



ORIGINAL

Alteraciones morfológicas en la escoliosis. Estudio en raquis humanos en crecimiento

J. Duart Clemente^{a,*}, R. Llombart Blanco^b y J.L. Beguiristain Gurpide^b

^a Departamento de Cirugía Ortopédica y Traumatología. Complejo Hospitalario de Navarra. Pamplona. España

^b Departamento de Cirugía Ortopédica y Traumatología, Clínica Universidad de Navarra, Pamplona, España

Recibido el 9 de abril de 2012; aceptado el 25 de julio de 2012

Disponible en Internet el 19 de septiembre de 2012

PALABRAS CLAVE

Escoliosis;
Crecimiento;
Raquis

KEYWORDS

Scoliosis;
Growing;
Spine

Resumen

Objetivos: Analizar el sustrato anatomopatológico del raquis escoliótico humano durante el crecimiento.

Material y métodos: Estudiamos el raquis, obtenidos en la necropsia, de 2 pacientes afectados de escoliosis. Muestra A (niña de 13 años y 2 meses) y muestra B (niño de 14 años y un mes). Se estudiaron las piezas anatómicas obtenidas en la necropsia. Se realizó un estudio radiológico convencional; se valoró la intensidad de las curvas con los grados de Cobb y la rotación vertebral con el método de Pedriolle, cortes de tomografía computarizada (TC) y análisis de la asimetría posterior (giba). Además, en el estudio histológico se valoró la estructura ósea, los cartílagos de crecimiento, el hueso subcondral, la presencia y la distribución del tejido fibroso.

Resultados: Se estudiaron los niveles de C7 a L5 de la muestra A y de T2 a L4 de la muestra B. No se evidenció deformidad de los cuerpos vertebrales en el plano frontal, sagital ni axial, salvo en T5 de la muestra A, con acuñamiento en el plano frontal hacia la convexidad. La deformidad se originaba en los discos intervertebrales. La osificación endcondral de los cartílagos epifisarios presentaba una mayor actividad en el lado de la convexidad de la curva. El cartílago neurocentral estaba presente a nivel torácico y cervical, habiendo desaparecido a nivel lumbar. No observamos asimetría en los cartílagos neurocentrales.

Conclusiones: La deformidad se inicia en los discos intervertebrales produciéndose alteraciones en los cartílagos epifisarios que pueden condicionar, al final del crecimiento, la deformidad de las vértebras escolióticas, básicamente acuñamiento y rotación.

© 2012 SECOT. Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.

Morphological changes in scoliosis during growth. Study in the human spine

Abstract

Objectives: To analyse the pathological substrate of human scoliotic spine during growth.

Material and methods: We studied two spines obtained at the autopsy of two patients suffering from untreated scoliosis. Sample A (a girl of 13 years and 2 months) and sample B (a boy of

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: duart.julio@gmail.com (J. Duart Clemente).

14 years and one month). On the conventional radiological study the curves were measured using the method of Cobb, and the vertebral rotation with the Pedriolle method. A CT scan and analysis of the posterior asymmetry were also performed. The bone structure, growth plate, subchondral bone were evaluated in the histological study, as well as the presence and distribution of fibrous tissue.

Results: Levels from C7 to L5 were studied in sample A, and levels from T2 to L4 in sample B. There was no evidence of vertebral deformity in the frontal, sagittal or axial planes, except for T5 in sample A, where wedging into the concavity in the frontal plane was observed. The deformity originated in the intervertebral discs. Endochondral ossification of the epiphyseal cartilage showed increased activity on the side of the convexity of the curve. Neurocentral cartilage was present at thoracic and cervical level, having disappeared at lumbar level. No asymmetry was observed in the neurocentral cartilage.

Conclusions: The deformity begins in the intervertebral discs, producing distortions in the epiphyseal cartilage. Those changes may influence the end of growth and therefore the deformity of the scoliotic vertebrae, basically resulting in wedging and rotation of the vertebrae.

© 2012 SECOT. Published by Elsevier España, S.L. All rights reserved.

Introducción

Las cuestiones más importantes sobre la etiopatogenia de la escoliosis idiopática permanecen todavía sin respuesta¹. Son muchos los autores que han desarrollado diferentes teorías para explicar la causa de la escoliosis idiopática². Sin embargo, son pocos los trabajos que abordan el sustrato anatómico de esta enfermedad durante el crecimiento.

Nicoladoni, a principios del siglo pasado, describió los cambios observados en el raquis de 2 niños afectados de escoliosis³. Observó asimetría en la osificación del cartilago neurocentral, con una mayor actividad osteogénica en el lado convexo. Por otro lado, James⁴ estudió una muestra anatómica de un raquis en un paciente de 11 meses afectado de una escoliosis congénita, observando rotación vertebral. En este trabajo no se hace referencia al estado de los cartilagos de crecimiento. En el año 2002, Parent et al.⁵ realizaron un estudio mediante análisis morfométrico de las vértebras de raquis escolióticos, en este trabajo describió los cambios estructurales en los pedículos y en la articulación zigoapofisaria de las vértebras de los pacientes afectados de escoliosis, pero tampoco hizo referencia a los cartilagos de crecimiento.

A pesar de estos estudios, actualmente existe muy poca información acerca de los factores que determinan la producción de las deformidades que se generan en la escoliosis durante el crecimiento, cuando las fisis vertebrales todavía son cartilaginosas, con capacidad de producir hueso, deformarse o corregirse.

El presente trabajo no pretende definir la causa de la escoliosis, tan solo quiere ayudar a entender la base anatómica de la que se sustenta la deformidad del raquis en la escoliosis.

Material y métodos

Análisis descriptivo del raquis de 2 pacientes afectados de escoliosis en el contexto de tetraparesia espástica connatal,

que fallecieron por problemas respiratorios. Ambos pacientes se encontraban en el momento del fallecimiento en período de crecimiento. Uno de ellos pertenecía a una niña de 13 años y 2 meses (muestra A), mientras que el otro pertenecía a un niño de 14 años y un mes (muestra B). Ambos pacientes fallecieron sin haber sido tratados de la deformidad espinal.

Se ha realizado el estudio de las piezas anatómicas obtenidas en la necropsia tras la liberación de las partes blandas. Además se han realizado estudios radiológicos convencionales, estudios con tomografía computarizada (TC) y estudio histológico en dichas piezas.

Estudio macroscópico

Previa a la esqueletización de la pieza se determinaron las curvas macroscópicas en la columna completa en el plano anteroposterior (AP) y lateral (L). Posteriormente se procedió a la individualización vertebral para su observación macroscópica y estudio histológico. Se evaluó el grado de maduración esquelética a través de la morfología, presencia o ausencia de los cartilagos de crecimiento, el morfotipo de las vértebras y la participación de cada una de ellas en el conjunto de la deformidad. Las vértebras fueron seccionadas de manera aleatoria en el plano coronal o axial para el estudio de las distintas estructuras.

Estudio radiológico

En el estudio radiológico convencional se valoró la intensidad de la deformidad con los grados de Cobb para las curvas del raquis. La intensidad de la rotación vertebral se estudió con el método de Pedriolle y Vidal⁶ y mediante cortes de TC. Con ayuda de la TC hemos realizado un análisis de la asimetría posterior de la giba, cuantificando la intensidad de la misma a nivel de las apófisis transversas.

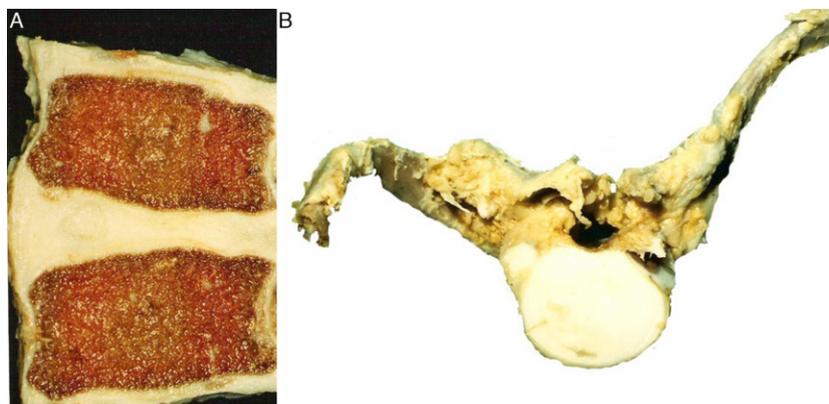


Figura 1 A) Aspecto macroscópico, en el plano coronal, de los cuerpos vertebrales de T12-L1 y el disco intervertebral situado entre ellos. Se observa la deformidad del conjunto con una mayor altura en el lado correspondiente a la convexidad de la curva. El disco se encuentra acuñaado con una disminución de la altura en el lado de la concavidad asociado a un desplazamiento del núcleo pulposo hacia la convexidad. También se pueden observar restos del cartílago neurocentral. B) Visión axial de la vértebra T8. Se observa la asimetría entre las costillas en ausencia de alteración a nivel del cuerpo vertebral.

Estudio histológico

Se seccionaron las distintas vértebras seleccionadas en sentido coronal y axial, según la deformidad observada en el estudio macroscópico. Las piezas obtenidas fueron fijadas en formol al 4%, tamponado con fosfatos, durante 24 h. Tras la fijación fueron descalcificadas en una solución de polivinilpirrolidona (PVP) y EDTA, al 10% en Tris Buffer, 0,1M y pH 6,95 a 4°C durante 3 meses. La deshidratación de las piezas se realizó mediante alcoholes de degradación creciente. Posteriormente se introdujeron en xileno y se incluyeron en parafina a una temperatura de 60°C. Se realizaron cortes de 4 μ de grosor con un microtomo convencional (Microm®) y se tiñeron con tricrómico de Masson (TM) y hematoxilina-eosina (HE).

Se valoró la estructura ósea, los cartílagos de crecimiento, el hueso subcondral, la presencia de tejido fibroso y la distribución del mismo.

Resultados

Muestra A

Se estudió el raquis humano de una paciente de 13 años y 2 meses desde el nivel C7 hasta L5.

Estudio macroscópico

No se observó acuñaamiento en términos globales, ya que tan solo en el cuerpo vertebral de T5 se encontró acuñaamiento hacia la concavidad (fig. 1).

Estudio radiológico

Esta niña presentaba un patrón de curva idiopático presentando en el plano frontal una escoliosis con una curva torácica de C7 a T9 de 51° Cobb de convexidad derecha y una curva lumbar de T9 a L5 de 44° Cobb y convexidad izquierda. De los 51° de la curva dorsal el 70,6% (36°) se originaban en los discos intervertebrales, mientras que a nivel de la curva

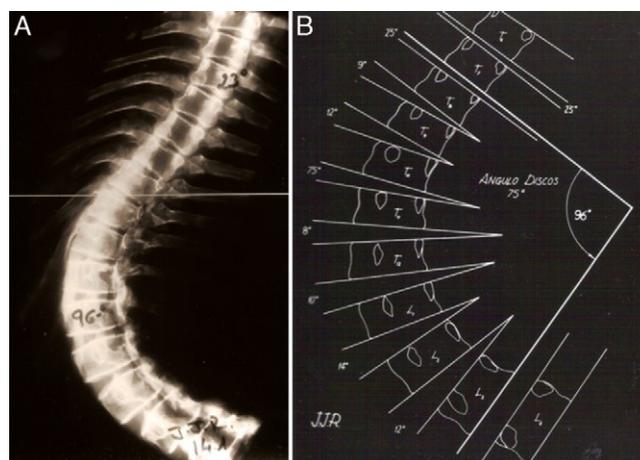


Figura 2 A) Radiografía anteroposterior (AP) de la columna vertebral de la muestra A, tras la liberación de las partes blandas. Se puede observar la severidad de la curva escoliótica toracolumbar. B) Imagen correspondiente al calco de la radiografía, donde se realizó la medición de la intensidad de la curva mediante los grados de Cobb: 75° de los 96° se originaban a nivel de los discos.

lumbar, el 84% de los grados de dicha deformidad también correspondían a los discos intervertebrales (37°) (fig. 2).

En el plano sagital, tras la liberación de las partes blandas se observó una cifosis dorsal de 40° y una lordosis lumbar de 58°.

Los resultados de los grados de rotación de los cuerpos vertebrales, así como la magnitud de la asimetría posterior, medidos según el método de Perdriolle y con TC, están resumidos en la tabla 1.

Estudio histológico

En los cortes histológicos transversales, a nivel del cuerpo vertebral de C7, se observó la presencia del cartílago neurocentral, conforme nos dirigimos a distal en el raquis torácico se pudo observar en los cuerpos vertebrales una disminución en el tamaño (longitud y anchura) del cartílago

Tabla 1 Grados de rotación de los cuerpos vertebrales y asimetría posterior de la Muestra A

Vértebra	Rotación TC		Rotación Perdriolle		Giba Protrusión (mm)
	Grado	Dirección	Grado	Dirección	
T2	8°	Concavidad	5°	Convexidad	5,5
T3	7°	Concavidad	5°	Convexidad	5,5
T4	9°	Concavidad	10°	Convexidad	6
T5	10°	Concavidad	15°	Convexidad	9
T6	15°	Concavidad	8°	Convexidad	14
T7	22°	Convexidad	5°	Convexidad	16,5
T8	29°	Convexidad	15°	Convexidad	18
T9	34°	Convexidad	30°	Convexidad	20
T10	34°	Convexidad	32°	Convexidad	22
T11	40°	Convexidad	35°	Convexidad	26
T12	44°	Convexidad	37°	Convexidad	26
L1	42°	Convexidad	35°	Convexidad	34
L2	33°	Convexidad	32°	Convexidad	28
L3	26°	Convexidad	20°	Convexidad	19
L4	22°	Convexidad	5°	Convexidad	13

neurocentral. A nivel del cuerpo de T12 tan solo encontramos islotes aislados y en la región lumbar no se observó actividad. No se observó asimetría ni deformidad en rotación en los cuerpos vertebrales (fig. 3).

Muestra B

Se estudió el raquis humano de un paciente de 14 años y un mes desde el nivel T2 a L4.

Estudio macroscópico

No se observó ninguna asimetría en los cuerpos vertebrales; no se ha observado acuñamiento en el plano frontal



Figura 3 Corte histológico coronal del disco intervertebral T12-L1 y porción de los cuerpos vertebrales adyacentes. Disco intervertebral acuñado, con núcleo pulposo desplazado hacia la convexidad. Rotura en la concavidad de los platillos epifisarios. Adyacente al núcleo pulposo se puede observar un centro de osificación de los platillos epifisarios. (Tricrómico de Masson, $\times 4$).

ni deformidad de los cuerpos vertebrales, tan solo rotación vertebral en el plano axial (fig. 4 A). La deformidad en el plano frontal en los discos intervertebrales, evidenciándose acuñamiento de los mismos con desplazamiento del núcleo pulposo hacia la convexidad asociado a desestructuración del anillo fibroso, confiere una morfología cuneiforme al disco intervertebral. El cartílago neurocentral se encontró en todos los niveles torácicos, habiendo desaparecido casi en su totalidad a nivel lumbar.

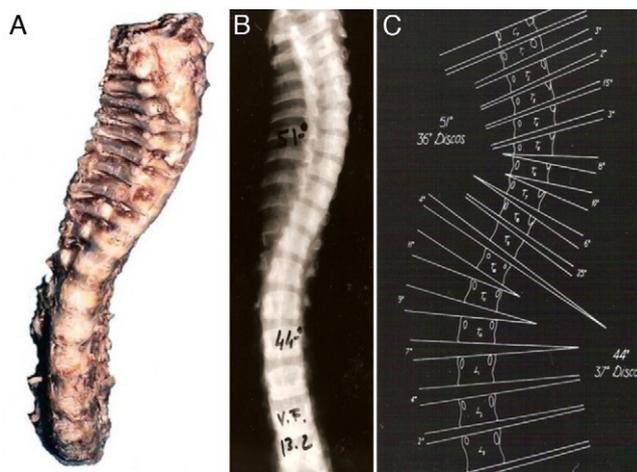


Figura 4 A) Visión frontal del raquis de la muestra B, tras la liberación de las partes blandas. Se puede observar la doble curva (patrón de escoliosis idiopática) y la rotación de los cuerpos vertebrales. B) Radiografía anteroposterior (AP) de la columna vertebral de la muestra B, tras la liberación de las partes blandas. Se puede observar el patrón de la curva escoliótica (doble curva). C) Imagen correspondiente al calco de la radiografía, donde se realizó la medición de la intensidad de la curva mediante los grados de Cobb.

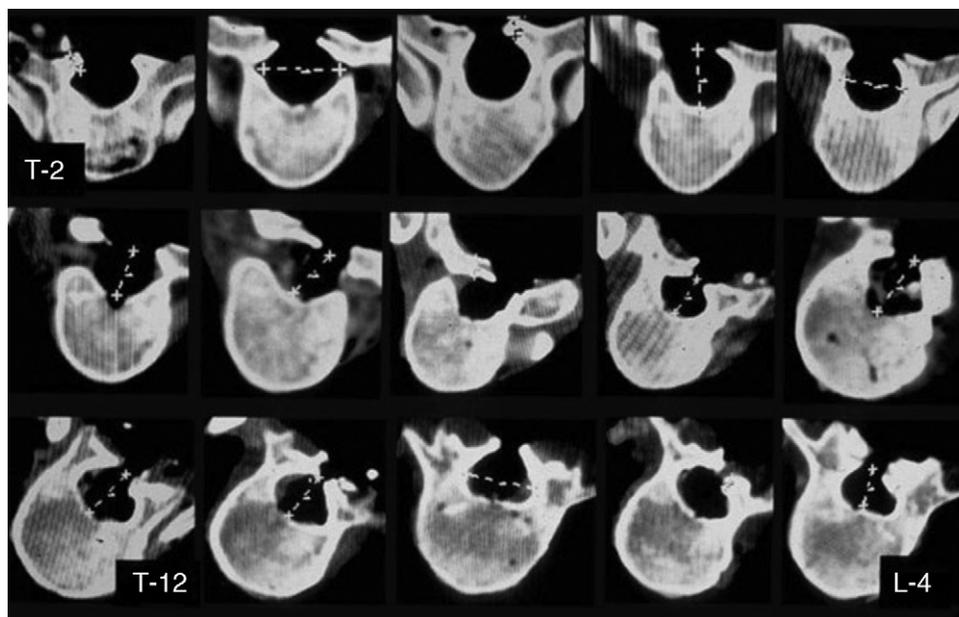


Figura 5 TC de muestra B. De T2 a L4 donde se puede observar que los cuerpos vertebrales no presentan deformidad ósea pero se encuentran en rotación.

Estudio radiológico

Este paciente presentaba un patrón de curva paralítico. En el plano frontal se observó una curva escoliótica, de T2 a T7, de 23° Cobb con convexidad derecha y de T7 a L4, de 96° de Cobb con convexidad izquierda. El 78% de los grados de dicha deformidad se originaban en los discos intervertebrales (75°) y tan solo el 22% de la deformidad se originaba en los cuerpos vertebrales (21°) (fig. 4 B y C).

En el plano sagital, tras la liberación de las partes blandas, se observó disminución de la cifosis dorsal con leve lordosis lumbar. Los cuerpos vertebrales, posicionados en

rotación, no presentaban deformidad ósea como podemos observar en los cortes de TC (fig. 5).

Los resultados de los grados de rotación de los cuerpos vertebrales, así como la magnitud de la asimetría posterior (giba), están resumidos en la tabla 2.

Estudio histológico

Los cartílagos neurocentrales habían desaparecido a nivel lumbar, persistiendo restos, interrumpidos por puentes a nivel dorsal (fig. 6 A). Se observaron cartílagos de

Tabla 2 Grados de rotación de los cuerpos vertebrales y asimetría posterior de la Muestra B

Vértebra	Rotación TC		Rotación Perdriolle		Giba
	Grado	Dirección	Grado	Dirección	Protrusión (mm)
T2	13°	Convexidad	10°	Convexidad	0
T3	14°	Convexidad	15°	Convexidad	0
T4	18°	Convexidad	15°	Convexidad	4
T5	20°	Convexidad	20°	Convexidad	7
T6	10	Convexidad	20°	Convexidad	5
T7	13°	Convexidad	23°	Convexidad	-
T8	19°	Convexidad	25°	Convexidad	-
T9	2°	Convexidad	15°	Convexidad	0
T10	17	Convexidad	0°	Convexidad	8
T11	23°	Convexidad	5°	Convexidad	15
T12	23°	Convexidad	5°	Convexidad	23
L1	25°	Convexidad	0°	Convexidad	28
L2	24°	Convexidad	0°	Convexidad	21
L3	23°	Convexidad	5°	Convexidad	15
L4	18°	Convexidad	5°	Convexidad	15
L5	19°	Convexidad	0°	Convexidad	15

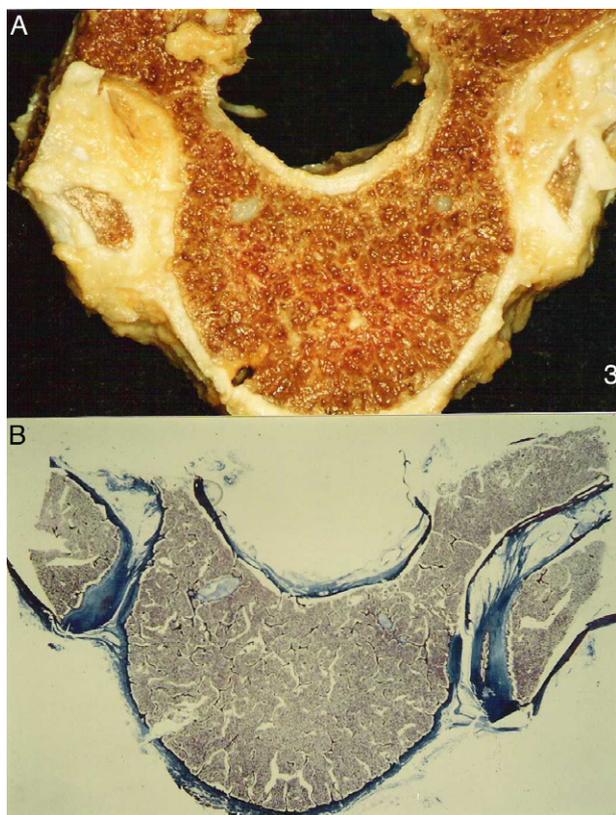


Figura 6 Corte axial de la vértebra T3 de la muestra B. Histológico (A) y microscópico (B) (tricromico de Masson, $\times 4$), donde se pueden observar islotes de cartílago neurocentral.

crecimiento epifisarios presentes con células condrales a todos los niveles (fig. 6 B). La osificación encondral de mayor actividad se encontraba en el lado de la convexidad de la curva.

Discusión

Existe muy poca información acerca del mecanismo de producción de las deformidades vertebrales en la escoliosis. En nuestra opinión este trabajo tiene gran interés por la rareza del material estudiado y por la información aportada, ya que ambas columnas pertenecían a pacientes que no habían terminado el crecimiento ni habían sido tratados. Consideramos que la nuestra es la primera descripción de columnas completas con escoliosis en edad de crecimiento. Nicoladoni³ estudió el raquis de 2 pacientes de 6 años y 5 meses y otro de 7 años, pero en ambas ocasiones tan solo analizó 2 cuerpos vertebrales por paciente.

En cuanto al estudio radiológico debemos mencionar que nuestros pacientes presentaban secuelas de parálisis cerebral infantil (PCI), pero desde el punto de vista del patrón de las curvas escolióticas, ambas eran distintas; el primer paciente (muestra A) presentaba una doble curva, característica del patrón de escoliosis idiopática, mientras que el segundo paciente (muestra B) presentaba un patrón claramente neuromiopático. Como hemos observado, la mayoría de los grados de las curvas escolióticas se originan en los discos intervertebrales. No encontramos deformidades óseas

en los cuerpos vertebrales a dichas edades. La capacidad de osificación que presentaban los cuerpos vertebrales era normal. Aunque hemos podido observar una mayor altura de los anillos apofisarios del cuerpo vertebral a nivel de la convexidad de la curva. Estos hallazgos se correlacionan con los descritos por Nicoladoni³. En nuestra opinión esta disparidad de actividad condral puede estar relacionada con las diferencias de las presiones a las que están sometidas estas estructuras.

Hemos estudiado el plano axial, observando la repercusión clínica producida por la rotación de los cuerpos vertebrales. Los resultados obtenidos con la TC son prácticamente superponibles a los obtenidos mediante el método de Perdriolle y Vidal⁶. Aunque, en su conjunto, la columna presenta una evidente rotación, no hemos observado deformidad en ninguno de los cuerpos vertebrales.

Para Veldhuizen et al.², durante el crecimiento la pérdida de estabilidad mecánica se origina en la deformidad de los cuerpos vertebrales y de las costillas, nuestros resultados sugieren que la deformidad del raquis se origina en discos intervertebrales, condicionados por fuerzas extrínsecas a la columna.

Según Roberts la estructura y forma del anillo intervertebral depende del tipo de moléculas que presenta y de la interrelación de estas⁷, hemos podido observar una desestructuración del disco intervertebral con una destrucción del anillo fibroso y desviación del núcleo pulposo hacia la convexidad de la curva. Algunos autores defienden que las alteraciones del disco intervertebral en la escoliosis podrían estar influidas por la osificación del cartílago de crecimiento que pueden interferir el flujo de nutrientes y metabolitos entre la placa fisaria y el disco intervertebral⁸, esta alteración de flujo podría explicar la disminución del número de células viables en el disco intervertebral en la escoliosis⁹, las cuales pueden producir una alteración en la distribución de las fibras elásticas¹⁰.

Como es sabido, el crecimiento de los cuerpos vertebrales se realiza a través de 2 estructuras cartilaginosas. El crecimiento en el plano frontal (altura) se produce gracias a la osificación encondral de los anillos apofisarios; cefálico y caudal de los cuerpos vertebrales. Mientras que el crecimiento en el plano axial (anchura) se produce por la actividad del cartílago neurocentral.

En la escoliosis existe un crecimiento desproporcionado de las vértebras¹, en nuestra muestra hemos observado distinta actividad de osificación en los anillos apofisarios, pudiendo estar relacionada con el acuñaamiento encontrado en el disco intervertebral. Quizás el gradiente de actividad condral podría ser debido a una asimetría de las presiones. Sospechamos que esta diferencia de actividad en los platinillos apofisarios podría ser una consecuencia, más que la causa, de la deformidad. Se han descrito alteraciones en el plano sagital causadas en teoría por una asimetría del crecimiento de los componentes anteriores¹¹, sin embargo no hemos observado estas alteraciones en los especímenes estudiados.

Parent et al.⁵ describieron un patrón de deformidad en las vértebras escolióticas⁵ en el análisis morfométrico realizado mediante un protocolo digital tridimensional. Este patrón se caracteriza por la presencia de acuñaamiento en la concavidad de la curva, con disminución de la anchura de los pedículos en la concavidad y alteraciones en

las articulaciones zigoapofisarias. También se han descrito estas alteraciones mediante la resonancia magnética con reconstrucción multiplanar¹², pero ambos estudios fueron realizados en especímenes de adulto, cuando la capacidad de crecimiento estaba agotada y la deformidades óseas establecidas.

Desde el punto de vista estructural y funcional el disco y la vértebra deben de ser reconocidos como 2 elementos de una misma unidad¹³. Por lo tanto, aunque la principal afectación la hemos objetivado en el disco intervertebral, la deformidad resultante puede afectar durante el crecimiento a los discos y a las vértebras.

A diferencia de lo descrito por otros autores, hemos encontrado actividad en el cartilago neurocentral en edades posteriores a los 6-8 años, especialmente a nivel torácico alto y cervical. La asimetría de actividad condral del cartilago neurocentral, que observó Nicoladoni³, podría estar relacionada con la rotación residual de las vértebras en la escoliosis.

Estas alteraciones en la forma y orientación de la columna parecen impulsadas por factores externos a la misma, todavía sin identificar¹⁴, la deformidad, mientras existe crecimiento, se produce en los elementos móviles.

Desde el punto de vista clínico, la aplicación de fuerzas correctoras, internas o externas, debe realizarse antes del cese del crecimiento, para que los discos intervertebrales, que mantienen la elasticidad, permitan corregir al máximo la deformidad antes de la maduración ósea.

A la vista de los resultados obtenidos podemos concluir que los cambios en la escoliosis, en raquis en crecimiento, se deben a factores externos a la columna, no encontrándose alteraciones a nivel estructural de la vértebra que justifiquen la existencia de la presencia de dicha deformidad.

La deformidad se inicia en los discos intervertebrales produciéndose secundariamente alteraciones a nivel de los anillos apofisarios y neurocentrales que pueden explicarse por la asimetría de las presiones entre el lado de la concavidad y de la convexidad.

Nivel de evidencia

Nivel de evidencia V.

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 en este artículo no aparecen datos de pacientes.

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

Declaración de autoría

José Luis Beguiristain y Julio Duart han participado en la concepción del estudio, su diseño, adquisición de datos, análisis de los mismos y redacción del trabajo.

Rafael Llombart ha trabajado en la revisión bibliográfica, ha aportado ideas sobre los primeros borradores y ha estado de acuerdo con el resultado final.

Julio Duart es el responsable del artículo.

Financiación

Trabajo no financiado.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Bibliografía

- Porter RW. The pathogenesis of idiopathic scoliosis: uncoupled neuroosseous growth? *Eur Spine J.* 2001;10:473-81.
- Veldhuizen AG, Wever DJ, Webb PJ. The aetiology of idiopathic scoliosis: biomechanical and neuromuscular factors. *Eur Spine J.* 2000;9:178-84.
- Nicoladoni C. Anatomie und mechanismus der skoliose. Berlin, Wien: Urban and Schwarzenberg; 1909.
- James JL. Infantile structural scoliosis. *J Bone Joint Surg.* 1959;B:719.
- Parent S, Labelle H, Skalli W, Latimer B, de Guise J. Morphometric analysis of anatomic scoliotic specimens. *Spine.* 2002;27:2305-11.
- Perdriolle R, Vidal J. A study of scoliotic curve The importance of extension and vertebral rotation (author's transl). *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.* 1981;67:25-34.
- Roberts S. Disc morphology in health and disease. *Biochem Soc Trans.* 2002;30:864-9.
- Roberts S, Urban JP, Evans H, Eisenstein SM. Transport properties of the human cartilage endplate in relation to its composition and calcification. *Spine.* 1996;21:415-20.
- Bibby SR, Fairbank JC, Urban MR, Urban JP. Cell viability in scoliotic discs in relation to disc deformity and nutrient levels. *Spine.* 2002;27:2220-8, discussion 2227-8.
- Yu J, Winlove PC, Roberts S, Urban JP. Elastic fibre organization in the intervertebral discs of the bovine tail. *J Anat.* 2002;201:465-75.
- Roaf R. The basic anatomy of scoliosis. *J Bone Joint Surg Br.* 1966;48:786-92.
- Liljenqvist UR, Allkemper T, Hackenberg L, Link TM, Steinbeck J, Halm HF. Analysis of vertebral morphology in idiopathic scoliosis with use of magnetic resonance imaging and multiplanar reconstruction. *J Bone Joint Surg Am.* 2002;84-A:359-68.
- Perey O, Rydman T. Idiopathic scoliosis, a preliminary report. *Acta Orthop Scand.* 1962;32:39-45.
- Parent S, Newton PO, Wenger DR. Adolescent idiopathic scoliosis: etiology, anatomy, natural history, and bracing. *Instr Course Lect.* 2005;54:529-36.