



ORIGINAL

Unidad lumbosacroccóigea. Desarrollo conceptual



Juan Carlos Acevedo González^{a,*} y Juan Carlos Pérez Rodríguez^b

^a Neurocirujano, Director del Departamento de Neurociencias, Hospital Universitario San Ignacio, Bogotá, Colombia

^b Residente de neurocirugía, Pontificia Universidad Javeriana, Hospital Universitario San Ignacio, Bogotá, Colombia

Recibido el 23 de mayo de 2015; aceptado el 23 de marzo de 2017

Disponible en Internet el 25 de abril de 2017

PALABRAS CLAVE

Dolor lumbar;
Biomecánica;
Inclinación
espinopélvica;
Equilibrio sagital;
Síndrome del
segmento adyacente;
Enfermedad
facetaria;
Sacroilitis posfusión

Resumen El dolor lumbar es una patología frecuente. Aunque la evolución de la medicina ha permitido encontrar nuevos analgésicos, nuevas técnicas de diagnóstico radiológico y nuevos procedimientos neuroquirúrgicos, los resultados clínicos no son siempre satisfactorios y aún son muchos los pacientes con mejoría parcial y dolor crónico. Nosotros planteamos que la columna lumbar es una unidad funcional que incluye no solo la región estrictamente lumbar sino también las regiones sacra, coccígea y pélvica. Igualmente, dentro de esa unidad funcional lumbosacroccóigea (UFLSC) se incluyen no solo las estructuras óseas (vértebras) y cartilaginosas (discos intervertebrales) sino también las musculoligamentarias y neurales. En este artículo presentamos una revisión no sistemática de la bibliografía relacionada con los aspectos teóricos y clínicos que apoyan esta teoría. Estos conceptos servirán para establecer factores pronósticos para el tratamiento neuroquirúrgico del dolor lumbar.

Nivel de evidencia clínica: Nivel IV.

© 2017 Sociedad Colombiana de Ortopedia y Traumatología. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

KEYWORDS

Low back pain;
Biomechanics;
Spinal-pelvic tilt;
Sagittal balance;
Adjacent segment

The Lumbosacroccocygeal Unit. Conceptual development

Abstract Low back pain is a common condition. Although in the evolution of medicine, new analgesics, new techniques, and new neurosurgical diagnostic procedures are used, the clinical results are not always satisfactory, resulting in many patients with partial improvement and chronic pain. We believe that the lumbar spine is a functional unit that not only

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: jacevedog@gmail.com (J.C. Acevedo González).

syndrome;
Facet disease;
Sacroiliitis
post-fusion

includes just the lumbar region, but also the pelvic, sacral, and coccygeal. This lumbosacro-coccygeal functional unit (LSCFU) not only includes the bony structures (vertebrae) and cartilage (intervertebral discs), but also the muscle and neural structures. A review is presented in this article, along with a review of the literature, on the theoretical and clinical aspects that support this theory. These concepts serve to establish prognostic factors for treatment of back pain.

Evidence level: IV.

© 2017 Sociedad Colombiana de Ortopedia y Traumatología. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Introducción

El dolor lumbar es una patología frecuente, con mayor incidencia en la cuarta y quinta décadas de la vida. Su prevalencia es alta (65-80%) y es una patología crónica en más del 5% de los pacientes. Esta enfermedad ocasiona gastos muy elevados asociados con la atención médica continua. Igualmente, las repercusiones sociales, profesionales y laborales son altas, así como la alteración en la calidad de vida del individuo. En la actualidad, su tratamiento con medicamentos, procedimientos percutáneos o intervenciones neuroquirúrgicas puede ser ineficaz en cerca del 40% de los pacientes¹⁻⁴. Hasta el 20% de los casos que se operan pueden llegar a requerir un nuevo procedimiento. Estos porcentajes tan altos relacionados con la ineficacia del tratamiento del dolor lumbar indican algún error en el proceso diagnóstico o incluso en el entendimiento básico relacionado con el funcionamiento biomecánico de la columna lumbar⁵⁻⁹. Patologías como la sacroiliitis surgen como probable explicación a la persistencia del síntoma y pueden llegar a estar presentes en el 40% de los casos tratados con artrodesis espinal que involucran L5-S1 o no^{10,11}. Igualmente, la enfermedad facetaria lumbar puede ser la causa de dolor persistente después de un tratamiento quirúrgico. La incidencia general de dolor lumbar secundario a cambios degenerativos de las facetas articulares alcanza el 18-49%¹²⁻¹⁴. Estos dos ejemplos confirman procesos diagnósticos equivocados, mala evaluación de los factores de riesgo y seguramente mecanismos fisiopatológicos múltiples del dolor lumbar. Consideramos que los malos resultados asociados con el tratamiento tradicional se deben a una actitud «simplista» en la cual se diagnostica una única etiología para el dolor sin considerar que este síntoma es la expresión de una alteración de los componentes biomecánicos lumbares, sacrococcígeos y pélvicos.

Planteamos que la columna lumbar desde el punto de vista fisiológico y clínico debe ser considerada como una región compleja íntimamente relacionada con la región sacrococcígea y pélvica. El concepto de unidad funcional lumbosacro-coccígea (UFLSC) permite entender el funcionamiento biomecánico de la región lumbar y sus manifestaciones clínicas. En este artículo presentamos un análisis concienzudo de los aspectos generales que soportan el concepto de la UFLSC para tratar de extrapolarlos en una evaluación prequirúrgica que permita modificar el proceso de selección de los pacientes candidatos para tratamiento quirúrgico¹⁵⁻¹⁸.

Definición

La UFLSC es un concepto nuevo de análisis fisiológico y fisiopatológico de la columna vertebral lumbar. La definimos como la unidad funcional conformada por las estructuras anatómicas de la región lumbar, sacra, coccígea y pélvica. Esto incluye estructuras musculares, cartilaginosas, óseas y nerviosas. Al ser una unidad, tiene un origen embriológico común, un funcionamiento anatómico dependiente y un comportamiento biomecánico sincronizado. Este concepto permite explicar el desarrollo de procesos patológicos dolorosos de la región lumbar y mejorar las posibilidades de tratamiento.

Aspectos embriológicos relacionados con la UFLSC

La columna vertebral inicia su proceso de formación después de la segunda semana de gestación. En ese momento, el embrión está conformado por una lámina externa denominada ectodermo, una intermedia o mesodermo y el endodermo, que corresponde a la capa más interna. Estas tres capas conforman la placa primitiva. A partir del ectodermo y el mesodermo se inicia el proceso de formación de la columna vertebral. En la cuarta semana de gestación y hacia el día 28 aparece una agrupación celular denominada notocorda. La notocorda se ubica en una posición ventral sobre la placa primitiva y tiene un crecimiento cefálico y caudal. La notocorda provoca al ectodermo a conformar una estructura columnar denominada tubo neural, que va a dar origen al cerebro, en su extremo cefálico, y a la médula espinal¹⁹⁻²².

De forma paralela a la notocorda, se desarrolla el mesodermo paraaxial, que se irá dividiendo en hendiduras y pequeños cuerpos celulares, denominados somitas. En total, aparecen entre 42 y 44 somitas. Estas estructuras desarrollan prolongaciones dorsales que segmentan el tubo neural y van a conformar la columna vertebral. En la porción más medial de los somitas aparece el esclerotoma, que dará origen a las vértebras, y en la porción más lateral aparece el mesénquima, que dará origen a los músculos paravertebrales y a la piel de la espalda. Finalmente, los segmentos vertebrales se van a diferenciar en las fases de neurulación primaria, para los segmentos cervical, torácico y lumbar, y la neurulación secundaria, para los segmentos sacros y coccígeos^{23,24}.

A partir de este análisis embriológico y aplicado al concepto de la UFLSC podemos señalar los siguientes aspectos:

- El desarrollo embriológico de la columna vertebral comienza a partir de un crecimiento longitudinal (cefalocaudal) y transversal (ventrodorsal). Esto quiere decir que, aunque la columna lumbar se divida en segmentos vertebrales, su origen embriológico de crecimiento cefalocaudal genera un principio estructural de relación con las estructuras superiores e inferiores. No se pueden considerar los segmentos vertebrales de forma aislada sino en estrecha relación con las estructuras vecinas e incluso con las más distantes.
- Las estructuras de la columna vertebral pueden dividirse de forma esquemática en: óseas, cartilaginosas, musculares y nerviosas. Aunque la estructura vertebral es eminentemente segmentaria (niveles vertebrales), el desarrollo de cada uno de sus componentes se produce de manera longitudinal, cefalocaudal, es decir, desde el punto de vista embriológico el desarrollo de las estructuras vertebrales no se ha realizado de forma ventrodorsal, principalmente, sino cefalocaudal. Esto indica que la dependencia embriológica de las estructuras anatómicas de un segmento vertebral es mayor con los niveles superiores e inferiores que con las estructuras del mismo nivel vertebral. Las estructuras nerviosas se originan a partir del tubo neural, el cual proviene del ectodermo provocado por la notocorda. Las estructuras óseas y cartilaginosas provienen del mesodermo paraaxial, el cual forma los somitas, que, en su porción más medial, reciben el esclerotoma (estructuras óseas). Los músculos y la piel se originan igualmente del mesodermo, el cual en su porción lateral recibe el mesénquima (músculos y piel).
- El desarrollo ventral y dorsal de los segmentos vertebrales es el momento en que se ponen en contacto esas estructuras longitudinales para conformar segmentos vertebrales y medulares.
- La diferencia en la longitud de la columna vertebral y la médula espinal corrobora esa relevancia mayor al desarrollo longitudinal cefalocaudal, es decir, si predominara el desarrollo segmentario, cada nivel vertebral se correspondería perfectamente con su nivel medular y no habría esa asimetría transversal. Es así como, por ejemplo, en el nivel vertebral T10 se encuentra el nivel medular L2.

Aspectos anatómicos relacionados con la UFLSC

Sistema nervioso

La inervación de la región lumbar depende de las raíces espinales de la cola de caballo que provienen de los segmentos medulares L1-S5. Estos segmentos medulares, en los cuales se originan las raíces espinales que inervan la región lumbar, se encuentran a la altura de los segmentos vertebrales de T8 a L2. Las raíces espinales se forman en cada segmento medular por la unión de la raíz anterior (motora) y la raíz posterior (sensitiva). La raíz anterior lleva todas las eferencias motoras somáticas y viscerales desde la médula hasta los tejidos y la raíz posterior lleva todas las aferencias sensitivas y viscerales hasta la médula. Las raíces espinales

abandonan el canal vertebral atravesando los agujeros de conjunción y, una vez fuera, se dividen en un ramo ventral y otro dorsal²⁵⁻²⁸.

El ramo ventral de la raíz espinal tiene mayor grosor que el ramo dorsal porque no solo conduce las fibras sensitivas y motoras, sino que también lleva las fibras preganglionares simpáticas. Estas fibras hacen sinapsis con el sistema autónomo a través del ramo comunicante blanco (solo para las raíces de L1 a L3), que las pone en contacto con las fibras prevertebrales y paravertebrales. Estas mismas fibras autónomas vuelven al ramo ventral para dirigirse a las extremidades. Los ramos ventrales conforman los plexos e inervan las extremidades. El nervio sinuvertebral (recurrente) se origina en el ramo ventral, por fuera del agujero de conjunción y penetra nuevamente en el canal vertebral para dividirse en ramas ascendentes y descendentes e inervar el disco intervertebral, la duramadre, las meninges y el ligamento longitudinal posterior. Cada rama del nervio sinuvertebral asciende hasta dos segmentos superiores y uno inferior. El nervio sinuvertebral no tiene solamente fibras sensitivas, sino también fibras autonómicas que provienen de los ramos comunicantes grises.

El ramo dorsal de la raíz espinal es esencialmente sensitivo. Recibe información somatosensorial proveniente del ramo medial (ramo dorsal y medial de la raíz espinal) que inerva la articulación facetaria y los músculos multifidos. El ramo intermedio (ramo dorsal intermedio de la raíz espinal) inerva el músculo largo de la espalda y el ramo lateral (ramo dorsal lateral de la raíz espinal) de la piel de la región lumbar. El ramo dorsal y medial inerva no solo el nivel en el cual se origina, sino también un nivel superior y otro inferior.

El cuerpo vertebral y los discos están envueltos por tres plexos que complementan una inervación circunferencial. El anterior es simpático y proviene de los ramos comunicantes grises. El posterior a partir de las fibras del nervio sinuvertebral y el lateral, que une la inervación simpática (anterior) y somatosensorial (posterior).

A partir de los conceptos anatómicos básicos podemos resaltar algunos elementos relacionados con la UFLSC:

- La importancia de la inervación autónoma que tiene una distribución anatómica vertical, a diferencia de la inervación somatosensorial, que es de dominio horizontal. La inervación autónoma pone en contacto diferentes segmentos vertebrales, es menos específica, difusa y regional. Podemos extrapolar el compromiso autónomo periférico del síndrome doloroso regional complejo (SDRC), el cual normalmente solo se ve en las extremidades, y considerar cómo puede existir un SDRC lumbar por compromiso radicular.
- El nervio sinuvertebral pone en contacto la inervación de varios segmentos vertebrales, hacia arriba y hacia abajo.
- El ramo dorsal y medial de la raíz espinal inerva no solo la faceta del nivel comprometido, sino también los dos niveles adyacentes, uno superior y otro inferior.
- La inervación de los músculos paravertebrales se extiende de manera longitudinal, lo que implica que, cuando hay alguna lesión muscular (entesopatías, miofasciales o desgarras), van a producir dolor difuso y mal definido. Sin embargo, se sigue un patrón anatómico en el cual cada ramo dorsal y medial va a inervar, de preferencia, los músculos que se insertan en la lámina y en la espinosa de la

vértebra por donde sale la raíz. Por ejemplo, la raíz L3 inerva los músculos insertados en la lámina de L3. Esto se cumple en todos los niveles, excepto en la unión lumbosacra donde la raíz L5 controla la inervación y le resta importancia sensitiva a las raíces sacras.

- La región glútea, que está incluida en la región lumbar, es una concentración de estructuras neurales, musculares, ligamentarias y cartilaginosa que hace muy complejo determinar la causa exacta de un dolor referido entre sus límites. Se concentran los músculos del suelo pélvico, de la región glútea en sí y las inserciones inferiores de los músculos paravertebrales. Encontramos la articulación sacroilíaca con múltiples ligamentos y las articulaciones facetarias de la unión lumbosacra. Las fibras nerviosas son múltiples, provenientes de los nervios lumbares bajos y de las raíces sacras. Debido a esta disposición estructural, el funcionamiento biomecánico de la zona depende de todas y cada una de esas estructuras anatómicas. Existen particularidades en esta zona: el triángulo cutáneo comprendido entre el borde medial de las espinas ilíacas posteriores y el reborde lateral de la columna lumbosacra está inervado exclusivamente por el ramo dorsal lateral de la raíz L4 ya que la raíz L5 no dispone de este componente lateral. A la parte inferior de este triángulo llegan las fibras dorsales sacras que ascienden para completar la inervación cutánea.
- Siempre apoyamos la indicación quirúrgica en el paciente con dolor lumbar en la correlación clínica específica de los síntomas y la alteración estructural. Sin embargo, debemos entender que el contexto global de la inervación de la columna lumbosacra es inespecífico. Mezcla inervación autonómica con inervación sensitiva de varios niveles adyacentes y estructuras vecinas. En este contexto debemos dejar el pensamiento simplista de correlación clínica/estructura y ampliar el espectro de análisis antes de ofrecer un tratamiento quirúrgico ablativo.
- La raíz L5 tiene mayor relevancia en el proceso de inervación de la región lumbosacra. El grosor del ramo dorsal y ventral es mayor y, por su extensión, gran parte de la inervación somatosensorial de la región lumbosacra depende de ellos, inclusive las articulaciones sacroilíacas.
- La articulación sacroilíaca recibe la inervación para su cara posterior principalmente de la raíz L5. Esto permite ampliar el papel relevante de dicha raíz en el proceso de inervación de una zona tan amplia e importante como es la lumbosacra.

Músculos y ligamentos

Los músculos de la espalda se dividen en tres grupos: intersegmentarios cortos (interespinosos e intertransversos mediales), polisegmentarios (multífidos con su porción lumbar e iliocostal) y polisegmentarios largos (segmentos torácicos del longísimo e iliocostal lumbar).

- El músculo multífido se inserta a la altura de la lámina y la apófisis espinosa, con un fascículo corto y uno largo. El corto o fibras laminares nace a la altura del borde inferior de la lámina y terminan dos niveles inferiores sobre el proceso mamilar de dicha vértebra. Los fascículos largos nacen en la parte caudal y lateral de la apófisis espinosa

en forma de un tendón conjunto y se dirigen a la apófisis mamilar de L5, sacro y cresta ilíaca.

- Los músculos erectores espinales, que son laterales a los multífidos, se componen de la parte lumbar del músculo ileocostal lumbar y la parte torácica del músculo longísimo del dorso. Por definición, no existe un fascículo a la altura de la quinta vértebra lumbar para el músculo ileocostal lumbar, pero se sabe que está representado por fibras del ligamento ileolumbar y está en relación con la cara anterolateral de la articulación sacroilíaca, donde termina. El músculo longísimo del dorso con cada uno de sus vientres musculares forma un tendón común, que va a las apófisis espinosas desde las vértebras de T8 a T12 en la línea media hasta el tercer segmento sacro y luego hasta la espina ilíaca posterior superior^{29,30}.
- La fascia toracolumbar posee una capa anterior, otra media y otra posterior, tiene inserciones que también involucran a las apófisis espinosas del sacro (en su parte más caudal), donde la capa posterior posee una deflexión que pasa de la quinta vértebra lumbar al borde medial e inferior de la cresta ilíaca hacia posterior, para terminar después en las apófisis espinosas sacras con una formación triangular³¹. Esta puede ejercer la función de pivote o apoyo en todos los planos de movimiento de la columna lumbar, especialmente para los segmentos superiores a L5, y servir de soporte externo a la zona de transición de L5-S1, y formar parte del complejo de estructuras que componen la base espinal, lo que muestra la cercana relación de estas aponeurosis con la columna lumbosacra³².

Las estructuras mencionadas forman parte del complejo que permite mantener la elasticidad del segmento, con lo que se evita la deformidad que pueda terminar en una lesión vertebral y, por consecuencia, en la aparición de dolor. También son un mecanismo de soporte y adaptación que propone cambios dinámicos a las exigencias funcionales, como cambios posturales, compensación de cargas y limitación al movimiento en caso de lesión estructural.

La integración de la UFLSC se produce al evaluar en especial los fascículos largos de los segmentos L1 y L2, que se insertan a la altura de L5, S1 y espina ilíaca posterosuperior. Para el nivel L3, tanto el fascículo corto como el largo alcanzan el sacro, donde el último se dirige hasta el borde lateral del tercer segmento sacro. Los haces musculares de L4 se insertan en la porción lateral de los agujeros dorsales sacros y los de la quinta vértebra lumbar hacia el borde medial de dichos agujeros, situación que muestra cómo se fusiona el movimiento lumbar y sacro en dicha masa muscular.

Aspectos biomecánicos de la columna lumbar que se relacionan con la UFLSC

Funcionamiento biomecánico de la columna lumbar

La estructura ósea vertebral cumple un papel de protección de la médula, pero igualmente se convierte en el eje biomecánico del movimiento de las extremidades y en el sostén de la cabeza, que permite la interacción con el entorno. El hueso está mantenido por cartílagos y ligamentos, y está envuelto por músculos que favorecen el movimiento³³⁻³⁵.

Las curvaturas anatómicas de la región lumbar confieren a la columna la capacidad de mantener una elasticidad y una rigidez que permite absorber los impactos biomecánicos sin perder la estabilidad de los segmentos vertebrales. Esta disposición permite distribuir y disipar la energía asociada con el esfuerzo, que se deforma de forma transitoria ante vectores de fuerza distintos a la gravedad. Durante la bipedestación existe una baja actividad muscular, especialmente a nivel cervical y lumbar, y se presenta una leve contracción de los músculos abdominales, el psoas mayor y la masa lumbar. En esta posición, más que un esfuerzo muscular existe una gran tensión ligamentaria que mantiene la posición y el centro de gravedad. Durante la sedestación sucede algo muy similar, pero con mayor esfuerzo de los músculos de la columna torácica. En las posturas de flexión interacciona de manera directa la columna lumbar con la pelvis. Los primeros 60° de flexión dependen exclusivamente de la columna lumbar, pero los 25° restantes se producen en la pelvis. Hay una fuerte contracción de los músculos glúteo máximo y glúteo medio, que permite que la columna lumbar se estabilice y la pelvis desarrolle un movimiento de basculación. Esa parte final del movimiento se controla con la contracción de músculos antagonistas del movimiento, como es el músculo erector de la espalda. En extensión de la columna, se activa la masa lumbar común (agonista) y los músculos abdominales (antagonistas). Los movimientos de inclinación dependen de los músculos multifidos, longísimos y recto abdominal ipsilateral. Lo anterior resalta la importancia de los músculos en el mantenimiento biomecánico de la postura y la estabilidad de la columna, no solamente de los músculos de la espalda, sino también de los de la pelvis, el abdomen y las piernas.

El cuerpo vertebral, en estrecha relación con el disco intervertebral, resiste las fuerzas de compresión axial. El disco intervertebral distribuye la carga biomecánica sobre el platillo vertebral de forma uniforme. Los componentes óseos posteriores de la vértebra, denominados por muchos como el «arco neural», además de proteger las estructuras nerviosas, son fundamentales para el sostén de la columna. Corresponde a la apófisis espinosa, láminas, apófisis transversas, pedículos y facetas. Estas estructuras son el punto de inserción de músculos y ligamentos, que van a controlar las cargas biomecánicas horizontales y protegen al disco de fuerzas de cizalla y torsión. Igualmente llegan a ofrecer resistencia ante cargas axiales en el 50%, que puede ser mayor en circunstancias donde existe degeneración discal o posturas permanentes.

Desde el punto de vista biomecánico, existen algunos conceptos básicos relevantes que permiten entender la funcionalidad multiestructural de la columna lumbar.

Equilibrio sagital. Es la posición «normal» de la columna, caracterizada por lordosis cervical, cifosis dorsal y lordosis lumbar, que permite una postura erecta, con un mínimo de actividad muscular y mínima deformidad de tejidos blandos. Cuando existe un adecuado equilibrio sagital durante el reposo se produce un ahorro energético de las estructuras espinales. Este ahorro energético se denomina «cono de economía» y depende de la estabilidad estructural de la columna. Para evaluar este equilibrio sagital, se debe realizar una plomada en una radiografía con una proyección en plano sagital. Debe iniciarse en el centro del cuerpo de C7 y pasar sobre el promontorio sacro a 2 cm de su

porción más anterior. Se denomina equilibrio positivo cuando hay una pérdida de lordosis lumbar y un aumento de cifosis torácica. Sucede lo contrario en el equilibrio negativo³⁶⁻³⁸.

Estabilidad clínica. Es la capacidad de la columna de limitar el desplazamiento de sus estructuras cuando se la somete a cargas fisiológicas. Esta ausencia de desplazamiento previene lesión o irritación de los componentes neurales, previene deformidad incapacitante y previene la aparición de dolor.

Cono de economía. Es el rango de movimiento de la columna en que se mantiene una reserva energética (bajo consumo energético) con un mínimo de actividad muscular para mantener una postura de pie (no solo en un plano sagital). Tiene una forma cónica cuyo vértice son los pies y cuya base es la cabeza. Cuando se presenta una fuerza biomecánica que busca producir deformidad, se activa un consumo energético miofascial para mantener el alineamiento axial y evitar la deformidad.

Alineamiento espinopélvico. La pelvis es la base biomecánica de la columna. A través del sacro, que cierra la circunferencia pélvica, se modifica o se mantiene la alineación de la columna vertebral. Modificaciones en la posición del sacro generan modificaciones directas de la alineación de la columna vertebral. Ese alineamiento espinopélvico depende de la incidencia pélvica, la inclinación pélvica y la inclinación sacra.

Incidencia pélvica (InP). Es el ángulo que se forma entre una línea trazada desde el centro de la cabeza femoral hasta un punto medio en el promontorio sacro (plano sagital) y una segunda línea perpendicular a este último punto. El ángulo formado debe estar entre 50 y 55°. Este ángulo es constante y no se debe modificar con la edad. Cuando el ángulo es mayor, verticaliza el sacro y aumenta la lordosis lumbar de forma compensatoria para mantener el equilibrio sagital. Esta modificación altera el alineamiento lumbar y se manifiesta con dolor.

Lordosis lumbar ideal. Schwab creó una fórmula que permite calcular la lordosis lumbar ideal ($LL = IP + 9^\circ (+ o - 9^\circ)$).

Inclinación pélvica (IP). Es el ángulo obtenido (plano sagital) entre una línea que va desde el centro de la cabeza femoral hasta un punto medio localizado en el platillo terminal del sacro y una segunda línea sobre el trayecto de una plomada vertical, que pasa también sobre la cabeza femoral. Su rango normal va de menos 5 a 30°. Este parámetro dinámico cambia a partir del movimiento de la pelvis y la edad. Al perder altura el disco L5-S1, hay un aumento del ángulo de inclinación pélvica y una disminución al mismo tiempo de la lordosis lumbar. Una IP elevada debe ser interpretada como una situación activa de esfuerzo y gasto energético, y, por consiguiente, de probable dolor lumbar crónico. Evaluaciones de la inclinación pélvica en pacientes con dolor y llevados a artrodesis muestran que un ángulo menor de 20° (11° de media) mejora la calidad de vida del paciente que, como se ha explicado, normalmente incrementa con el paso de los años.

Inclinación sacra (IS). Es un ángulo formado entre una línea que se traza paralela al eje del promontorio sacro y una segunda línea en el horizonte, justo por encima del sacro. Forma parte de los parámetros dinámicos, con una relación muy importante con la InP, pues esta última es la sumatoria de la inclinación pélvica (IP) y la inclinación sacra (IS), por

lo que el aumento de la IP genera una condición sacra denominada retroversión, al igual que la disminución de la IS, al ser más horizontal el eje del promontorio.

Funcionamiento biomecánico de la columna lumbar con cambios degenerativos

Los cambios degenerativos de la columna lumbosacra son el reflejo de múltiples factores. En un contexto de envejecimiento fisiológico de los tejidos, sometidos a esfuerzos biomecánicos intensos y con antecedentes genéticos de vulnerabilidad cartilaginosa, se crea el terreno ideal para que aparezcan cambios degenerativos graves. Este compromiso multifactorial produce alteraciones discales, articulares, óseas y musculoligamentarias crónicas que se manifiestan con síntomas dolorosos. La osteoporosis se suma a los elementos anteriores y favorece los cambios degenerativos. Afecta inicialmente de manera predominante a las estructuras posteriores y produce artrosis facetaria. Estas alteraciones posteriores repercuten directamente sobre los platillos cartilagosos y el disco intervertebral, con lo que aumenta la carga biomecánica y favorece la aparición de microfracturas. Esta sobrecarga se refleja en el cuerpo vertebral y aparecen las fracturas (acuñamiento). Estos mecanismos son exponenciales. La existencia de cambios degenerativos modifica el funcionamiento biomecánico que va a generar más cambios degenerativos. Este incremento del esfuerzo biomecánico repercute de manera indirecta sobre las articulaciones sacroilíacas, que van a sobrecargarse³⁹⁻⁴¹.

Mecánicamente, la columna lumbar puede estar conformada por «subunidades funcionales», que son cada uno de los segmentos cuerpo-disco-cuerpo. La subunidad con mayor estrés mecánico es el nivel L5-S1. Estas subunidades en condiciones patológicas se apoyan y desplazan parte de su compromiso biomecánico en los componentes posteriores. De esta forma, el complejo de la articulación facetaria recibe una sobrecarga biomecánica. A nivel lumbosacro (L5-S1), dicha sobrecarga va a la articulación sacroilíaca y por ende a la pelvis. Dicha sobrecarga depende de si hay movimientos del sacro y desplazamiento de la pelvis, así como retroversión durante la contracción activa miofascial para rectificar la lordosis espinal, en un intento de mantener el centro de masa dentro del eje sagital. Con ello, el gasto energético es una sumatoria de cero.

Aspectos clínicos asociados con el concepto de UFLSC

Síndrome del segmento adyacente

El síndrome del segmento adyacente (SSA) es la manifestación clínica y radiológica de la sobrecarga biomecánica generada después de una cirugía de artrodesis en los niveles vertebrales inmediatamente superiores o inferiores al sitio de la cirugía. Esta sobrecarga comienza con cambios degenerativos focalizados y evoluciona hasta dolor lumbar somático con inestabilidad radiológica. Inicialmente, la sobrecarga se focaliza en las articulaciones facetarias y acelera su desgaste degenerativo, con subluxación, líquido intraarticular,

dolor e inestabilidad. Igualmente hay desgaste del disco intervertebral, con pérdida de la altura, cierre de los agujeros, esclerosis de los platillos cartilagosos e inclusive canal lumbar estrecho. La explicación biomecánica está asociada con el desplazamiento del esfuerzo biomecánico sobre los niveles adyacentes a los artrodesados. Puede hablarse incluso de un «brazo de palanca» producido por el material de osteosíntesis sobre los niveles adyacentes, e incluso de la modificación del equilibrio sagital, la inclinación pélvica y la inclinación sacroilíaca. Hay que recordar que en la columna el esfuerzo biomecánico por mantener la postura se desplaza cuando se implanta una artrodesis. Esto quiere decir que artrodesis flotantes (que no fijan la columna al sacro) van a correr mayor riesgo de desplazamiento del esfuerzo biomecánico a los niveles adyacentes. Las artrodesis no flotantes (que fijan la columna lumbar al sacro) van a producir síndrome del segmento adyacente en el nivel superior o en el sacroilíaco. Se identifican algunos factores de riesgo para sufrir SSA, como fusiones cortas, alteración previa en el equilibrio sagital, enfermedad facetaria, sacroilitis prequirúrgica y realización de artrodesis flotantes.

Sacroilitis posfusión

La articulación sacroilíaca es un blanco de degeneración, con hiper movilidad y dolor secundario, la cual se presenta en fijaciones que involucran la transición lumbosacra (L5-S1). Tiene una incidencia que alcanza el 32%. Más a menudo se experimenta un dolor distinto al que se mostraba antes de la intervención quirúrgica, que se localiza a la altura del glúteo, ocasionalmente bilateral e irradiado al muslo.

Varias hipótesis se han propuesto para explicar el porqué de la sacroilitis. Una de ellas es realizar una intervención quirúrgica a la altura del segmento lumbar en contexto de paciente con sacroilitis, donde dicha opción de manejo empeora la patología articular sacroilíaca y genera que en el paciente persista el dolor axial. Otra de las teorías es la redistribución de la carga dinámica del segmento lumbar artrodesado, que aumenta la traslación del disco inmediatamente inferior y que, en el caso de estar dentro de una fusión quirúrgica, se transfiere dicha energía a la altura de la articulación adyacente (sacroilíaca), que se puede tornar hiper móvil y degenerar sus superficies más rápido de lo usual y llevar al paciente a presentar dolor. En condiciones normales, la articulación sacroilíaca presenta un rango de movilidad de 2 a 4° en el plano sagital, parámetro que se modifica con la remodelación inflamatoria crónica, lleva al sacro en retroversión y con esto disminuye la lordosis lumbar que empeora el dolor espinal.

Aspectos específicos del sacro, el cóccix y la pelvis relacionados con la UFLSC

El cóccix es una estructura ósea compuesta por 4 segmentos unidos entre sí por articulaciones no móviles (sinartrosis) y unidos al sacro por un disco intervertebral rudimentario que permite su movilidad en el plano sagital. Embriológicamente, es el remanente de la cola embrionaria, evidente en la mayoría de los mamíferos, pero que en los seres humanos remite y deja una estructura ósea (cóccix), un músculo isquiocóccigeo y el ligamento sacroespinoso como

vestigio. El proceso que lleva a su retroceso embriológico forma parte también de la neurulación secundaria, mecanismo que forma la porción caudal de la columna. El análisis de la fusión del cóccix dentro del funcionamiento biomecánico de la columna lumbosacra gira en torno a su movilidad en el plano sagital, que, si bien no se halla dentro del equilibrio sagital espinal, tiene gran importancia durante el cono de economía, pues junto con las protuberancias isquiales forma el trípode de soporte del peso en sedestación. Cuando hay incompetencia del cóccix (deformidad o hipermovilidad), puede producir dolor en el paciente (coccigodinia), así como cambios en la postura que pueden terminar con la aparición de dolor lumbar. El rango de movimiento de esta estructura oscila, por término medio, en 9°. Está condicionado por la estabilidad ofrecida por el elevador del ano en su porción terminal (más significativo en cuanto a movilidad del cóccix), el músculo coccígeo en su cara lateral (para movimientos de flexión) y el glúteo mayor con el esfínter anal en menor proporción, insertados en su cara dorsal.

Además de las estructuras musculares se destacan también los ligamentos sacrococcígeos laterales e intercornuales, que mantienen la estabilidad de la articulación sacrococcígea. Este aspecto es clave en la fisiopatología de la coccigodinia, pues la subluxación de la articulación genera dolor al perder su «estabilidad». Dicha inestabilidad produce una enfermedad articular propiamente dicha, que, desde el punto de vista funcional, es causa oculta de dolor lumbar crónico porque el lumbago es una manifestación indirecta del síndrome doloroso pélvico perineal.

Hay otras dos estructuras muy importantes en la transmisión biomecánica de fuerzas a través del sacro y hasta el cóccix. Estas son el ligamento sacrococcígeo anterior (se inserta en las dos primeras vertebrae coccígeas) y el ligamento sacrococcígeo posterior, que posee dos componentes: una porción profunda que se adhiere al dorso del cóccix y una porción superficial que cierra el canal del sacro. El ligamento coccígeo propiamente dicho es la extensión del saco dural y emerge al final del filo terminal (que para muchos autores es la misma estructura). Se inserta en la segunda vertebra coccígea como anclaje del cono medular⁴².

Las causas de dolor están asociadas con hipermovilidad en la unión sacrococcígea, secundaria a cambios degenerativos idiopáticos o a traumatismo repetido. Cuando se vuelve crónico, aparecen espículas óseas, deformidad y dolor. El síntoma doloroso es transmitido por el plexo simpático pélvico, los ganglios prevertebrales y el plexo coccígeo propio (ganglio impar de Walthers). La percepción dolorosa desde la región perineal y sacrococcígea se caracteriza por ser una sensación difusa irradiada a la porción inferior de la región lumbar por comunicaciones interfasciculares del plexo sacro dorsal. Este plexo es un haz neural formado en la cara posterior del sacro por ramos dorsales descendentes de L5, S1 a S5 y ramo cutáneo coccígeo. Está encargado de la sensibilidad superficial de la región lumbosacra, glúteos, periné y ano. De la misma manera que existe dicho plexo sacro, en la porción anterior del cóccix se describe una red neural dependiente de los ramos ventrales de S4, S5 y Co1 (que nace del cono medular y desciende con las dos raíces de S5 hasta el hiato sacro), encargados de inervar la sensibilidad del triángulo perineal, la contracción del músculo isquiococcígeo, parte del elevador del ano, esfínter anal externo y la sensibilidad

de la articulación sacrococcígea, que también se relaciona con toda la red sensitiva que se conecta de forma indirecta con la columna lumbar a través de vías simpáticas.

Este es otro punto de convergencia, en el cual se visualiza por medio de la red neural una conexión directa lumbosacroccígea, la cual explica el comportamiento semiológico del dolor lumbosacro y las disfunciones perineales como una posible etiología del dolor lumbar crónico.

Unidad funcional lumbosacroccígea (pélvica)

El desarrollo del concepto de la UFLSC desde el enfoque embriológico, anatómico y fisiopatológico y su integración de manera funcional al evaluar su comportamiento biomecánico es una posible explicación de la persistencia del dolor lumbar y la dificultad de tratamiento. Al no desconocer esta evidencia, podremos desarrollar procesos diagnósticos adecuados e identificar factores de riesgo (algunos corregibles) y tratamientos que incluyan cirugías adaptadas a los patrones biomecánicos que se deben restablecer.

Responsabilidades éticas

Protección de personas y animales. Los autores declaran que para esta investigación no se han realizado experimentos en seres humanos ni en animales.

Confidencialidad de los datos. Los autores declaran que han seguido los protocolos de su centro de trabajo sobre la publicación de datos de pacientes.

Derecho a la privacidad y consentimiento informado. Los autores declaran que en este artículo no aparecen datos de pacientes.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Bibliografía

1. Fields HL, Heinricher MM. Anatomy and physiology of anociceptive modulatory system. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* 1985;308:361-74.
2. Giesecke T, Gracely RH, Grant MA, Nachemson A, Petzke F, Williams DA, Clauw DJ. Evidence of augmented central pain processing in idiopathic chronic low back pain. *Arthritis Rheum.* 2004;50:613-23.
3. Bhatia NN, Chow G, Timon SJ, Watts HG, Bhatia NN, Chow G, et al. Diagnostic modalities for the evaluation of pediatric back pain: a prospective study. *J Pediatr Orthop.* 2008;28:230-3.
4. VonKorff M, Crane P, Lane M, Miglioretti DL, Simon G, Saunders K, et al. Chronic spinal pain and physical-mental comorbidity in the United States: results from the national comorbidity survey replication. *Pain.* 2005;113:331-9.
5. Salvetti M, de G, Pimenta CA, Braga PE, Corrêa CF. Disability related to chronic low back pain: prevalence and associated factors. *Rev Esc Enferm USP.* 2012;46:16-23.
6. Adams MA. Biomechanics of back pain. *Acupunct Med.* 2004;22:178-88.

7. Acosta FL, Ames CP. Diagnosis and management of diskogenic lower back pain. *Youmans Neurological Surgery*. Edition Sixth. 2789-2795.
8. Cohen SP, Argoff CE, Carragee EJ. Management of low back pain. *BJM*. 2009;338:100-6.
9. Arts MP, Kols NI, Oderwater SM, Peul WC. Clinical outcome of instruments fusion for the treatment of failed back surgery. *Acta Neurochir*. 2012;154:1213-7.
10. Liliang P, Lu K, Tsai Y, Wang K, Chen H. Sacroiliac joint pain after lumbar and lumbosacral fusion: findings using dual sacroiliac joint blocks. *Pain Med*. 2011;12:565-70.
11. Katz V, Schofferman J, Reynolds J. The sacroiliac joint: a potential cause of pain after lumbar fusion to the sacrum. *J Spinal Disord Tech*. 2003;16:96-9.
12. Yang B, Li H, Zhang T, He X, Xu S. The incidence of adjacent segment degeneration after cervical disc arthroplasty: a meta-analysis of randomized controlled trials. *PLoS One*. 2012;7:e35032.
13. Anandjiwala J, Seo JY, Ha KY, Oh IS, Shin DC. Adjacent segment degeneration after instrumented posterolateral lumbar fusion: a prospective cohort study with a minimum five-year follow-up. *Eur Spine J*. 2011;20:1951-60.
14. Follet KA, Dirks BA. Etiology and evaluation of the failed back surgery syndrome. *Neurosurgery Quarterly*. 1993;3:40-59.
15. Koes BW, Van Tulder MW, Thomas S. Diagnosis and treatment of low back pain. *BMJ*. 2006;332:1430-4.
16. Brox JI, Sorensen R, Friis A, Nygaard O, Indahl A, Keller A, et al. Randomized clinical trial of lumbar instrumented fusion and cognitive intervention and exercises in patients with chronic low back pain and disc degeneration. *Spine*. 2003;28:1913-21.
17. Fritzell P, Hagg O, Wessberg P, Nordwall A. Lumbar fusion versus nonsurgical treatment for chronic low back pain: a multicenter randomized controlled trial from the Swedish Lumbar Spine Study Group. *Spine*. 2001;26:2521-32.
18. Fairbank JC, Frost H, Wilson-MacDonald J, Yu LM, Barker K, Collins R. Randomised controlled trial to compare surgical stabilisation of the lumbar spine with an intensive rehabilitation programme for patients with chronic low back pain: the MRC spine stabilisation trial. *BMJ*. 2005;330:1127-34.
19. White AA, Panjab MM. The problem of clinical instability in the human spine: a systematic approach. En: White AA, Panjab MM, editores. *Clinical biomechanics of the spine*. Philadelphia: Lippincott; 1990. p. 277-378.
20. Klineberg E, Schwab F, Smith JS, Gupta MC, Lafage V, Bess S. Sagittal spinal pelvic alignment. *Neurosurg Clin North Am*. 2013;24:157-62.
21. Freemont AJ, Peacock TE, Goupille P, Hoyland JA, O'Brien J, Jayson MI. Nerve ingrowth into diseased intervertebral disc in chronic back pain. *Lancet*. 1997;350:178-81.
22. Aota Y, Kumano K, Hirabayashi S. Post fusion instability at the adjacent segments after rigid pedicle screw fixation for degenerative lumbar spinal disorders. *J Spinal Disord*. 1995;8:464-73.
23. Throckmorton TW, Hilibrand AS, Mencio GA, Hodge A, Spengler DM. The impact of adjacent level disc degeneration on health status outcomes following lumbar fusion. *Spine*. 2003;28:2546-50.
24. Liliang PC, Lu K, Liang CL, Tsai YD, Wang KW, Chen HJ. Sacroiliac joint pain after lumbar and lumbosacral fusion: findings using dual sacroiliac joint blocks. *Pain Med*. 2011;12:565-70.
25. Onesti ST. Failed back syndrome. *Neurologist*. 2004;10:259-64.
26. Fritzell P, Hagg O, Wessberg P, Nordwall A. Lumbar fusion versus non-surgical treatment for chronic low back pain: A multicenter randomized controlled trial from the Swedish Lumbar Spine Study Group. *Spine*. 2001;26:2521-32.
27. Chan CW, Peng P. Failed back surgery syndrome. *Pain Med*. 2011;12:577-606.
28. Patajin J, Janssen M, Hayek S, Mechail N, Van Zundert J, Van Kleef M. Coccygodynia. *Pain Pract*. 2010;10:554-9.
29. Grassi R, Lombardi G, Reginelli A, Capasso F, Romano F, Florian I, et al. Coccygeal movement: Assessment with dynamic MRI. *Eur J Radiol*. 2007;61:473-9.
30. Patel R, Appannagari A, Whang P. Coccydynia. *Curr Rev Musculoskelet Med*. 2008;1:223-6.
31. Bogduk N, Endres MS. *Clinical anatomy of the lumbar spine and sacrum*. 4th edition London: Elsevier; 2005. p. 143-7.
32. Vernon WL. *Spinal Cord Medicine Principles and Practice*. New York: Demos; 2003. p. 243-57.
33. White AA, Panjab MMJB. The problem of clinical instability in the human spine: a systematic approach. En: White AA, Panjab MMJB, editores. *Clinical biomechanics of the spine*. 2nd edition Philadelphia: Lippincott; 1990. p. 277-378.
34. Müller F, O'Rahilly R. The development of the human brain, the closure of the caudal neuropore, and the beginning of secondary neurolation at stage 12. *Anat Embryol*. 1987;176:413-30.
35. Pang D. Sacral agenesis and caudal spinal cord malformations. *Neurosurg*. 1993;32:755-78.
36. Bernard TN, Frymoyer JW. *The adult Spine. Principles and practice. The sacroiliac joint syndrome. Pathophysiology, diagnosis and management*. New York: Raven Press; 1991. p. 2107-30.
37. Ikeda R. Innervation of the sacroiliac joint: macroscopic and histological studies. *Nihon Ika Daigaku Zasshi*. 1991;58:587-96.
38. Cole AJ, Dreyfuss P. Sacroiliac joint injection techniques. *Second interdisciplinary World Congress on Low Back Pain: The Integrated Function of the Lumbar Spine and Sacroiliac Joints*. In: Vleeming A, Mooney V, eds. Rotterdam: European Conference Organizers; 1995. p. 569-97.
39. Tubbs RS, Murphy RL, Kelly DR, Lott R, Salter EG, Oakes WJ. The filum terminale externum. *J Neurosurg Spine*. 2005;3:149-52.
40. Woon JT, Stringer MD. Clinical anatomy of the coccyx: A systematic review. *Clin Anat*. 2012;25:158-67.
41. Schofferman J1, Reynolds J, Herzog R, Covington E, Dreyfuss P, O'Neill C. Failed back surgery: etiology and diagnostic evaluation. *Spine J*. 2003;3:400-3.
42. Baljet B, Drukker J. The nerves and nerve plexuses of the human vertebral column. *Am J Anat*. 1990;188:282-96.