Schmidt H, Neidlinger-Wilke C. The mechanical response of the lumbar spine to different combinations of disc degenerative changes investigated using randomized poroelastic finite element models. *Eur Spine J*. 2011;20(4):563-71.

Fecha de recibido: 21 de febrero de 2017.

Fecha de aprobado: 23 de mayo de 2017.

Horacio Inocencio Tabares Neyra. Centro de Investigaciones en Longevidad, Envejecimiento y Salud. La Habana, Cuba.

Correo electrónico: milahola@infomed.sld.cu