

seram

Sociedad Española de Radiología Médica

34

Congreso Nacional

PAMPLONA $\frac{24}{27}$ MAYO 2018

Palacio de Congresos Baluarte

23 mayo Cursos Precongreso

Radiología esencial de la columna lumbar degenerativa: actualizando conceptos

Santiago Carbullanca Toledo

Ivan Garcia Duitama

Alberto Solano Lopez

Jesus Ares Vidal

Anna Agusti Claramunt

Marta Vilas Gonzalez

Parc
de Salut
Barcelona

MAR

Objetivos

1. Acercar al radiólogo al conocimiento de la patología lumbar degenerativa, revisando el espectro de enfermedades comprendidas y sus manifestaciones radiológicas.
2. Exponer la nomenclatura más aceptada en la práctica radiológica así como los criterios diagnósticos más actualizados hasta la fecha.
3. Nuevas técnicas y perspectivas futuras.

Columna lumbar degenerativa

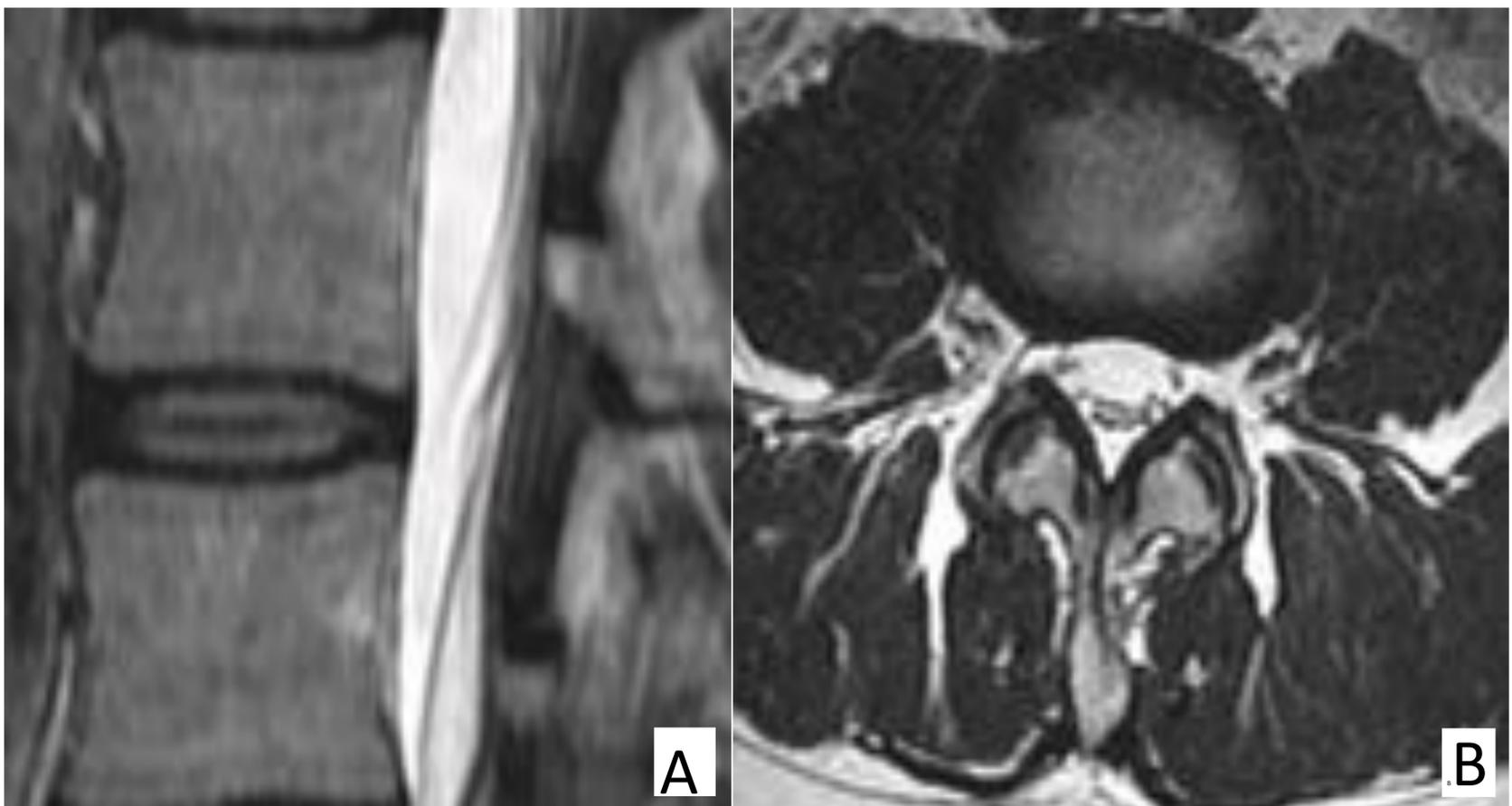
Definición:

La degeneración lumbar es el resultado inevitable del desequilibrio de las cargas mecánicas, cambios morfológicos y bioquímicos que afectan la columna vertebral. Las principales estructuras afectadas incluyen los **discos intervertebrales, plataformas vertebrales, articulaciones facetarias, ligamentos y la musculatura de la columna vertebral**, que en un proceso continuo de degeneración / compensación dan lugar a diferentes patologías.

Columna lumbar fisiológica

En la columna vertebral normal, los cuerpos vertebrales están alineados en los planos sagital / coronal, los discos intervertebrales conservan la altura y presentan una intensidad de señal alta en T2 manteniendo sus límites confinados a los platillos terminales .

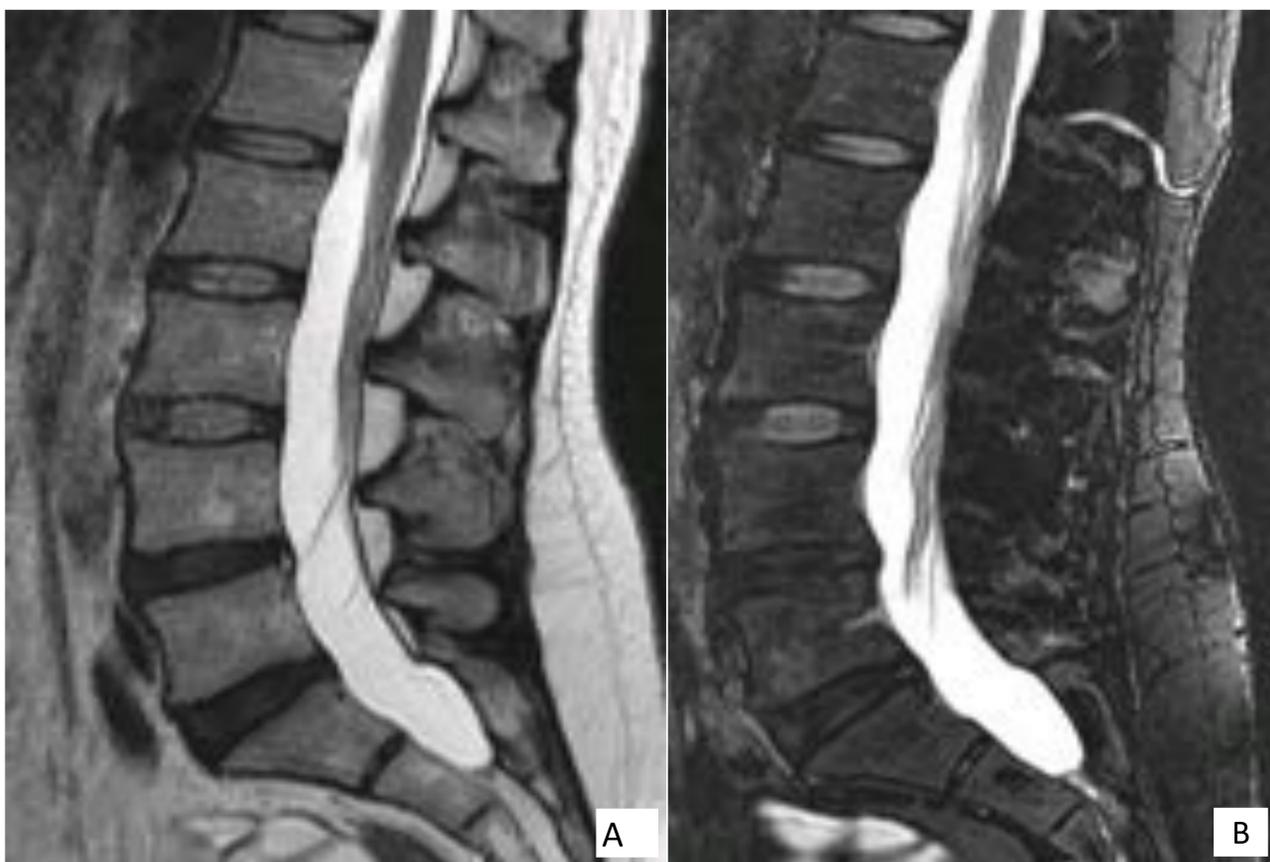
La lordosis normal promedio es $33.2^{\circ} \pm 12.1^{\circ}$ (medida desde el platillo superior de T12 - S1).



Apariencia normal del disco. A) T2 Sagital. B) T2 Axial
El anillo fibroso no debe superar los límites apofisiarios.

Patología del disco y cambios vertebrales reactivos asociados

En los discos se pueden observar varias afecciones relacionadas con la degeneración: estrechamiento del espacio discal, disminución del contenido de líquido y fibrosis en el núcleo pulposo, degeneración mucinosa del anillo fibroso, gas intradiscal y las subcategorías especificadas a continuación.



Los discos degenerados muestran disminución de la altura así como de la intensidad de la señal en T2 (A) y T2 FatSat (B).

Fisura anular

Corresponden a separaciones entre las fibras anulares del disco intervertebral o separaciones de las fibras de sus uniones al hueso.

Clasificación

Concéntrico: el defecto es paralelo a la orientación de las fibras laminares (orientación del contorno).

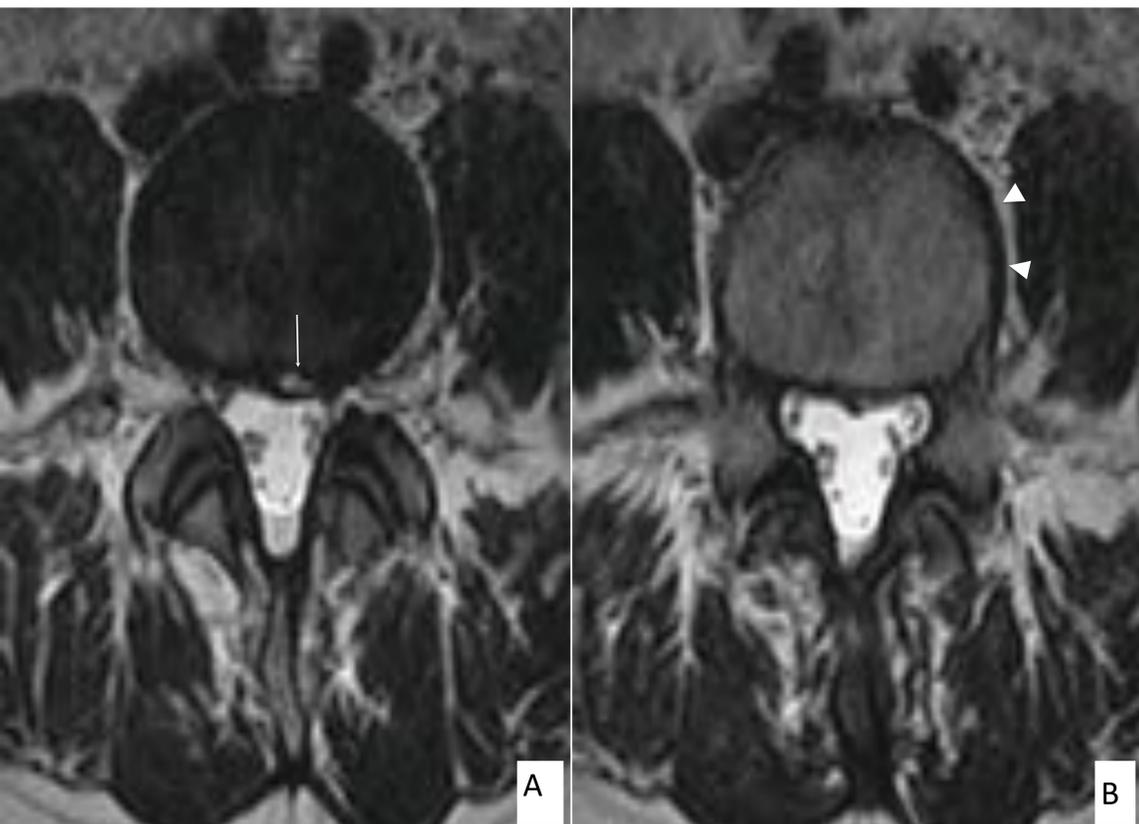
Transversal: defecto en la fijación anular en el borde de la plataforma terminal.

Radial: interrupción lamelar total a través del margen externo (entre la periferia del anillo y el núcleo).

Hallazgos en RM.

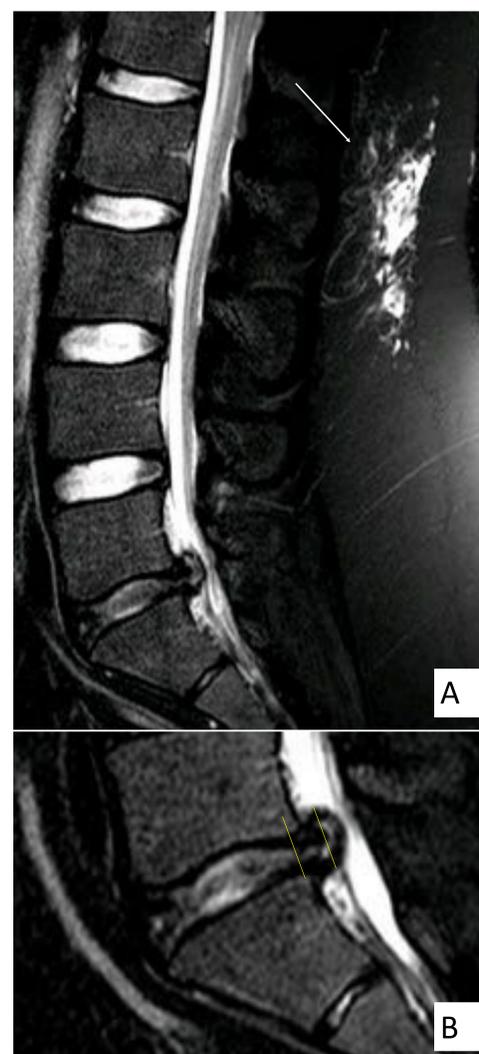
T2: zona de aumento de señal focal (lineal o nodular) en el margen del disco.

T1 C +: (no es necesario para el diagnóstico) +/- captación.



A: Abombamiento difuso asimétrico, visible en la mitad izquierda del disco. Fisura longitudinal en el anillo posterior (flecha).

B: imagen inferior inmediata que muestra el platillo vertebral y abombamiento del disco aún visible (puntas de flecha).



T2 SPAIR Sagital (A) e imagen ampliada (B) a nivel de L5-S1. Extrusión del disco con fisura del anillo posterior. Linfedema subcutáneo, un hallazgo muy común después del decúbito supino prolongado (flecha).

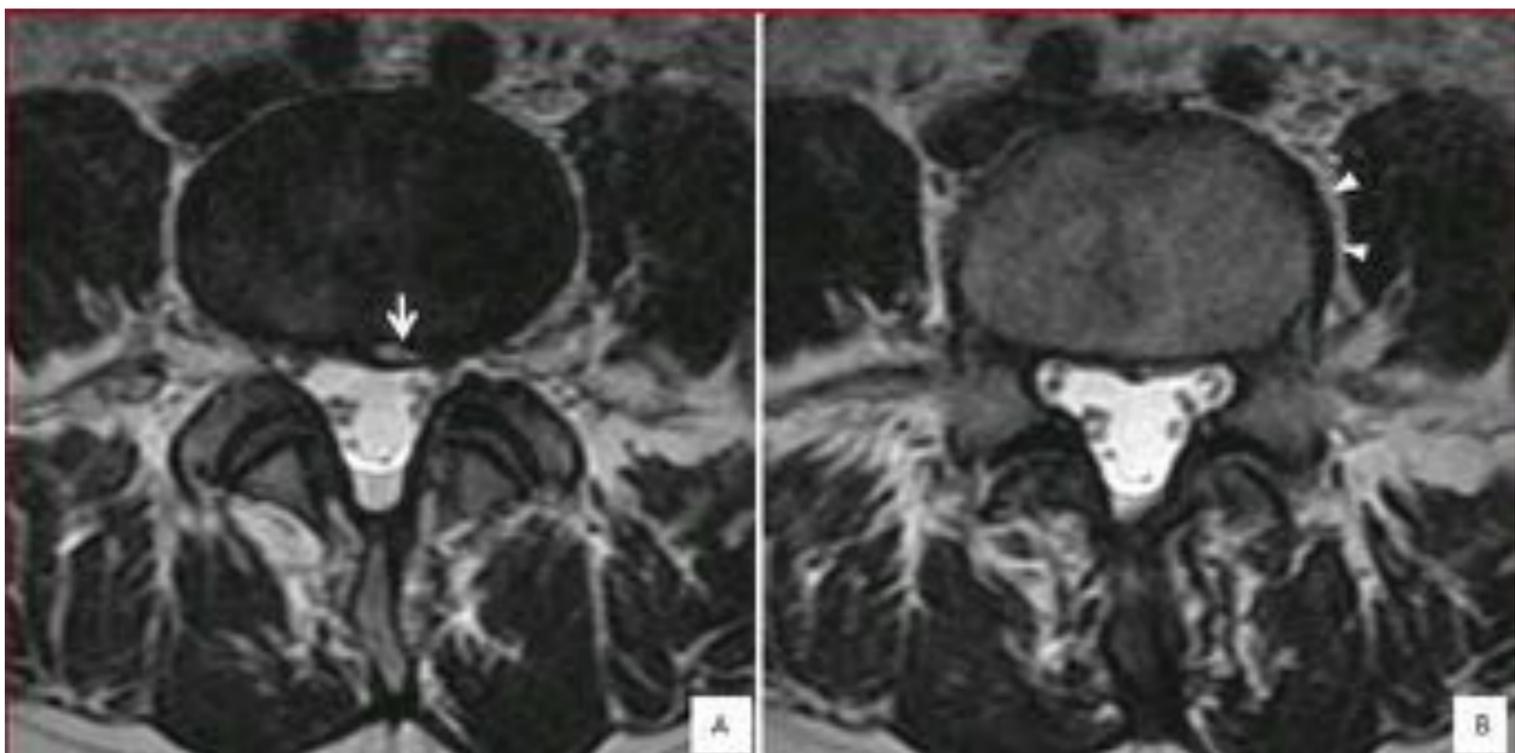
Abombamiento difuso del disco

Describe el tejido del disco circunferencial que se extiende más allá de los límites de los platillos terminales vertebrales que implican > 25% o 90° de circunferencia del disco. Por lo general, el disco sobresale menos de 3 mm más allá del borde de las apófisis. Como hallazgo aislado se considera como parte del proceso de envejecimiento normal.

Subtipos

Simétrico: abultamiento homogéneo.

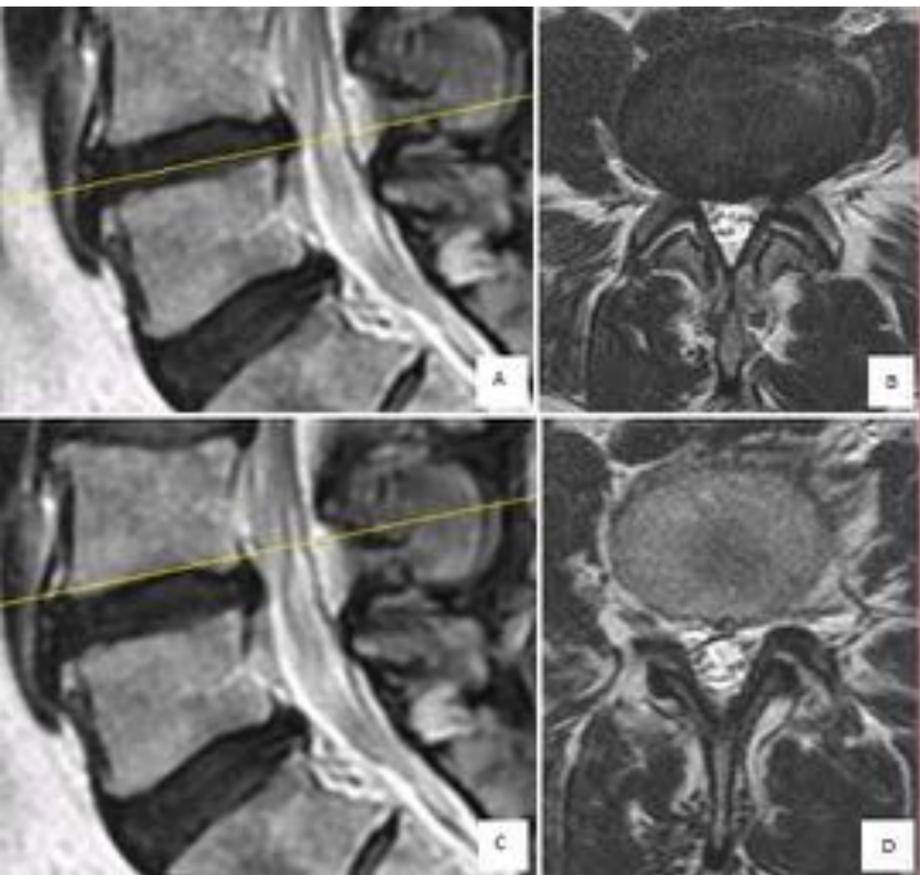
Asimétrico: predomina el abultamiento en una región determinada.



A: Abombamiento difuso asimétrico, visible en la mitad izquierda del disco. Fisura longitudinal en el anillo posterior (flecha).

B: imagen inferior inmediata que muestra el platillo vertebral y abombamiento del disco aún visible (puntas de flecha).

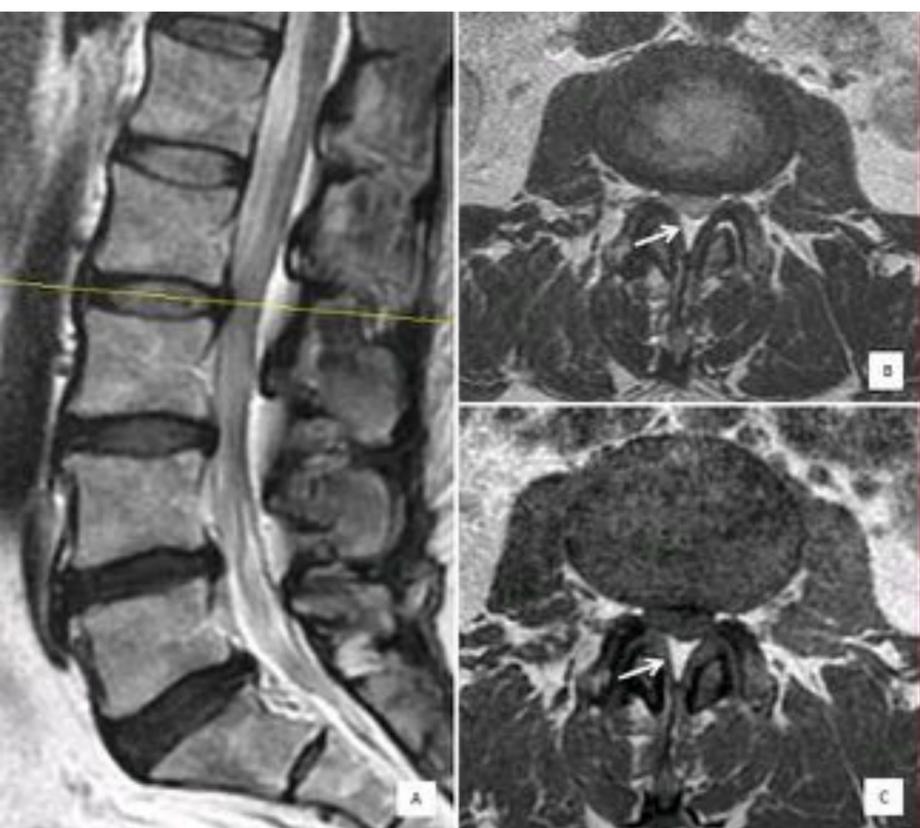
Abombamiento difuso del disco



Abombamiento difuso del anillo.

T2. A, B: en el nivel del disco.

C, D: inmediatamente sobre el nivel del disco. Tenga en cuenta que el disco sobresale homogéneamente más allá de las apófisis del cuerpo vertebral



Sagital T2 (A) y axial T2 (B) y T1 (C).

Abombamiento difuso y lipomatosis epidural que condicionan estenosis del canal severa en L2-L3. Tenga en cuenta la ausencia completa de líquido cefalorraquídeo -LCR- alrededor de las raíces nerviosas (B). En las imágenes axiales, la grasa epidural posterior no debe confundirse con LCR (flechas).

Hernia discal

Se define como un desplazamiento localizado (<25% o <90° de la circunferencia) del material del disco más allá de las plataformas vertebrales del cuerpo o las apófisis. La ubicación de la hernia se describe como central, subarticular derecha / izquierda, foraminal derecha / izquierda y extraforaminal derecha / izquierda.

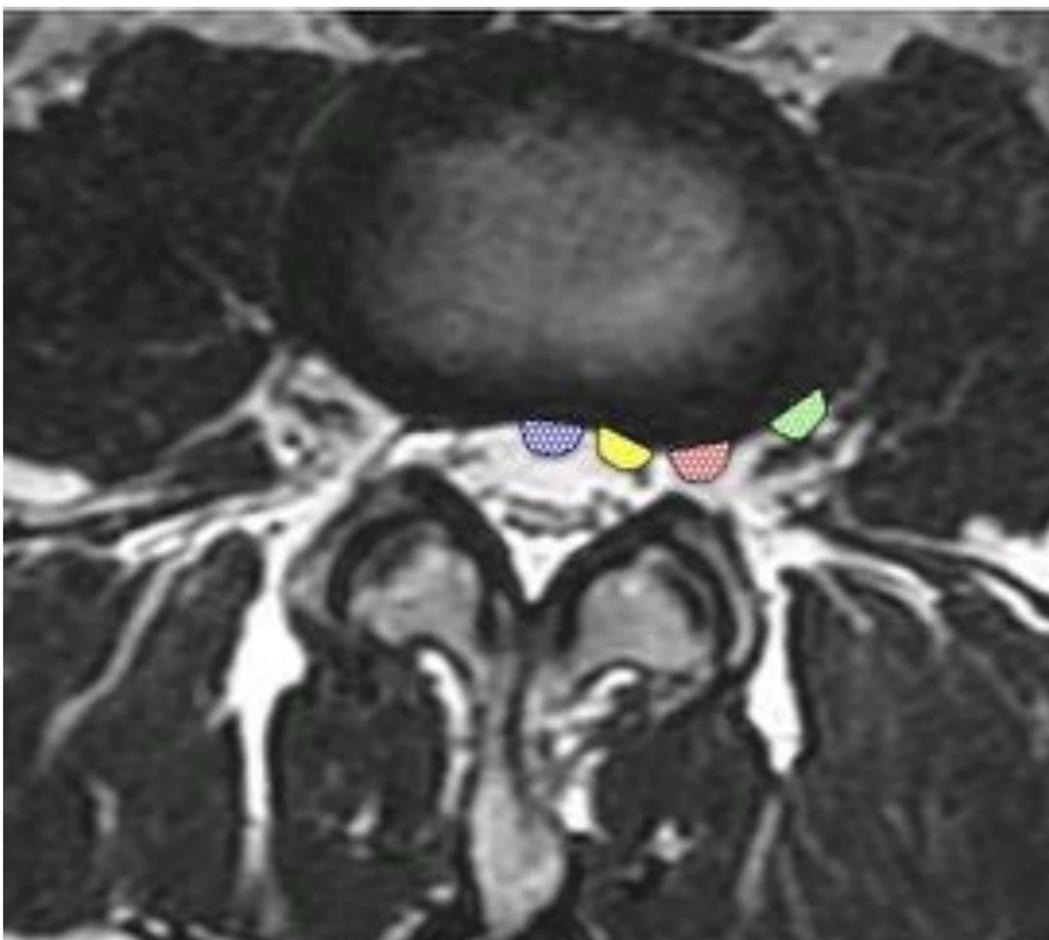
Subtipos

Protrusión: la dimensión más grande del material herniado en cualquier plano es menor que su base

Extrusión: hernia de base estrecha. La dimensión más grande del material herniado es mayor que su base.

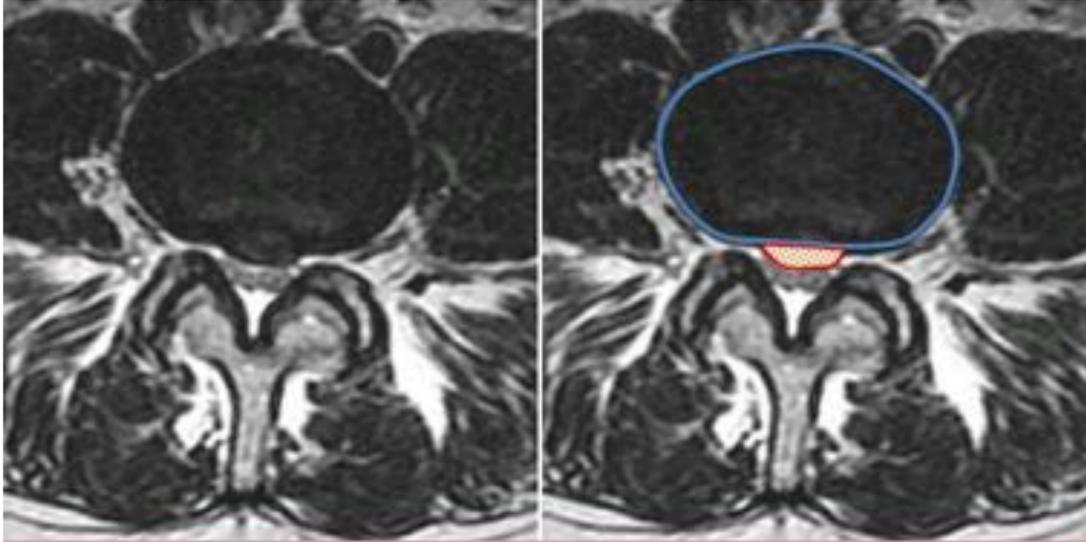
Migración: desplazamiento del material herniado lejos de la apertura en el anillo a través del cual el material se ha extruido. Hay conexión con el disco de origen. Puede migrar craneal o caudal en diferentes niveles. Aunque con menor frecuencia, la migración puede ocurrir en el plano axial (paracentral, foraminal, extraforaminal o posterior epidural). La migración intradural ocurre en menos del 1% de las hernias y su diagnóstico a veces no se puede realizar en imágenes. Se considera característico un contorno en forma de pico del material herniado intratecal.

Secuestro: se refiere a un fragmento sin continuidad con el disco de origen

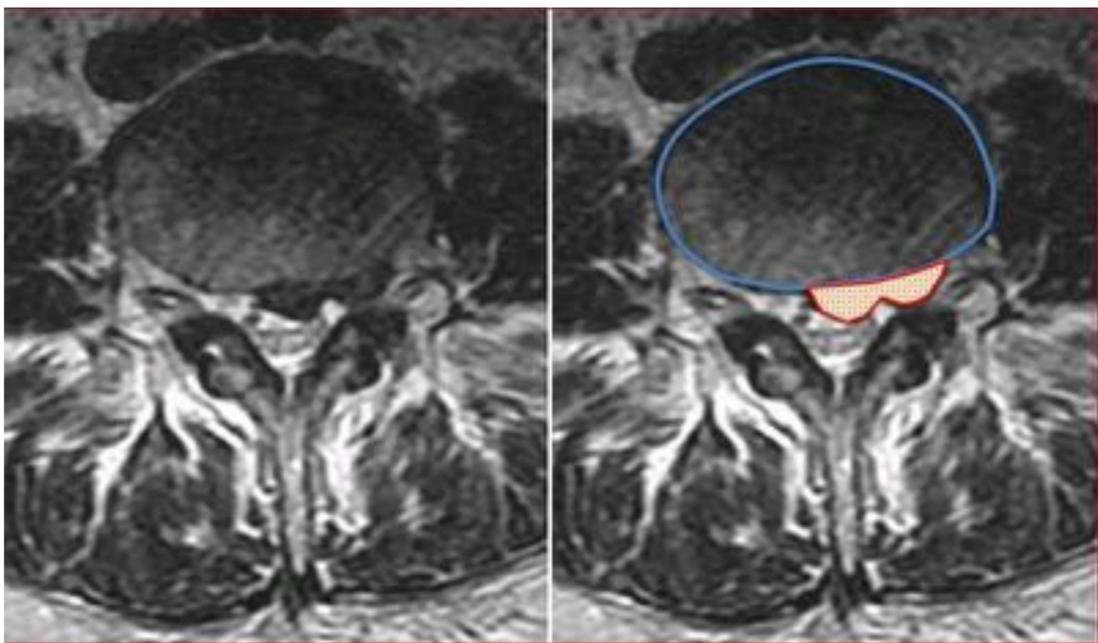


Nomenclatura de hernia discal:
central (azul); subarticular (amarillo); foraminal (rojo); extraforaminal (verde).

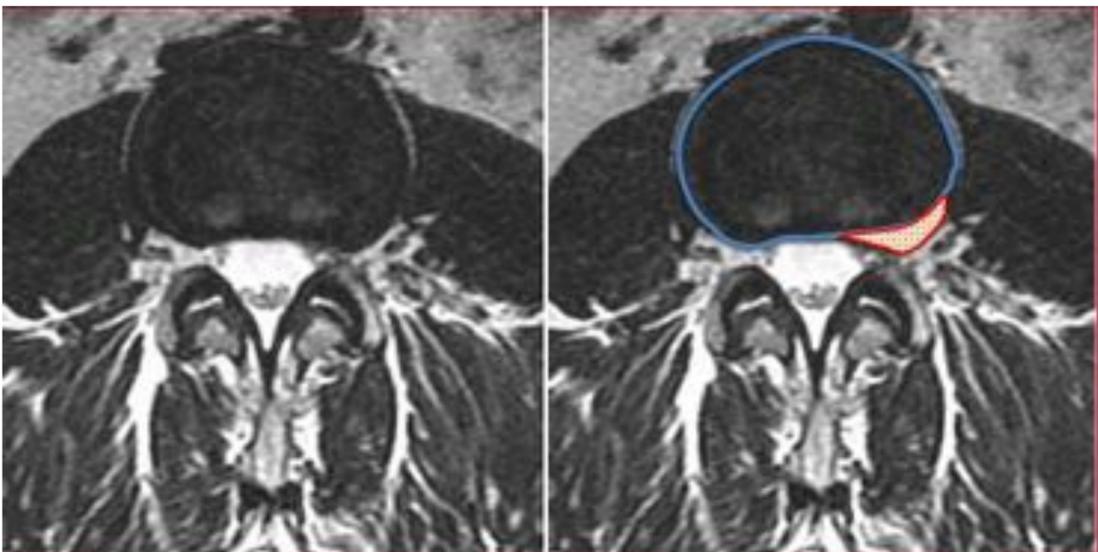
Hernia discal



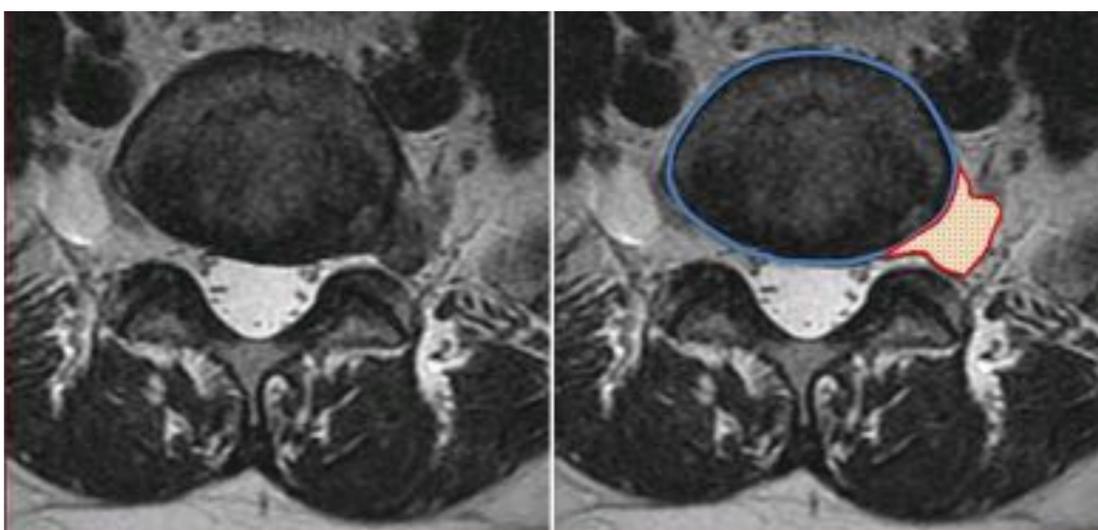
Axial T2. Hernia discal central



Axial T2. Hernia de disco bilobulada con componentes central, subarticular y foraminal izquierdo.



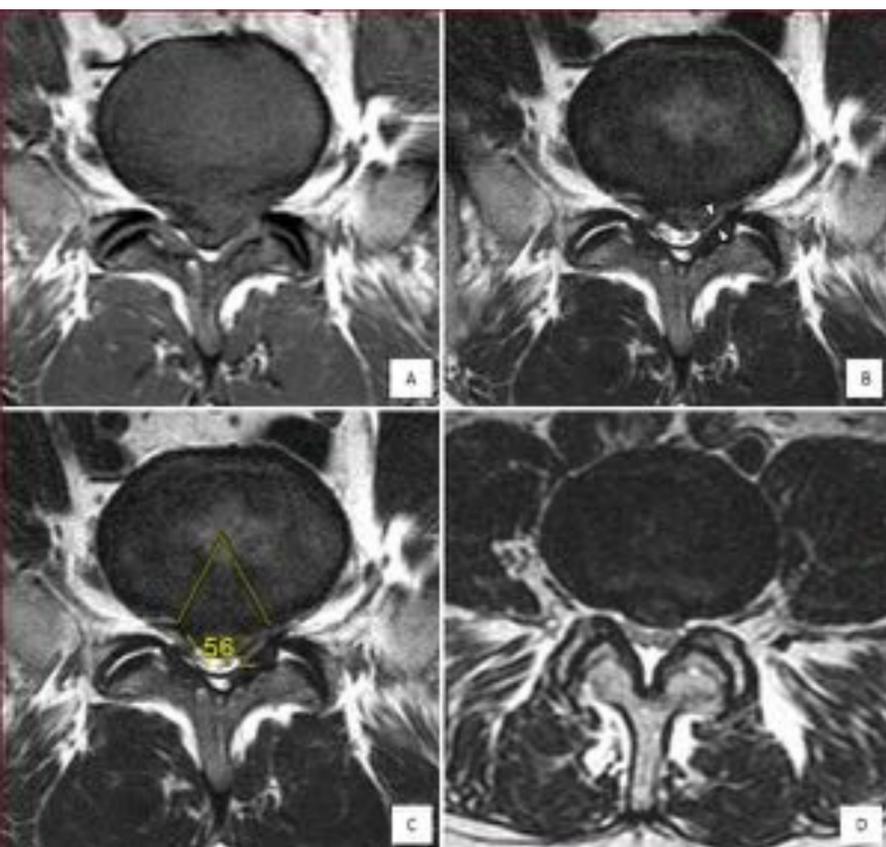
Axial T2. Hernia foraminal izquierda.



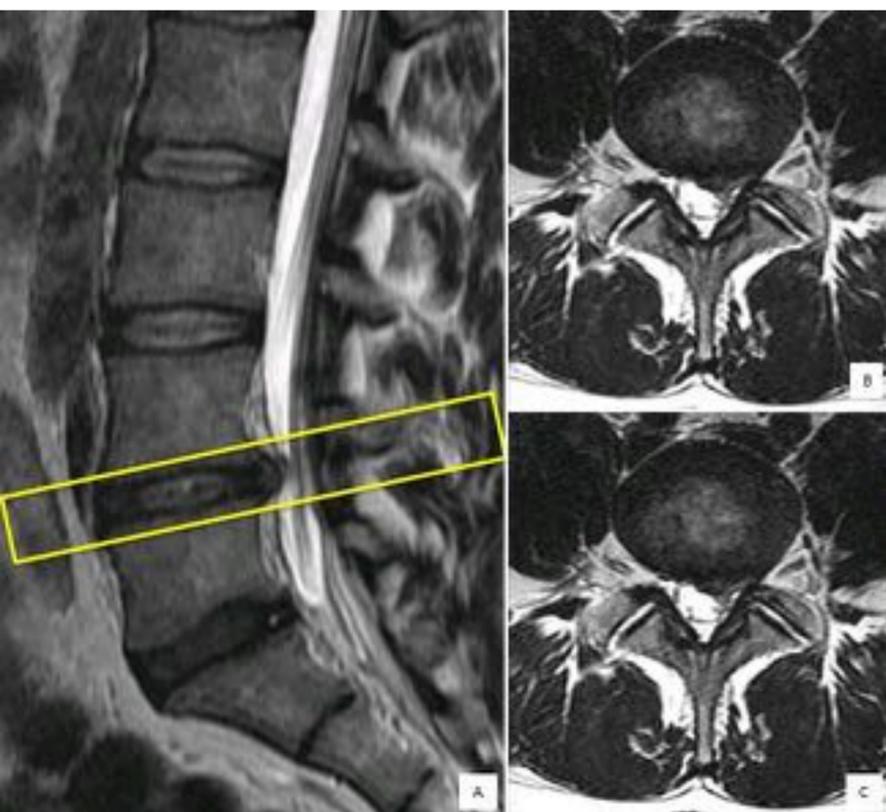
Axial T2. Hernia extraforaminal izquierda.

Hernia discal

Protrusión



Axial T1(A) y T2(B-D). A, B, C: Hernia discal de base amplia central posterior que produce moderada estenosis del canal y estenosis del receso lateral izquierdo (puntas de flecha en B). La base del disco herniado representa alrededor de 56° de la circunferencia del disco. D: otro paciente con hernia de disco central de base estrecha.



Sagital (A) y Axial T2 (B, C). Hernia de base amplia central izquierda

Hernia discal

Extrusión

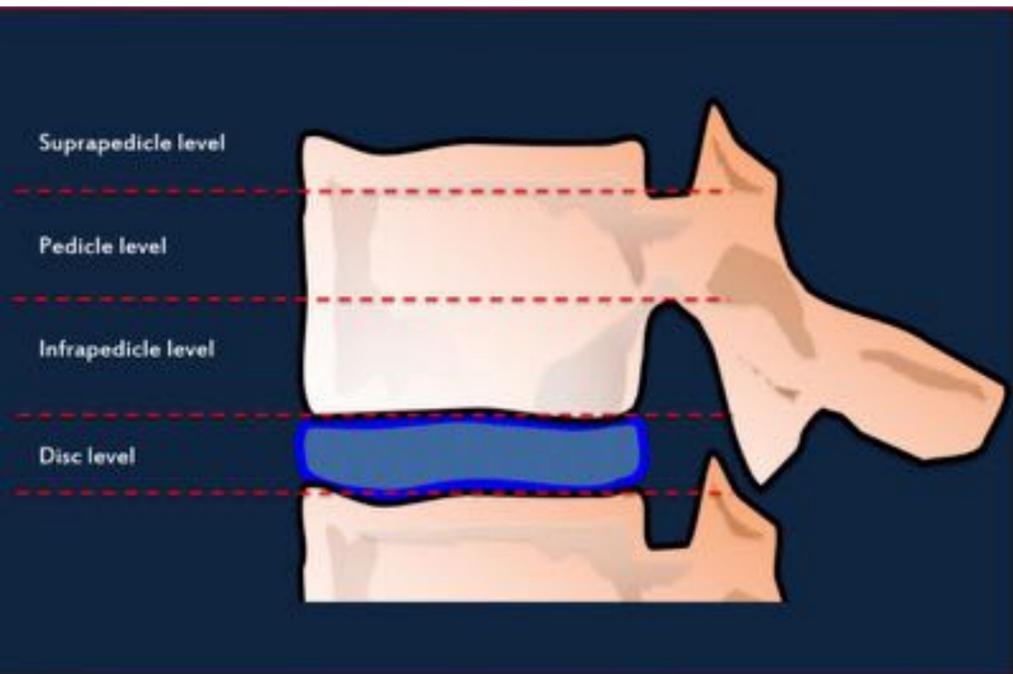


Sagital T2 SPAIR (A) e imagen ampliada a nivel del disco L5-S1 (B). Extrusión del disco con fisura del anillo posterior. El cuerpo de la hernia es más grande que su cuello: las líneas amarillas miden lo mismo.

Linfedema subcutáneo, un hallazgo muy común después del decúbito supino prolongado (flecha).

Hernia discal

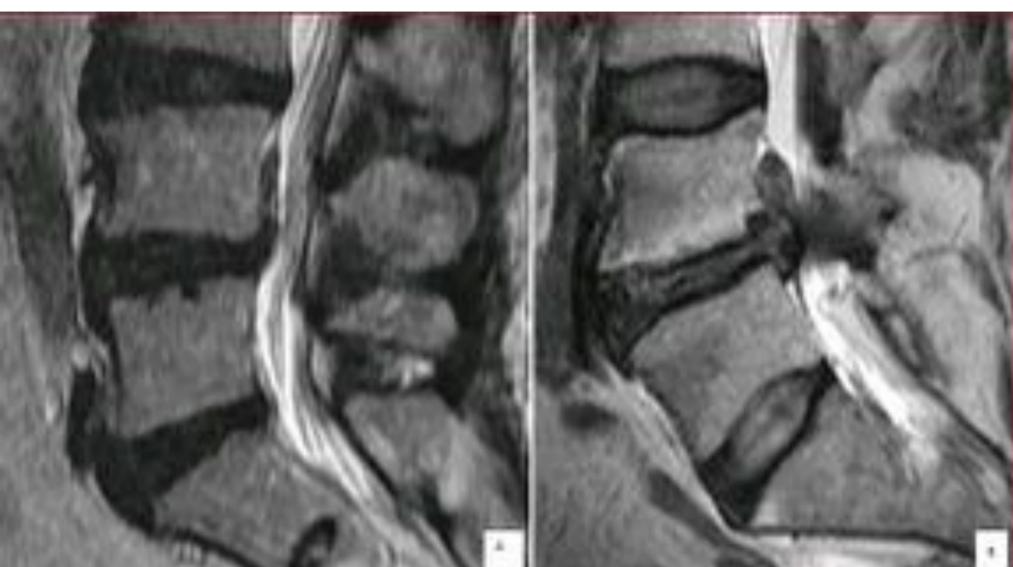
Migración



Niveles de migración. Las hernias de disco pueden migrar hacia caudal o craneal. La parte superior de la hernia debe describirse en uno de estos niveles.



Imágenes sagitales TC (A) y axiales (B), T2 axial correspondiente (C). Abombamiento difuso con una hernia discal concomitante que migra cranealmente al nivel pedicular (puntas de flecha). Estenosis severa del canal secundaria, dada la ausencia de LCR alrededor de las raíces nerviosas



T2 sagital en dos pacientes diferentes (A, B). Ejemplos de migración craneal de hernias discales que alcanzan el nivel pedicular (pedículos no mostrados).

Hernia discal

Secuestro



Secuestro. Fragmento migrado inferiormente (flechas) que ha perdido su continuidad con el disco L4-L5 original.

Nódulo de Schmorl (herniación intravertebral)

Herniación del núcleo pulposo a través del platillo terminal cartilaginosa - ósea en el cuerpo vertebral. Tienden a ser un hallazgo incidental. Si existe dolor hay que buscar edema.



Sagital T1 (A), T2 (B) y STIR (C). Hernia de disco intravertebral aguda / subaguda (Nódulo de Schmorl) con cambios equivalente a Modic tipo I.



Degeneración severa del disco con cambios de Modic tipo III (esclerosis) y una hernia de disco intravertebral (Nódulo de Schmorl)

Cambios degenerativos de los platos vertebrales

Cambios degenerativos que involucran los platos vertebrales y los cuerpos vertebrales adyacentes asociados a inflamación del disco y discopatía degenerativa.

Clasificación de Modic

Tipo I: degeneración aguda del disco (infiltración fibrovascular ósea, inflamación y edema).

RM: T1 baja señal; T2 / STIR alta señal.

Tipo II: degeneración crónica del disco (infiltración grasa de los platos terminales).

RM: T1 alta señal; T2 iso / ligeramente hiperintensa.

Tipo III: degeneración crónica del disco (osteosclerosis de los platos).

RM: T1 y T2 baja señal.

TC: esclerosis de la placa terminal.

Cambios degenerativos de los platillos vertebrales

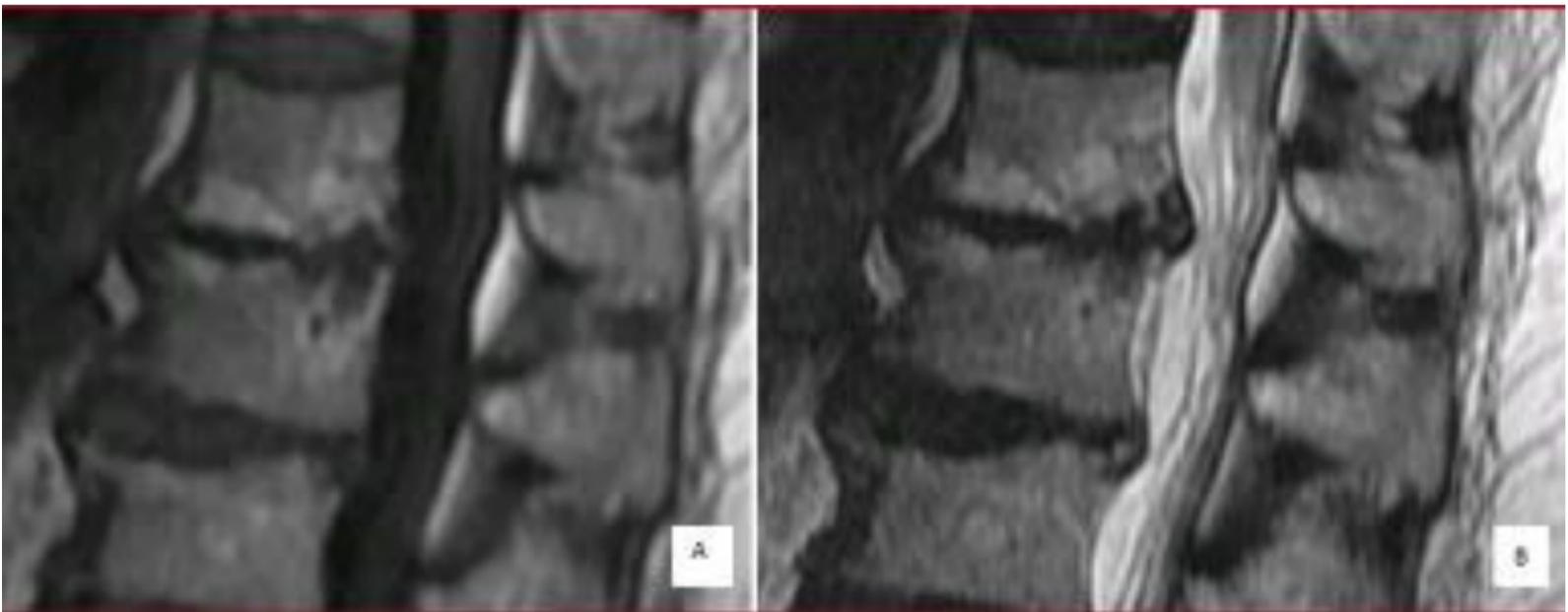


Rx lateral (A) y sagital T1 (B), T2 (C) y T2 SPAIR (D). Espondilosis leve (osteofitos) , cambios de Modic tipo II (L1-L2) y tipo I-II (L4).

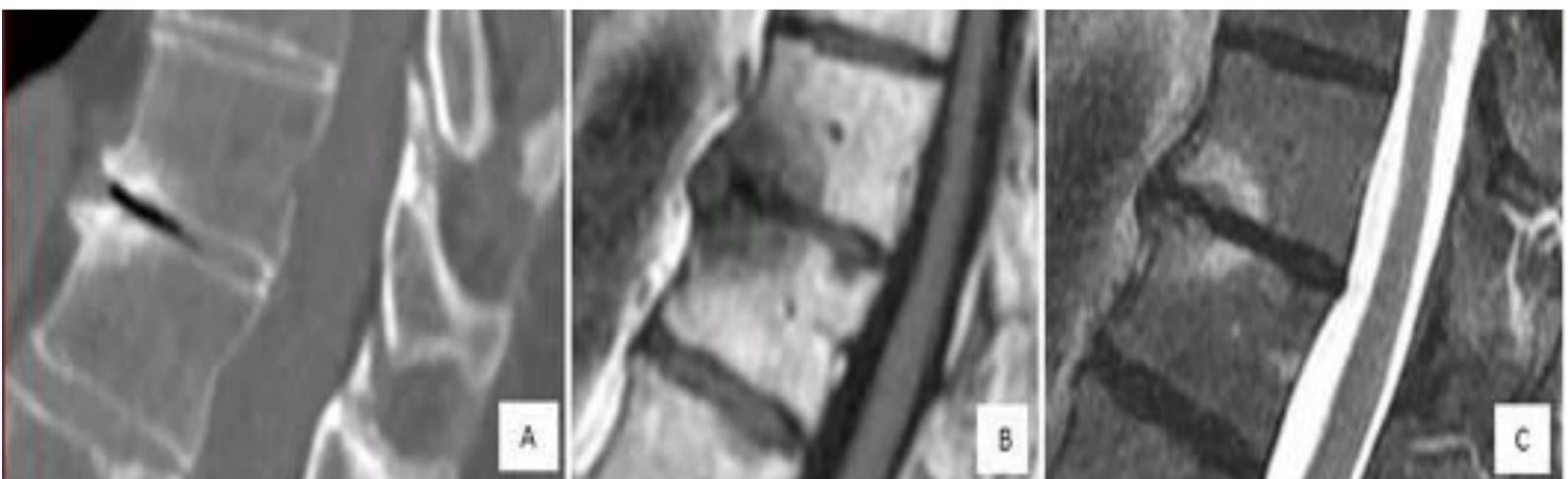


TC coronal. Espondilosis moderada (osteofitos) y cambios de Modic tipo III (esclerosis del platillo vertebral).

Cambios degenerativos de los platillos vertebrales



Sagital T1 (A) y T2 (B). Patrón de osteocondrosis superpuesto con cambios de Modic tipo II. La irregularidad de los platillos vertebrales es la consecuencia de la degeneración del disco.



TC sagital (A), T1 (B) y STIR (C). Los cambios de Modic tipo III pueden estar ocultos en la resonancia magnética, en este caso coexistiendo con los cambios de tipo I. Las combinaciones de tipo I, II y III se pueden encontrar en el mismo cuerpo vertebral reflejando el desarrollo dinámico de la degeneración.

Artrosis Facetaria

Representa el desarrollo de la osteoartritis en las articulaciones lumbares apofisarias con revestimiento sinovial. Se caracteriza por el estrechamiento del espacio articular y el crecimiento excesivo de las facetas óseas en los agujeros neurales.

Escala de calificación :

Grado 0: normal.

Grado I: estrechamiento leve e irregularidad articular.

Grado II: estrechamiento moderado e irregularidad articular, esclerosis y formación de osteofitos.

Grado III: estrechamiento grave y pérdida casi total del espacio articular, esclerosis y formación de osteofitos.

Hallazgos de TC:

Osteofitos articulares facetarios que producen estrechamiento foraminal.

Estrechamiento del espacio articular con esclerosis y proliferación ósea.
+/- cambios inflamatorios de tejidos blandos que rodean la articulación facetaria.

Hallazgos en RM:

T1 y T2: estrechamiento del espacio articular, adelgazamiento del cartílago articular y engrosamiento sinovial variable. Proliferación de osteofitos que estrechan los agujeros neurales, engrosamiento de ligamentos amarillos

STIR: +/- edema (similar al tipo I de Modic).

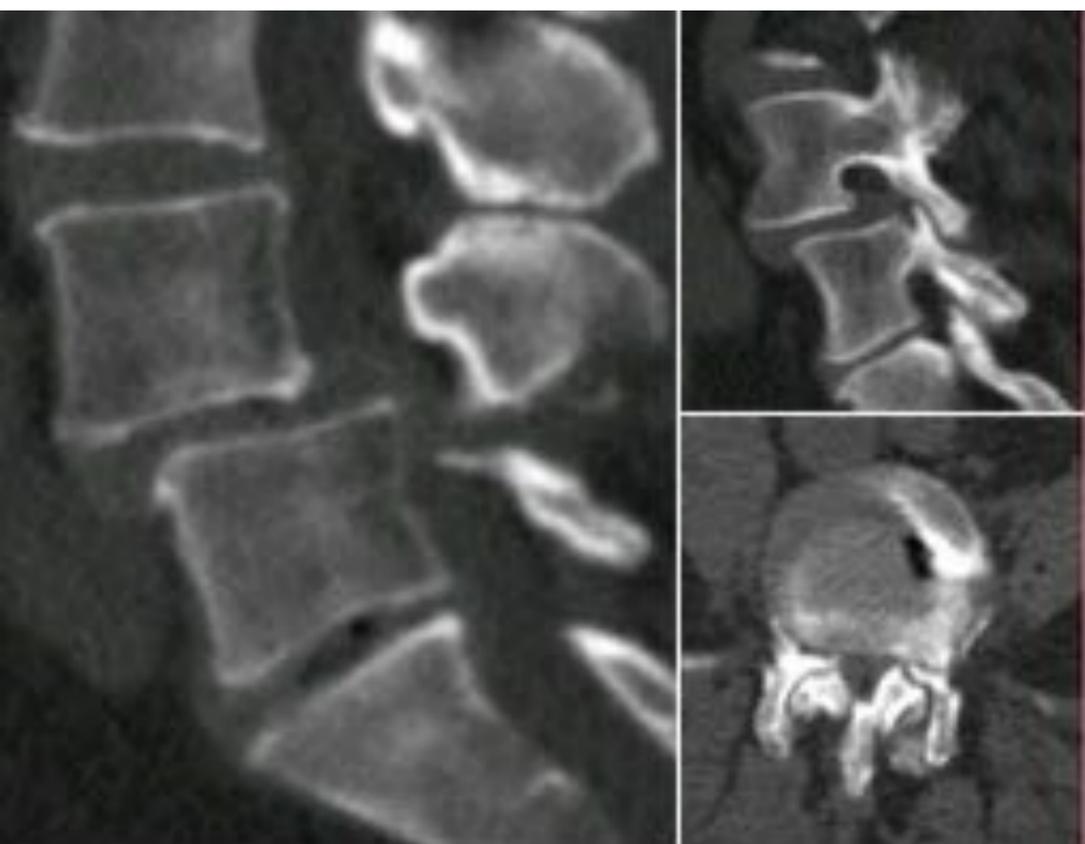
T2 / STIR: derrame de la articulación facetaria si sinovitis .

T2 * GRE: no es necesario para el diagnóstico. Mejor definición de osteofitos .

Artrosis Facetaria

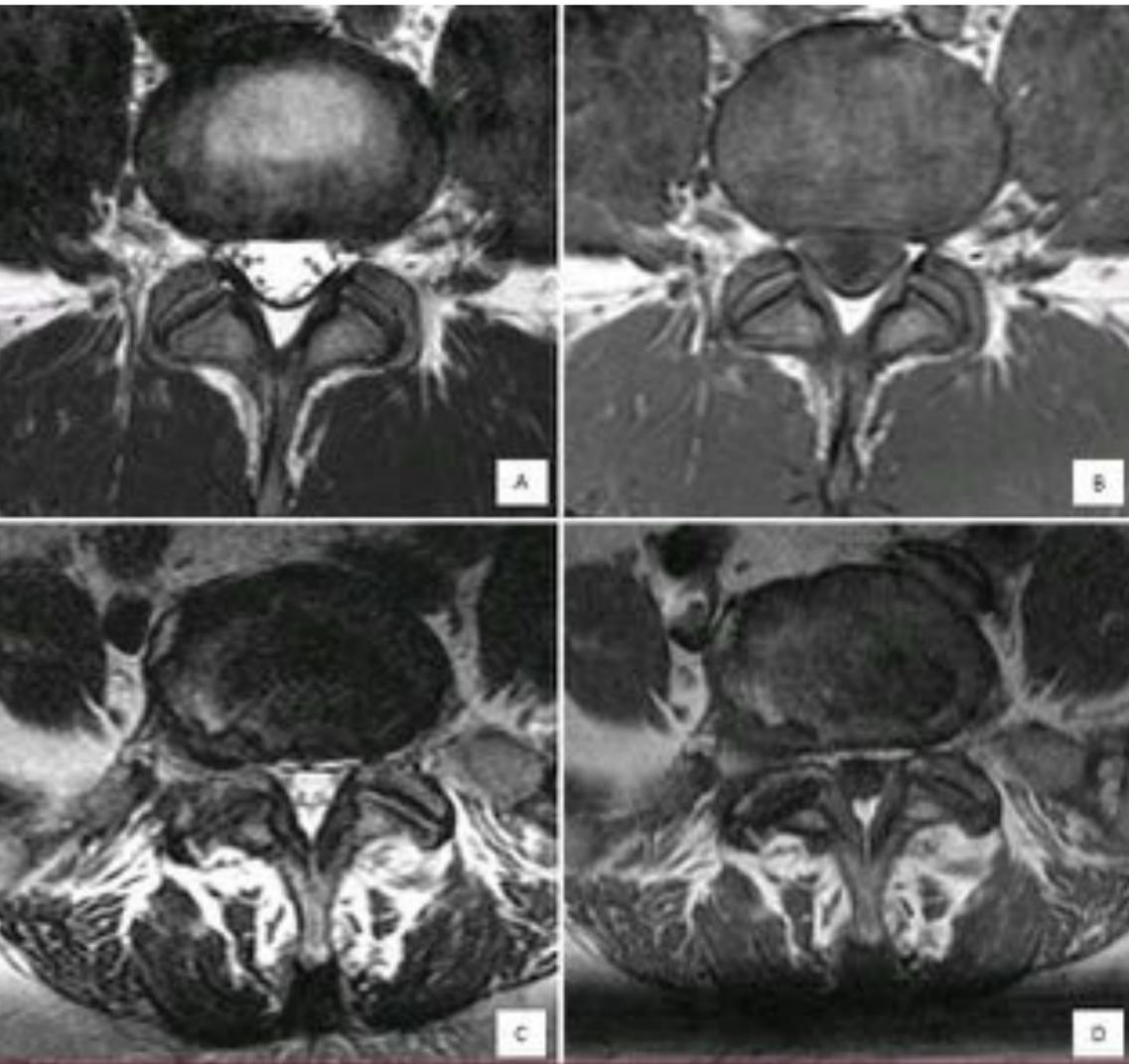


TC sagitales y axiales de dos pacientes. Obsérvese la estenosis del canal constitucional en un paciente con pedículos cortos (A, C). Compare con el canal de tamaño normal en otro paciente (B, D). Como en este caso, la degeneración de las articulaciones facetarias y de los discos puede empeorar la estenosis, por lo que es sintomática.

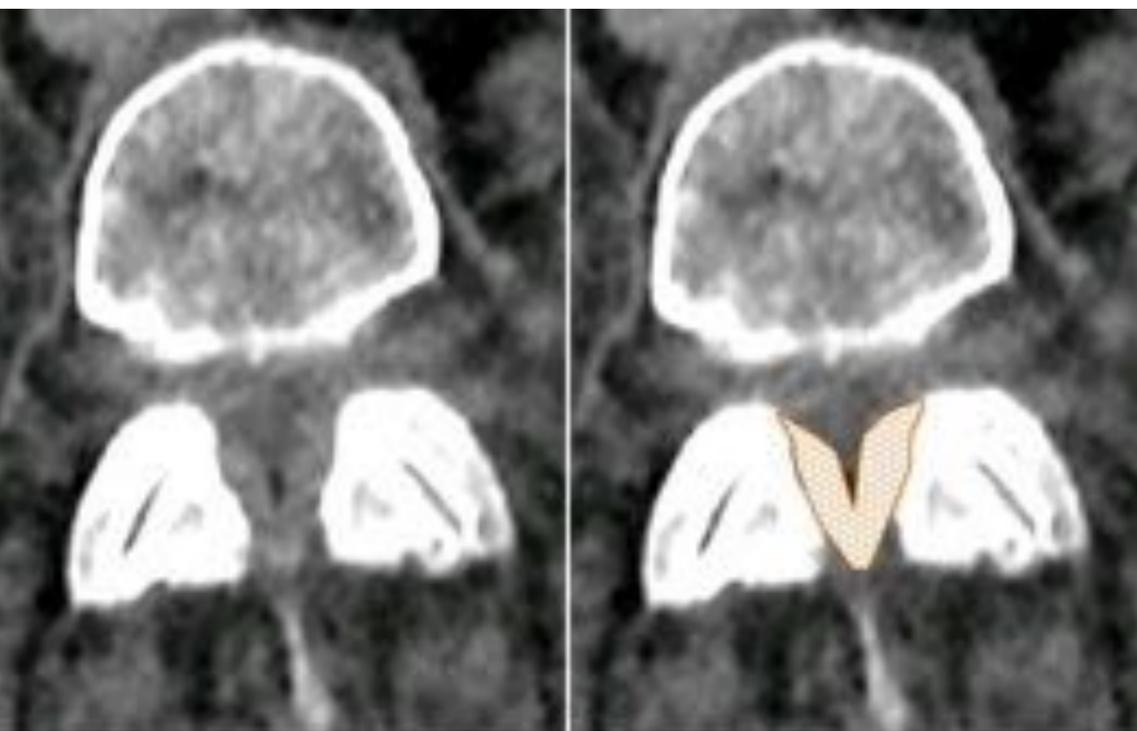


Espondilolistesis de grado II degenerativa y estenosis grave del canal central. Tenga en cuenta la pronunciada hipertrofia de la articulación facetaria y la ausencia de espondilólisis.

Artrosis Facetaria



Axial T1 (A, C) y T2 (B, D). Imágenes superiores: articulaciones facetarias y ligamento amarillo normales, canal central y receso lateral sin alteraciones. Imágenes bajas: articulaciones facetarias con osteofitos asociados con hipertrofia del ligamento amarillo derecho.



TC axial que demuestra hipertrofia de ligamento amarillo (área naranja punteada) en un paciente con hipertrofia de articulaciones facetarias leves. La hipertrofia ligamentosa puede ocurrir sola o en asociación con la degeneración de la articulación facetaria. Existe cierto grado de estenosis del canal secundario.

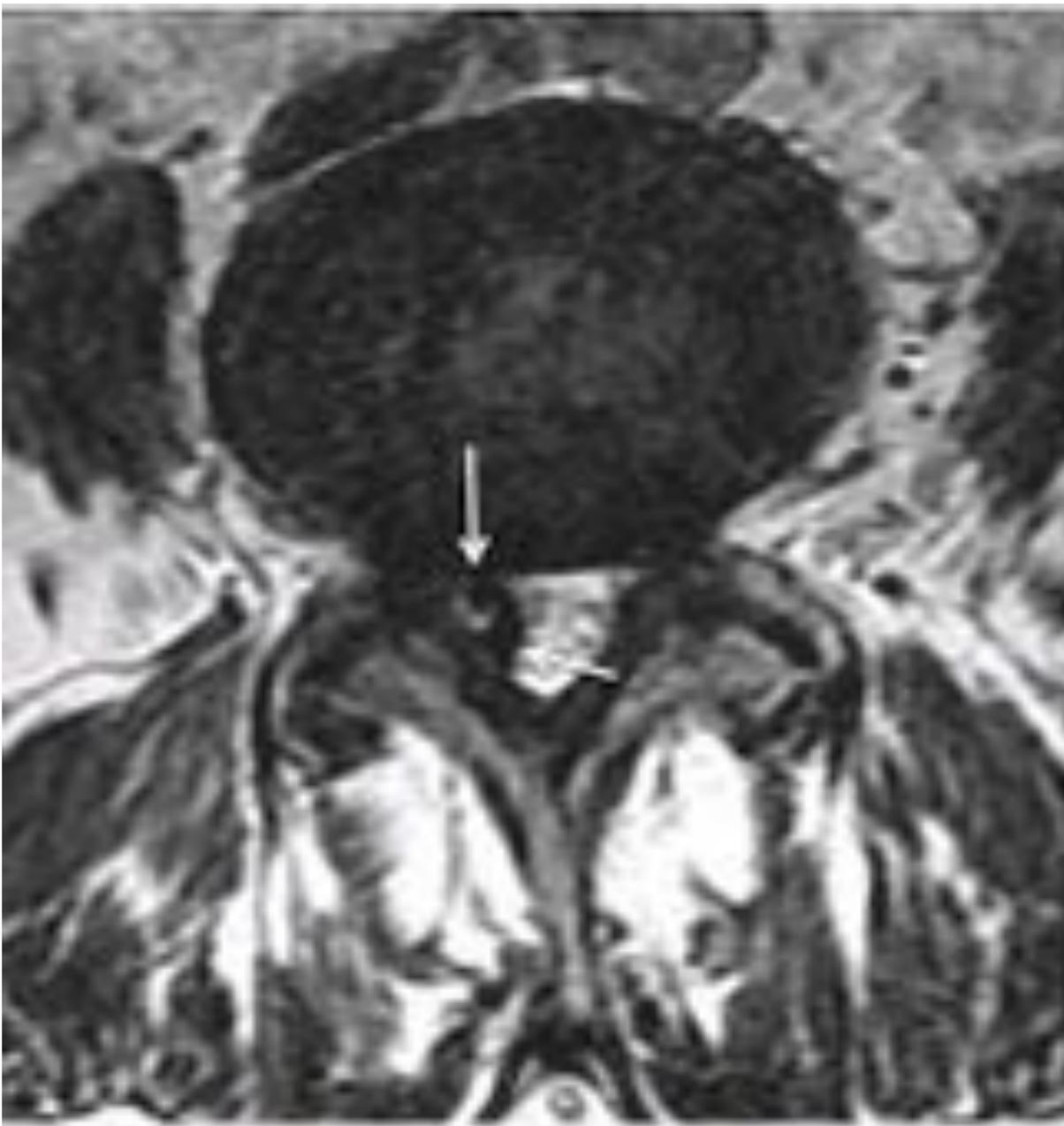
Quiste sinovial de la articulación facetaria

Quiste sinovial formado a partir de una articulación facetaria degenerada. Masa quística extradural posterolateral característica que se comunica con la articulación facetaria .

Resonancia magnética:

Masa bien circunscrita adyacente a la articulación facetaria con intensidad de señal similar al líquido cefalorraquídeo (LCR).

T1WI C +: +/- captación de la pared.



Axial T2WI. Osteoartritis bilateral de la articulación facetaria con quiste sinovial derecho (flecha) que produce estenosis del receso lateral derecho.

Trastornos degenerativos y desalineación vertebral

La degeneración discal y de las articulaciones facetarias provoca laxitud y pérdida de la capacidad para gestionar la carga axial provocando una desalineación de la misma.

Listesis se refiere al desplazamiento de un cuerpo vertebral en relación con el inferior, anterolistesis es cuando ocurre el deslizamiento anterior y retrolistesis es cuando el deslizamiento se produce hacia posterior. Cuando se relaciona con cambios degenerativos se llama espondilolistesis, a menudo asociada a estenosis del canal.

Clasificación Meyerding de la espondilolistesis.

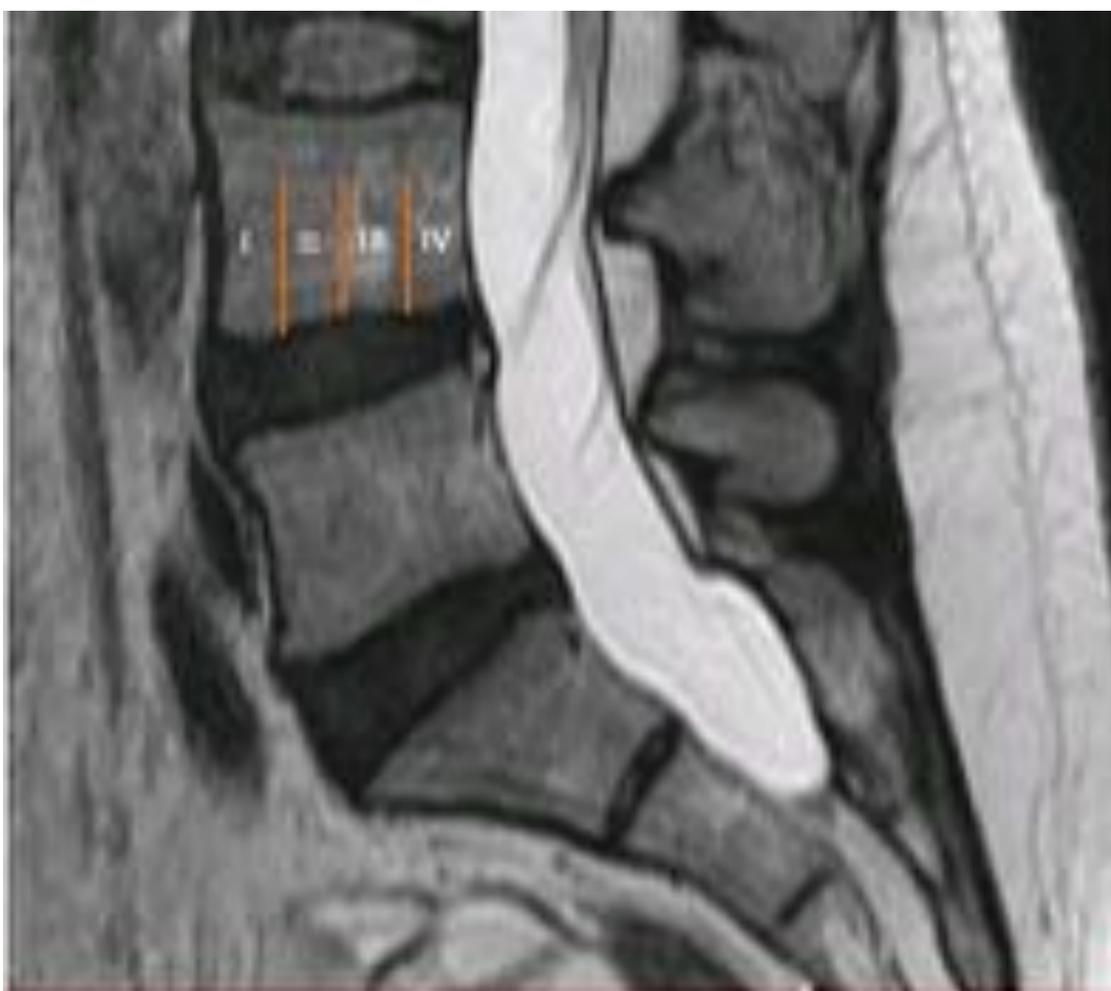
Grado I: <25% de desplazamiento del cuerpo vertebral.

Grado II: 25-50% de desplazamiento del cuerpo vertebral.

Grado III: 50-75% de desplazamiento del cuerpo vertebral.

Grado IV: 75-100% de desplazamiento del cuerpo vertebral.

Grado V: espondiloptosis. Todo el cuerpo vertebral se encuentra más allá del inferior.



Estenosis espinal: central, lateral y foraminal. Manifestaciones clínicas. Criterios de diagnóstico actualizados.

Para los propósitos de este póster, el canal espinal se puede dividir en un canal central y un receso lateral (también llamado canal nervioso). El canal central es el espacio en el saco dural que contiene la médula espinal y las raíces descendentes de la cauda equina. El receso lateral (RL) es la abertura al canal del nervio ubicado en las esquinas anterolaterales del saco dural donde las raíces entran y descienden para salir a través del foramen neural. Las raíces entran en el canal lateral para salir de la espina dorsal a través de los agujeros del nivel inferior.

Los límites anatómicos del receso lateral (Lee et al) son:

Anterior: cuerpo vertebral, platillo vertebral, disco intervertebral.

Posterior: aspecto más medial de la apófisis facetaria superior y porción anterolateral del ligamento amarillo.

Lateral: pedículo vertebral ipsilateral

La estenosis espinal está definida por el Grupo de trabajo de estenosis lumbar espinal degenerativa de la North American Spine Society, como "una afección en la que hay un espacio reducido para elementos neurales y vasculares en la columna lumbar secundaria a cambios degenerativos en el canal espinal". Puede volverse sintomático, presentándose como un síndrome clínico de dolor en los glúteos y / o extremidades inferiores y / o dolor y / o fatiga en las extremidades inferiores, con o sin dolor de espalda. Los síntomas tienden a empeorar con la extensión de la columna lumbar y mejorar con la flexión. La estenosis del receso lateral (ERL) puede parecer clínicamente indistinguible de la estenosis del canal central (ECC), aunque los pacientes con ERL parecen tener un dolor más intenso en las piernas en reposo. Por lo tanto, es importante diagnosticar ambos tipos de estenosis para guiar el tratamiento correcto de los síntomas de los pacientes.

En orden de aceptación, las mejores técnicas de imagen son la RM, TC-mielografía, TC y TC / RM de carga axial.

Estenosis de canal central

El estrechamiento del canal lumbar suele ser secundario a cambios degenerativos multifactoriales: abombamiento / hernia discal, osteofitos de las plataformas vertebrales, osteoartritis de las articulaciones facetarias e hipertrofia del ligamento amarillo. Los pedículos cortos congénitos (estenosis del desarrollo) pueden empeorar la estenosis espinal adquirida. La descripción radiológica debe describir la causa o las causas que condicionan la estenosis.

Se han propuesto muchas definiciones y mediciones para diagnosticar la estenosis del canal a partir de una película simple, mielografía convencional, tomografía computarizada y resonancia magnética.

Consideramos que las clasificaciones cualitativas son más precisas y prácticas para el diagnóstico de estenosis de la columna lumbar, por un lado porque los valores de medición pueden variar según el morfotipo y la etnia del paciente y, en segundo lugar, porque se implementan fácilmente en el flujo de trabajo diario.

Estenosis de canal central

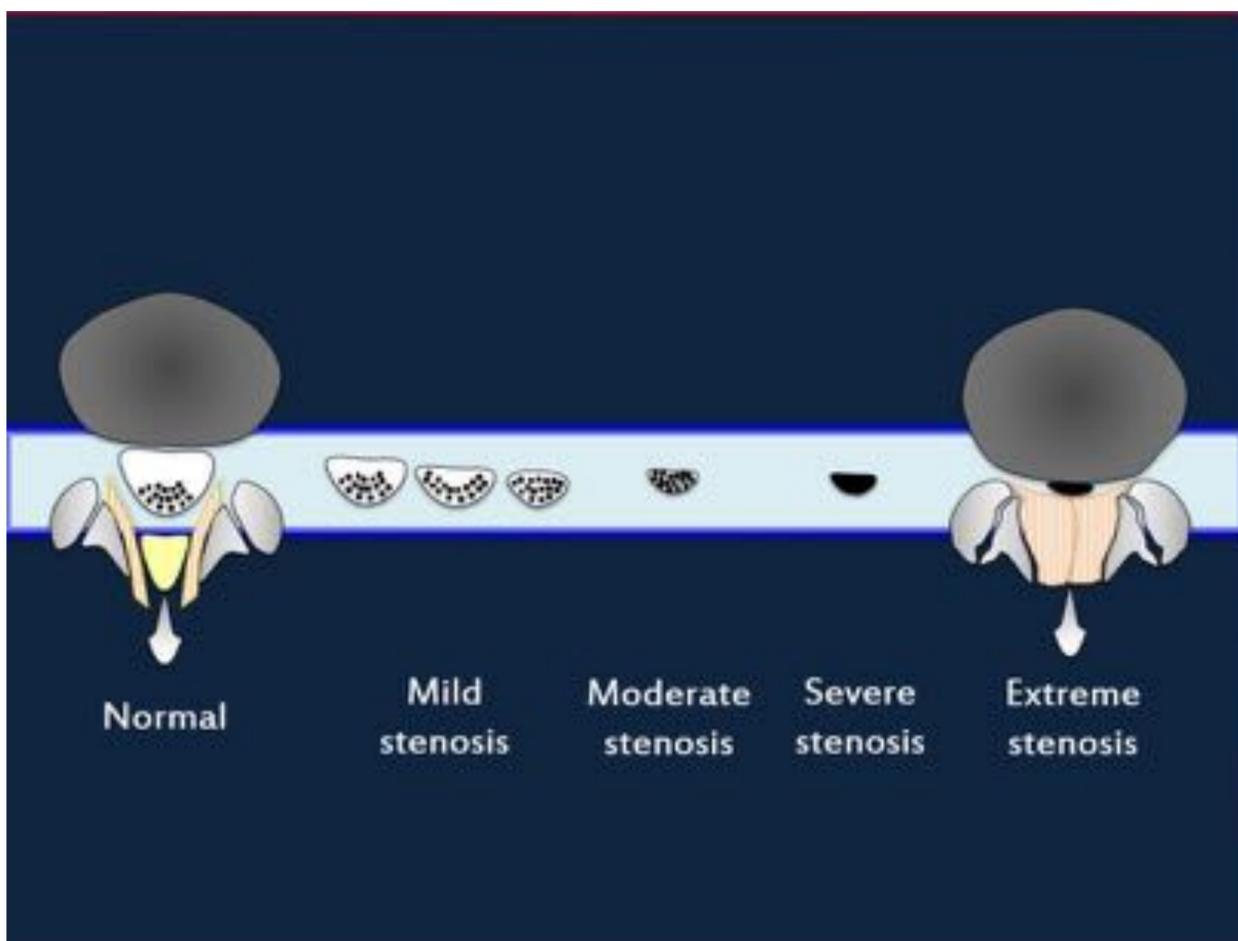
Categorías basadas en RM:

Leve: disminución del tamaño del saco tecal con buena definición de las raíces de la cola de caballo.

Moderado: el espacio anterior del LCR está parcialmente obliterado, y la cola de caballo está parcialmente agregada, ocupando la totalidad del saco dural.

Grave: obliteración total del LCR sin poder individualizar las raíces. Intensidad de señal baja en T2. Grasa epidural posterior conservada.

Extrema: estenosis grave con pérdida de grasa epidural posterior.

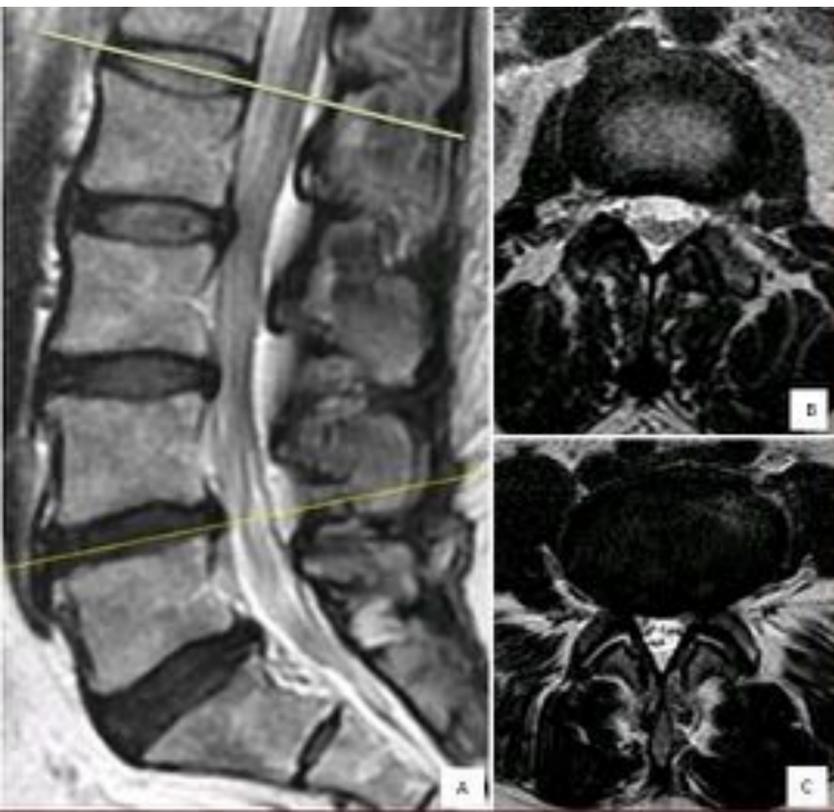


La estenosis severa y extrema han demostrado una fuerte correlación con los síntomas neurológicos.

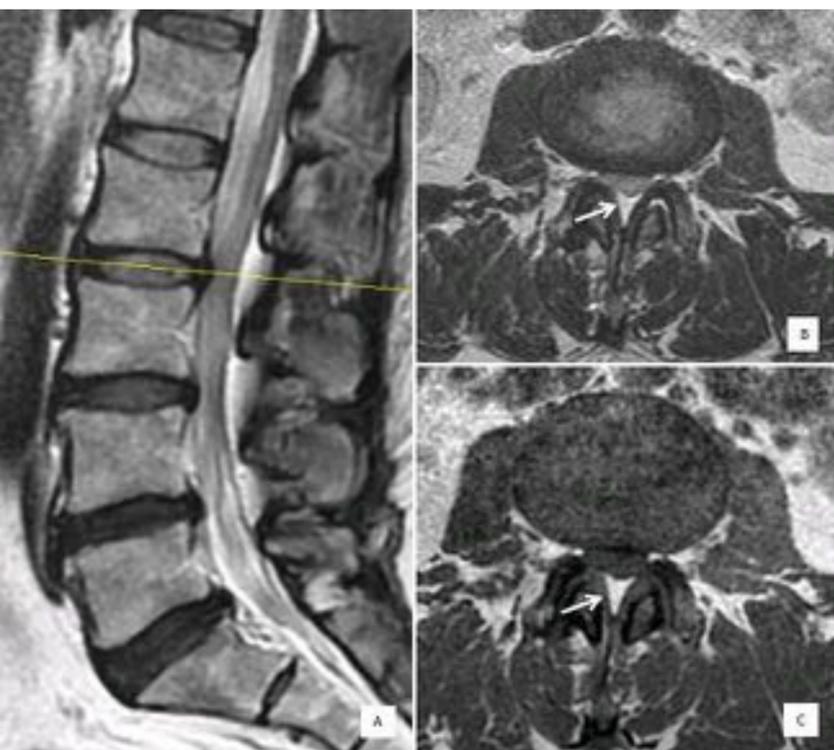
La estenosis puede dar lugar a alterar la morfología de la cauda equina afectada, por encima y por debajo del nivel estenótico, dando un aspecto redundante (serpiginosa, aumentada de tamaño, raíces nerviosas tortuosas), que se ha identificado como un potente indicador pronóstico de resultados posoperatorios deficientes en pacientes con estenosis sintomática del canal lumbar.

Al evaluar la columna vertebral con TC, el LCR no se puede evaluar con fiabilidad, por lo que optamos por utilizar medidas, considerando como estenosis un diámetro anteroposterior del saco dural <10 mm, medido a cualquier nivel.

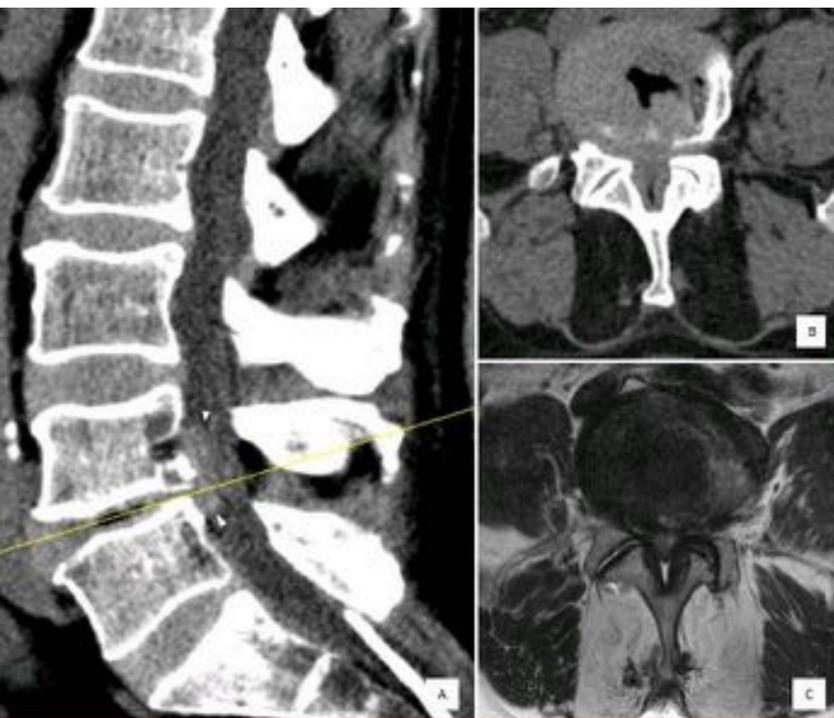
Estenosis de canal central



Sagital T2 (A). Axial L1-L2 (B) y L4-L5 (C). Canal de tamaño normal (B) y estenosis leve (C).



Sagital T2 (A) y axial T2 (B) y T1 (C). Abombamiento difuso y lipomatosis epidural que condicionan estenosis del canal grave a nivel de L2-L3. Tenga en cuenta la ausencia completa de líquido cefalorraquídeo -LCR- alrededor de las raíces nerviosas (B). En las imágenes axiales, la grasa epidural posterior no debe confundirse con LCR (flechas).



Imágenes sagitales TC (A) y axiales (B). T2 axial correspondiente (C). Abombamiento difuso con una hernia discal concomitante que migra cranealmente al nivel pedicular (puntas de flecha). Estenosis grave secundaria del canal, dada la ausencia de LCR alrededor de las raíces nerviosas.

Estenosis del receso lateral

La estenosis del receso lateral puede ser producida por la acción combinada, en proporción variable, de la degeneración discal, osteofitos e hipertrofia de las articulaciones facetarias y del ligamento amarillo.

Aunque rutinariamente no usamos un sistema de clasificación, Bartynski desarrolló una clasificación RM interesante e ilustrativa de la siguiente manera.

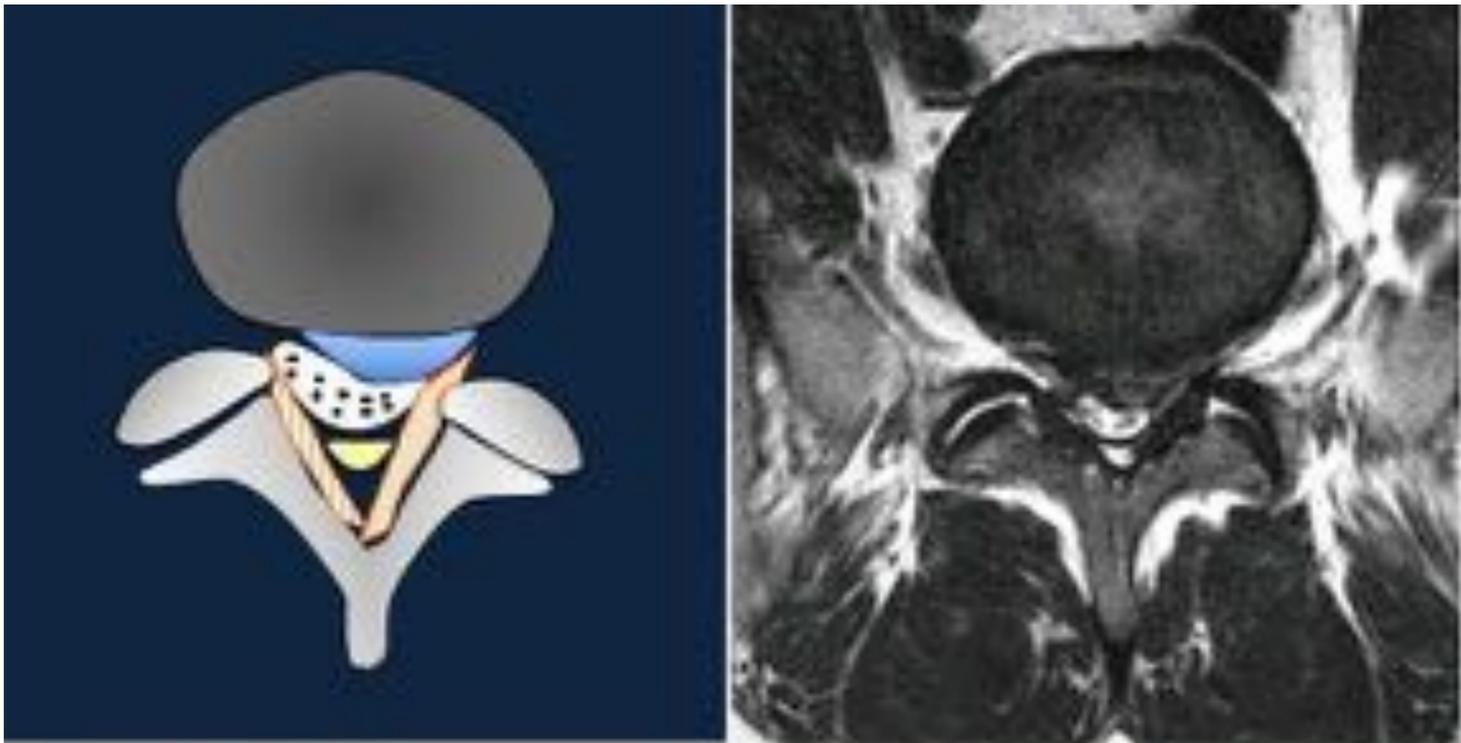
Grado 0: RL normal en el que la raíz del nervio está rodeada de líquido cefalorraquídeo. No hay contacto con las estructuras adyacentes.

Grado 1: ERL sin deformación de la raíz.

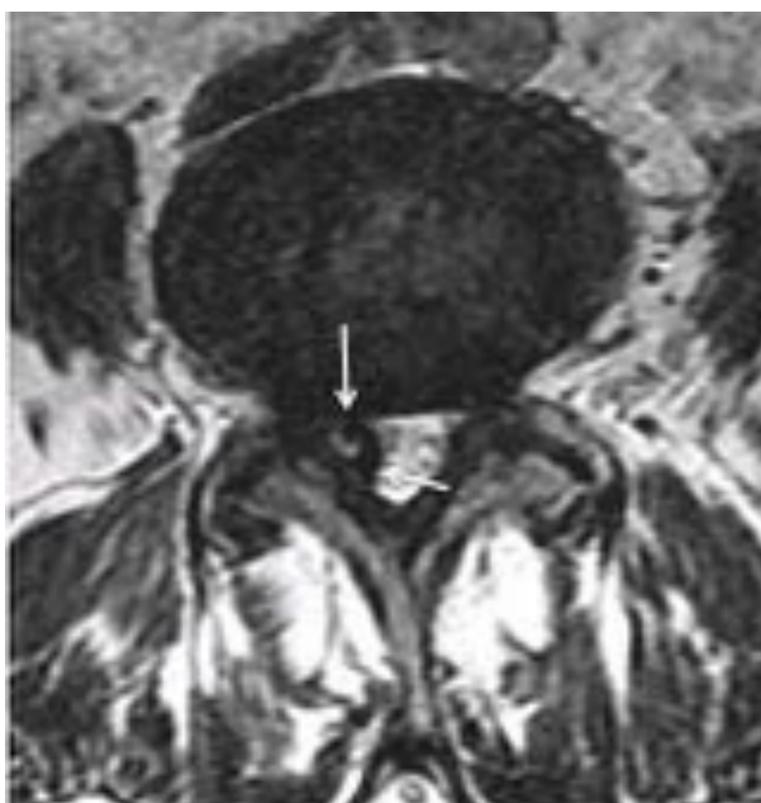
Grado 2: ERL con aplanamiento de la raíz y algo de LCR presente en el receso lateral.

Grado 3: ERL con aplanamiento radicular y obliteración completa del LCR en el receso lateral.

Estenosis del receso lateral



El receso lateral está delimitado entre el margen más medial del proceso facetario superior (o ligamento amarillo si es hipertrófico) y la pared posterior vertebral o el disco herniado. La estenosis del receso lateral produce compresión descendente de la raíz (puntos rojos en el diagrama), generando radiculopatía en el nivel inferior (es decir, estenosis del receso lateral L4-5, síntomas L5).



Axial T2WI. Osteoartritis bilateral de la articulación facetaria con quiste sinovial derecho (flecha) que produce estenosis del receso lateral derecho.

Estenosis foraminal

La estenosis del neuroforamen generalmente se produce por la combinación de material discal y osteofitos que sobresalen dentro del foramen neural, osteoartritis facetaria, hipertrofia del ligamento amarillo y espondilolistesis. Cuando se hace sintomática produce radiculopatía.

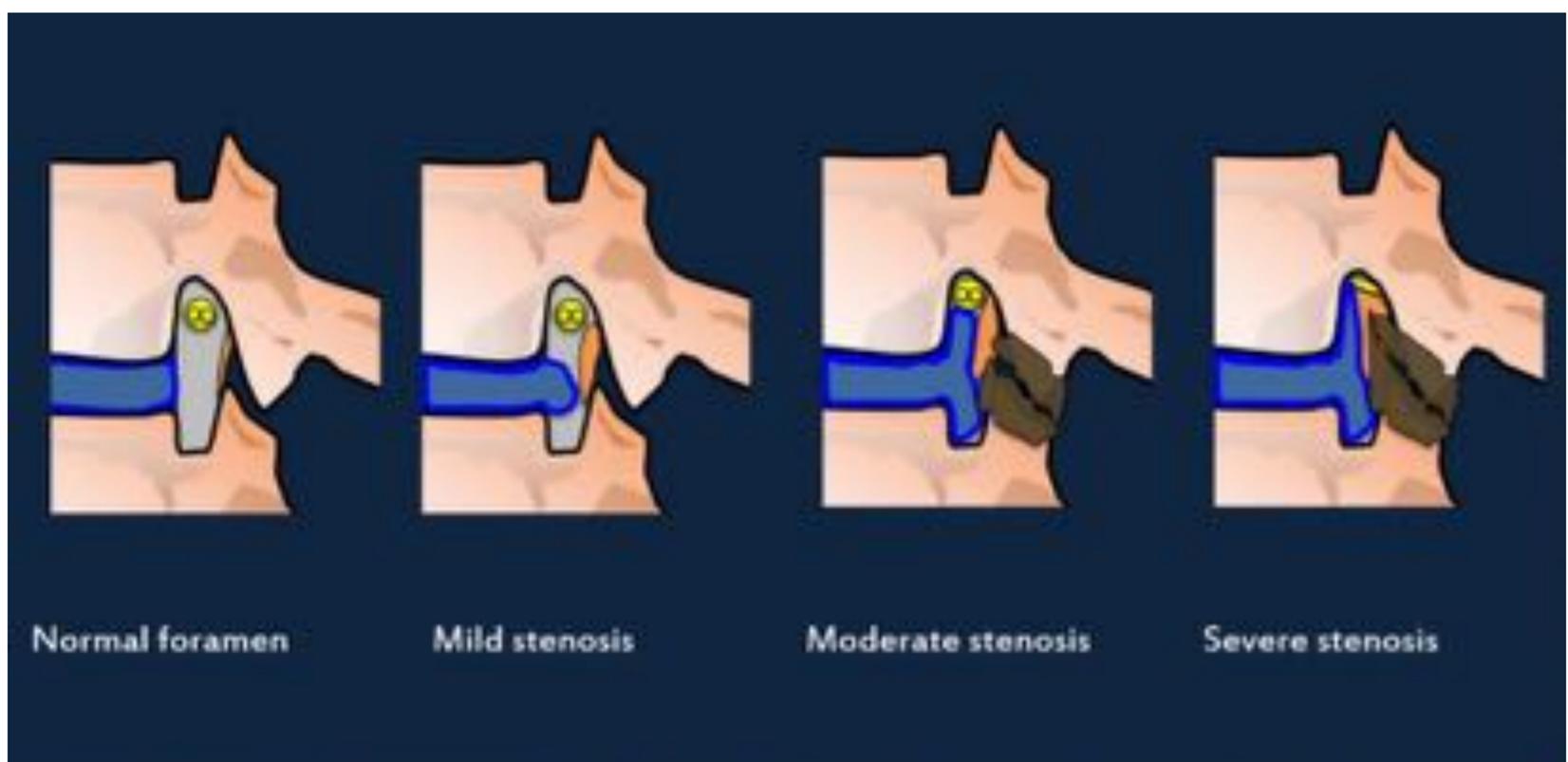
Usamos el sistema de calificación cualitativa desarrollado por Seunghun Lee.

Grado 0: ausencia de estenosis foraminal

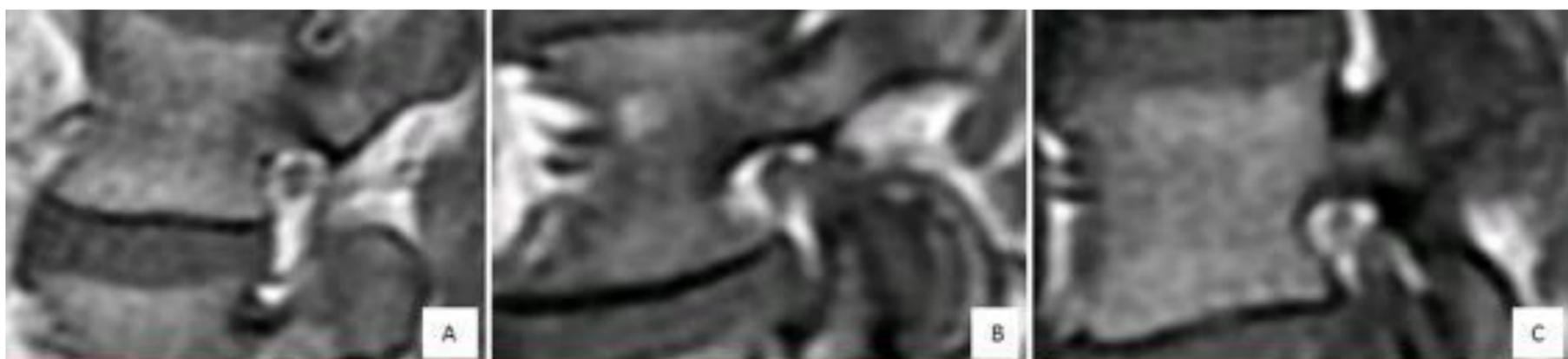
Grado 1: estenosis foraminal leve que muestra obliteración de la grasa perineural en las dos direcciones opuestas, vertical o transversal.

Grado 2: estenosis foraminal moderada que muestra obliteración de la grasa perineural en las cuatro direcciones sin cambio morfológico, tanto en dirección vertical como transversal.

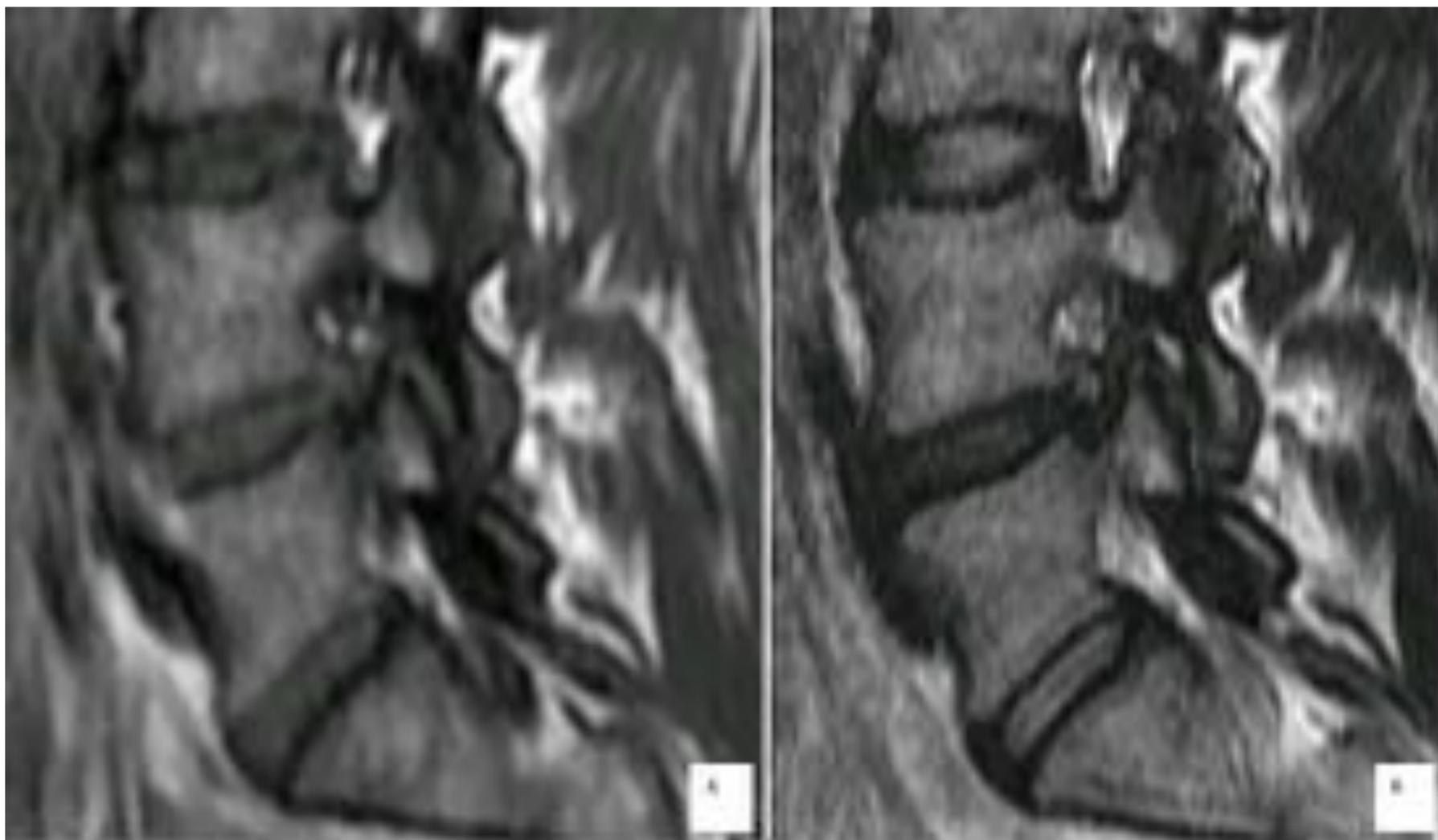
Grado 3: estenosis foraminal severa que muestra colapso de la raíz nerviosa o cambio morfológico.



Estenosis foraminal

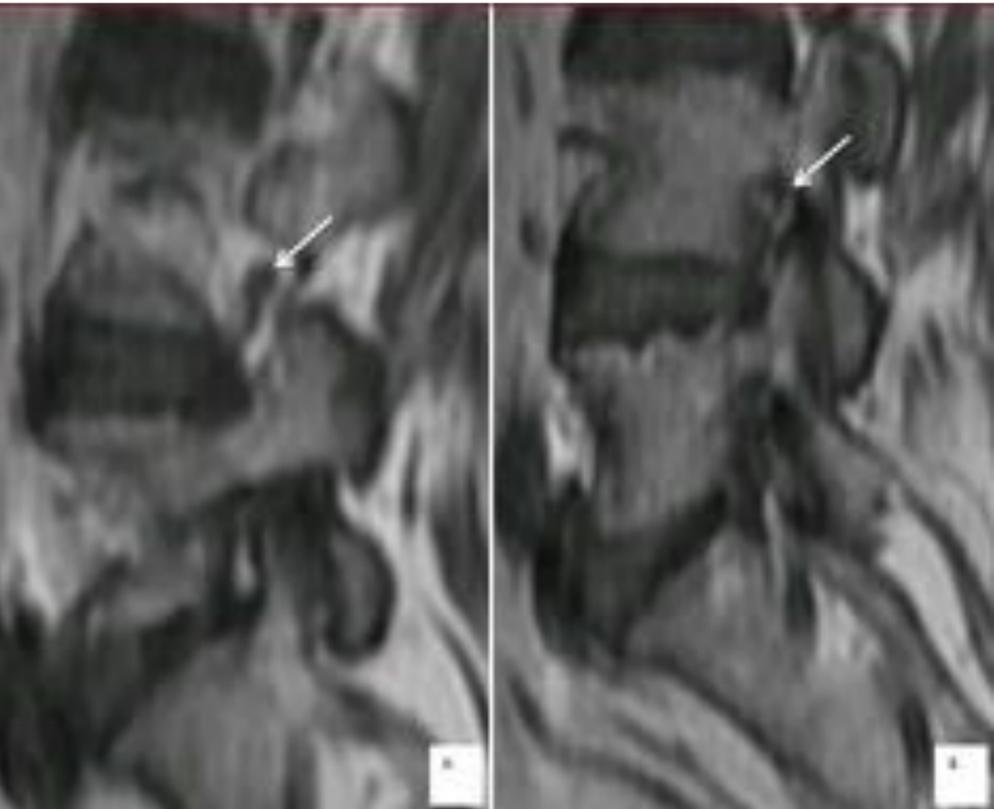


T1 sagital que muestra foramen normal (A) y estenosis foraminal leve (B, C). Tenga en cuenta que en B y C existe una leve disminución en la grasa perineural.



Sagital T1 (A) y T2 (B). Estenosis moderada del foramen. Presencia de leve cantidad de grasa perineural. En T2 puede ser difícil diferenciar la grasa perineural y la señal de pequeñas cantidades de líquido perineural.

Estenosis foraminal



T1WI sagital consecutiva en el plano extraforaminal (A) y en el plano foraminal (B). Aunque queda algo de grasa perineural, observe la raíz distorsionada en el techo del foramen de salida (flecha en B).



La TC reformateada sagital muestra el componente osteofítico en esta estenosis foraminal severa L5-S1. Aunque la raíz nerviosa no se ve claramente en el foramen, la grasa del foraminal se pierde en el techo del foramen.

Use el T1WI sagital para evaluar los forámenes neurales. En caso de duda utilice el sagital T2WI e imágenes axiales.

La TC es una buena técnica para evaluar los forámenes neurales debido a su capacidad para demostrar grasa y osteofitos.

Nuevas técnicas y perspectivas de imágenes

Acortamiento de los tiempo de exploración: como se mostró previamente por Sayah et al. desarrollar o adoptar nuevos protocolos y secuencias de RM (es decir: T2 3D SPACE) podría ofrecer información de diagnóstico similar o incluso mejor y, al mismo tiempo, reducir la duración de los estudios, los costos y las molestias para los pacientes.

Diagnóstico genético: las investigaciones actuales apuntan a establecer pacientes con riesgo genético para desarrollar estenosis espinal, lo que podría resultar en estudios de diagnóstico por imágenes tempranos, modificaciones en el estilo de vida y extensión profiláctica de los niveles operados en pacientes sintomáticos, para evitar operaciones repetidas .

Inteligencia artificial: como se ve en otras áreas, el aprendizaje automático se está haciendo presente en la radiología. Hasta ahora, solo en el campo de la columna degenerativa, los investigadores han logrado entrenar una red neuronal convolucional y un autoencoder convolucional para analizar tomografías por resonancia magnética y mimetizar las decisiones de los cirujanos con precisiones de aproximadamente el 70% .

Conclusión

Después de leer este poster educativo, el radiólogo podrá describir e informar adecuadamente los fenómenos degenerativos de la columna lumbar. Proporcionamos una revisión actualizada de la nomenclatura, los criterios de diagnóstico y las técnicas de imagen de aparición reciente.

Bibliografía

1. Murtagh RD, Quencer RM, Uribe J. Pelvic Evaluation in Thoracolumbar Corrective Spine Surgery: How I Do It. *Radiology*. 2016 Feb 17;278(3):646–56.
2. Fardon DF, Williams AL, Dohring EJ, Murtagh FR, Gabriel Rothman SL, Sze GK. Lumbar disc nomenclature: version 2.0. *Spine J*. 2014 Nov;14(11):2525–45.
3. Diehn FE, Maus TP, Morris JM, Carr CM, Kotsenas AL, Luetmer PH, et al. Uncommon Manifestations of Intervertebral Disk Pathologic Conditions. *RadioGraphics*. 2016 May;36(3):801–23.
4. Mattei TA, Rehman AA. Schmorl's nodes: current pathophysiological, diagnostic, and therapeutic paradigms. *Neurosurg Rev*. 2014 Jan;37(1):39–46.
5. Lin C-Y, Chen H-Y, Ding H-J, Chen Y-K, Kao C-H. Evaluation of Schmorl's nodes using F-18 FDG PET/CT. *Clin Radiol*. 2012 Nov 1;67(11):e17–21.
6. Modic MT, Masaryk TJ, Ross JS, Carter JR. Imaging of degenerative disk disease. *Radiology*. 1988 Jul;168(1):177–86.
7. Pathria M, Sartoris DJ, Resnick D. Osteoarthritis of the facet joints: accuracy of oblique radiographic assessment. *Radiology*. 1987 Jul;164(1):227–30.
8. Khalatbari K, Ansari H. MRI of degenerative cysts of the lumbar spine. *Clin Radiol*. 2008 Mar;63(3):322–8.
9. Covaro A, Vilà-Canet G, de Frutos AG, Ubierna MT, Ciccolo F, Caceres E. Management of degenerative lumbar spinal stenosis: an evidence-based review. *EFORT Open Rev*. 2016 Jul 14;1(7):267–74.
10. Hammouri QM, Haims AH, Simpson AK, Alqaqa A, Grauer JN. The utility of dynamic flexion-extension radiographs in the initial evaluation of the degenerative lumbar spine. *Spine*. 2007;32(21):2361–2364.
11. Lee CK, Rauschnig W, Glenn W. Lateral lumbar spinal canal stenosis: classification, pathologic anatomy and surgical decompression. *Spine*. 1988 Mar;13(3):313–20.
12. Kreiner DS, Shaffer WO, Baisden JL, Gilbert TJ, Summers JT, Toton JF, et al. An evidence-based clinical guideline for the diagnosis and treatment of degenerative lumbar spinal stenosis (update). *Spine J*. 2013 Jul;13(7):734–43.
13. Yamada K, Aota Y, Higashi T, Ishida K, Nimura T, Konno T, et al. Lumbar foraminal stenosis causes leg pain at rest. *Eur Spine J Off Publ Eur Spine Soc Eur Spinal Deform Soc Eur Sect Cerv Spine Res Soc*. 2014 Mar;23(3):504–7.
14. Maus TP. Imaging of Spinal Stenosis. *Radiol Clin North Am*. 2012 Jul;50(4):651–79.
15. Cheung JP-Y, Samartzis D, Shigematsu H, Cheung KM-C. Defining clinically relevant values for developmental spinal stenosis: a large-scale magnetic resonance imaging study. *Spine*. 2014 Jun 1;39(13):1067–76.
16. Guen YL, Joon WL, Hee SC, Kyoung-Jin O, Heung SK. A new grading system of lumbar central canal stenosis on MRI: an easy and reliable method. *Skeletal Radiol*. 2011 Aug;40(8):1033–9.
17. Schizas C, Theumann N, Burn A, Tansey R, Wardlaw D, Smith FW, et al. Qualitative grading of severity of lumbar spinal stenosis based on the morphology of the dural sac on magnetic resonance images. *Spine*. 2010;35(21):1919–1924.
18. Park H-J, Kim SS, Lee Y-J, Lee S-Y, Park N-H, Choi Y-J, et al. Clinical correlation of a new practical MRI method for assessing central lumbar spinal stenosis. *Br J Radiol*. 2013 May;86(1025):20120180.
19. Cong L, Zhu Y, Yan Q, Tu G. A Meta-Analysis on the Clinical Significance of Redundant Nerve Roots in Symptomatic Lumbar Spinal Stenosis. *World Neurosurg*. 2017 Sep;105:95–101.
20. Bartynski WS, Lin L. Lumbar root compression in the lateral recess: MR imaging, conventional myelography, and CT myelography comparison with surgical confirmation. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2003 Mar;24(3):348–60.
21. Lee S, Lee JW, Yeom JS, Kim K-J, Kim H-J, Chung SK, et al. A Practical MRI Grading System for Lumbar Foraminal Stenosis. *Am J Roentgenol*. 2010 Apr;194(4):1095–8.
22. Sayah A, Jay AK, Toaff JS, Makariou EV, Berkowitz F. Effectiveness of a Rapid Lumbar Spine MRI Protocol Using 3D T2-Weighted SPACE Imaging Versus a Standard Protocol for Evaluation of Degenerative Changes of the Lumbar Spine. *Am J Roentgenol*. 2016 Sep;207(3):614–20.
23. Cheung JP, Kao PY, Sham P, Cheah KS, Chan D, Cheung K, et al. Etiology of developmental spinal stenosis: A genome-wide association study. *J Orthop Res*. 2017;
24. Abbati G, Bauer S, Schöffler PJ, Burgstaller J, Held U, Winklhofer S, et al. MRI-based Surgical Planning for Lumbar Spinal Stenosis. *ArXiv Prepr ArXiv170307137*. 2017;
25. On behalf of the LSOS working group, Andreisek G, Deyo RA, Jarvik JG, Porchet F, Winklhofer SFX, et al. Consensus conference on core radiological parameters to describe lumbar stenosis - an initiative for structured reporting. *Eur Radiol*. 2014 Dec;24(12):3224–32.