

Evaluación del cartílago articular mediante técnicas de diagnóstico por la imagen

Assessment of joint cartilage using image diagnostic techniques

Cano Rodríguez, Antonio ⁽¹⁾, Gómez Vázquez, Lidia ⁽²⁾, Morales Pérez, José Manuel ⁽¹⁾, Encinas Tobajas, Víctor ⁽¹⁾ y Domecq Fernández de Bobadilla, Gabriel ⁽³⁾

^{1.} Servicio de Diagnóstico por la imagen. Hospital Universitario Virgen del Rocío. Sevilla

^{2.} Centro de Salud Nuestra Señora de la Paz. San Juan de Aznalfarache (Sevilla)

^{3.} Servicio de Cirugía Ortopédica y Traumatología. Hospital Universitario Virgen del Rocío. Sevilla

antoniocrp@hotmail.com

Resumen

Se presenta un breve descripción del cartílago hialino, su composición y ultraestructura. Posteriormente, se ofrece una breve revisión del papel de las técnicas de imagen en la evaluación de esta patología. Las secuencias de pulso son las más útiles para la evaluación morfológica de las lesiones cartilaginosas mediante resonancia magnética (RM), presentamos las imágenes que se pueden observar en los intervalos de pre y post-quirúrgicos.

Por último, cabe mencionar los avances en la RM que nos permiten acercarnos a la evaluación bioquímica del cartílago normal y patológico.

Abstract

This article briefly reviews the composition of the hyaline cartilage and its ultrastructure. Subsequently, we offer a brief review of the role of imaging techniques in the assessment of this pathology. These include the most useful pulse sequences for the morphological assessment of cartilaginous injuries using MRI, as well as how these injuries appear in the images, at pre and post-surgical intervals.

Lastly, we mention the developments in MRI that allow us to close in on the biochemical assessment of normal and pathological cartilage.

Introducción

Las lesiones condrales son una causa frecuente de dolor y limitación funcional. La escasa capacidad de regeneración del cartílago lesionado a menudo lleva a la osteoartritis que, eventualmente, puede conllevar la necesidad de intervenciones agresivas y de coste elevado, como la sustitución protésica articular¹.

El cartílago hialino es un tejido intra-articular que puede presentar lesiones tanto de origen degenerativo como traumático. La resonancia magnética (RM) es una de las técnicas más utilizadas para la detección y caracterización precisa de las lesiones condrales, un aspecto esencial para identificar pacientes que puedan beneficiarse de un tratamiento precoz².

El tratamiento quirúrgico puede ofrecer al paciente la posibilidad de evitar el desarrollo de osteoartritis o, al menos, retrasar su aparición. Las nuevas técnicas de reparación del cartílago, incluyendo procedimientos abiertos o artroscópicos, tales como la estimulación de la médula ósea mediante microfracturas, injertos osteocondrales y trasplantes/implantes de condrocitos, requieren la realización de estudios de imagen de alta calidad.

Esto resulta posible en la actualidad con equipos de RM de alto campo, con bobinas de superficie dedicadas y protocolos especiales capaces de visualizar el tejido reparativo adyacente al cartílago articular, las estructuras cápsulo-ligamentarias adyacentes y el propio cartílago hialino³.

En el presente artículo revisaremos brevemente la composición del cartílago hialino y su ultraestructura. Posteriormente realizaremos un breve repaso del papel de las técnicas de imagen en la valoración de su patología, incluyendo las secuencias de pulso más útiles para la evaluación morfológica de las lesiones cartilaginosas mediante RM, así como la apariencia en imagen de estas lesiones, en las etapas previas y posteriores a la realización de tratamiento quirúrgico.

Por último, realizaremos una mención de los desarrollos en RM que permiten una aproximación a la valoración bioquímica del cartílago normal y patológico.

2. Estructura y composición del cartílago articular

El cartílago articular o hialino es una estructura de gran importancia en las articulaciones con mayor

movilidad del organismo, aquéllas que recubren los extremos de los huesos largos (diartrosis). Ejerce una función tanto de soporte como de refuerzo, siendo capaz de distribuir y transmitir las fuerzas ejercidas sobre las superficies articulares, amortiguar las cargas y proporcionar una adecuada lubricación que permita un deslizamiento adecuado de las superficies articulares.

La estructura del cartílago hialino hace a las articulaciones sinoviales muy resistentes a la carga y prácticamente libres de fricción. Las fuerzas de carga inapropiadamente distribuidas podrían provocar una rápida degeneración del sistema, conllevando artrosis.

Entre estas características específicas del cartílago hialino, destaca que su nutrición depende casi exclusivamente del aporte sinovial, siendo un tejido avascular y, por tanto, con escasa capacidad de reparación, ya que los defectos condrales se reparan con aposición de fibrocartílago, de diferentes propiedades biomecánicas y menos resistente⁴.

La descripción clásica del cartílago articular es una matriz extracelular (MEC) que rodea a lagunas celulares de condrocitos que, a su vez, secretan la MEC.

Los componentes principales del cartílago articular son:

- A. Agua (65-80% de la MEC): Presente en mayor cantidad en las regiones superficiales del cartílago que en las capas profundas. Permite la deformación del cartílago en respuesta al estrés mecánico y juega un papel fundamental en la nutrición del cartílago y en la lubricación articular. Su contenido aumenta con la degeneración condral propia del envejecimiento (puede aumentar hasta constituir el 90% de la MEC en osteoartritis establecida). Paradójicamente este aumento ocasiona un incremento en la permeabilidad y un descenso de la resistencia condral a la carga.
- B. Colágeno (10-20% de la MEC): Predomina el colágeno de tipo II (95%) ,que constituye la matriz de sostén del cartílago y proporciona resistencia a las fuerzas de tensión o cizallamiento. Se observan pequeñas cantidades de otros tipos de colágeno, de entre los cuales, el tipo VI se encuentra aumentado sobre todo en fases precoces de osteoartritis.
- C. Proteoglicanos (PG) (10-15%): Macromoléculas complejas producidas por los condrocitos. Los proteoglicanos están formadas por cadenas

negativamente cargadas de glucosa-amino-glicanos (GAG) capturadas en la matriz de colágeno de tipo II, con las que se encuentran unidos de manera covalente. Los proteoglicanos son los responsables de amortiguar las cargas a las que se ve sometido el cartílago, ofreciendo resistencia a la compresión. La pérdida de GAG constituye un indicador precoz de riesgo de desarrollo de osteoartritis.

D. Condrocitos (5%): Dispuestos en lagunas y rodeados de la MEC. Constituyen el componente celular del cartílago y producen los agreganos, el colágeno, las proteínas y algunas enzimas.

En cuanto a las ultraestructura del cartílago, la composición de la MEC varía en función de la capa del cartílago y de la situación respecto a los condrocitos. Se diferencian cuatro zonas a lo largo del grosor con diferente organización del colágeno, así como un contenido variable en proteoglicanos. *Fig. 1.*



Figura 1. . Capas del cartílago hialino. 1 Capa tangencial o superficial. 2. Capa transicional. 3. Capa radial. 4. Capa de calcificación condral.

A. La porción superficial de deslizamiento o tangencial, que corresponde aproximadamente al 10-20% del grosor del cartílago, es donde las fibras de colágeno se disponen paralelas a la superficie condral, constituyendo una lámina fibrilar conocida como la lámina splendens. Los condrocitos están aplanados y alargados a lo largo de esta capa, dispuestos también paralelamente. Esta estructura restringe la pérdida de fluido intersticial, lo que favorece la presurización del líquido. Su contenido en fibras de colágeno es el mayor, aproximadamente el 85% de su peso seco, y presenta escasa capa-

idad metabólica. Su contenido en PG es muy bajo. Se trata de la capa que resiste a las fuerzas de cizallamiento.

B. La porción transicional o media, que abarca el 40-60% del grosor. Los condrocitos son ovales o redondos, están distribuidos de forma aleatoria y contienen un gran número de mitocondrias, retículo endoplásmico rugoso y aparato de Golgi. Las fibras de colágeno se flexionan, son menos organizadas y menos numerosas. El contenido en colágeno disminuye en esta capa aproximadamente al 68% del peso seco. Tiene un mayor contenido en proteoglicanos y un menor contenido en agua que la zona superficial. Presenta una elevada capacidad metabólica.

C. La porción radial o profunda, que constituye aproximadamente el 30% del espesor condral. En ella, las abundantes fibras de colágeno se disponen perpendicularmente a la superficie, formando arcadas. El entrelazado de la matriz de colágeno es más compacto en esta capa, ya que se ancla a la matriz calcificada subyacente. El contenido en PG de esta capa es mayor en las zonas más superiores y los condrocitos son en su mayoría activos metabólicamente, con capacidad para sintetizar y degradar todos los componentes.

D. Por último, la lámina calcificada, una capa fina de cartílago calcificado, que se fusiona con la cortical ósea. Debajo de esta capa está el hueso subcondral. Esta capa no presenta PG y su celularidad es escasa. Se encuentra separada de la capa radial por una línea de flujo (tidemark), que constituye una barrera que permite soportar fuerzas de cizallamiento.

Los procesos degenerativos del cartílago articular se asocian a pérdida de la capacidad reproductiva de los condrocitos, que se agrandan. El cartílago se vuelve hipocelular y, por tanto, disminuyen los PG, que muestran alteraciones en su composición. El contenido en proteínas también se reduce, todo ello condicionando un aumento de la rigidez del cartílago y de su contenido en agua lo que condiciona una disminución en la elasticidad y resistencia del cartílago, que lo hace proclive a lesionarse.

3. Papel de las técnicas de imagen en la valoración del cartílago articular

No cabe duda de que los datos clínicos y los derivados de la exploración del paciente en el que se sospecha una patología articular, constituyen el aspecto más importante a la hora de proporcionar información al clínico acerca de la posible evolución de una lesión condral, tanto en el momento del diagnóstico como en la valoración post-tratamiento. Conocer las características del dolor, su inicio, las circunstancias lesionales y las actividades desencadenantes de los síntomas es fundamental en esta primera aproximación a las lesiones cartilaginosas.

Dicho esto, las técnicas de imagen actuales y, sobre todo, la RM juegan un papel muy importante para detectar posibles alteraciones morfológicas condrales y, con las técnicas avanzadas, incluso permiten una aproximación a la composición bioquímica y a la ultraestructura del cartílago hialino.

Tradicionalmente, la valoración articular comienza con la radiología convencional (RC). Sin embargo, esta técnica únicamente permite valorar las estructuras óseas y, por tanto, sólo estima indirectamente el grosor del cartílago o bien muestra cambios avanzados relacionados con la degeneración articular, incluyendo osteofitos marginales, esclerosis o quistes subcondrales. El cartílago articular normal, carente de mineralización, presenta una atenuación radiológica similar a la del resto de las partes blandas, por lo que se muestra como una banda homogénea de baja densidad.

Los intentos por diagnosticar la patología condral de manera indirecta, en función del grado de obliteración de la interlínea articular han resultado, en general, infructuosos, ya que los grados menores de ulceración condral no suelen causar pinzamiento articular, mientras que en algunos casos la patología meniscal asocia una disminución de altura del espacio articular, sin que se aprecie lesión condral.

En cualquier caso, resulta fundamental la realización de un estudio radiológico convencional ante cualquier artralgia ya que permite descartar otras patologías causantes de dolor como las artropatías inflamatorias o degenerativas, valorar de manera indirecta el grado de mineralización y demostrar la existencia de posibles cuerpos libres intra-articulares.

En general, se realizan dos proyecciones, a ser posible en carga, intentando reproducir de manera

más precisa las condiciones fisiológicas de la articulación. La simplicidad de la técnica y un coste relativamente bajo hacen que la RC se use frecuentemente a la hora de valorar el espacio articular, fundamentalmente en pacientes con artrosis, tanto para establecer el diagnóstico de la enfermedad como para monitorizar la progresión.

En cuanto a las limitaciones de la RC a la hora de valorar el cartílago articular, destaca el hecho de que es una técnica que emplea radiaciones ionizantes, su falta de sensibilidad para la afectación condral precoz y la incapacidad para valorar posibles lesiones asociadas en los tejidos blandos articulares⁵. Fig. 2. Además, en caso de existir un pinzamiento articular, es imposible diferenciar en cuál de los dos márgenes de la articulación se está produciendo la mayor pérdida de cartílago y tampoco se puede distinguir el patrón de distribución de la degeneración condral a lo largo de la superficie articular.



Figura 2. Paciente de 62 años con condropatía grado IV. RM en plano coronal potenciada en T2 (a) con supresión grasa en la que se aprecia irregularidad del cartílago articular en ambos márgenes del compartimiento medial, con áreas de exposición del hueso subcondral, donde existen cambios reactivos en forma de edema (flechas sólidas). Rotura completa del menisco interno con tendencia a la extrusión de la interlínea (flecha abierta). En la RC en proyección AP (b), por el contrario, únicamente es visible un ligero pinzamiento del espacio articular en el compartimiento medial (cabeza de flecha).

Con respecto a la tomografía computarizada (TC), si bien presenta un mayor contraste tisular con respecto a la RC y permite la realización de reconstrucciones multiplanares, únicamente ofrece una aproximación indirecta, de nuevo, al grosor del cartílago articular, a no ser que se emplee contraste intraarticular, en cuyo caso su resolución anatómica es incluso superior a la de la RM. El contraste yodado diluido genera un efecto artrográfico entre el medio de contraste hiperdenso y el cartílago hipodenso

(Artrografía-TC o Arthro-TC). Las ulceraciones condrales se ponen de manifiesto como pequeñas irregularidades en el perfil condral; sin embargo, no resulta posible estudiar las características intra-substancia del cartílago articular. Además, el carácter invasivo de la técnica, la utilización de rayos-X y la mayor eficacia de la RM limitan la utilidad de la TC, ya sea sin o con la utilización de contraste intraarticular. Su papel más relevante es en la detección de pequeñas lesiones subcondrales, calcificaciones intraarticulares y cuerpos libres. *Fig. 3.*

La mayor capacidad de contraste tisular y el carácter multiplanar hacen de la RM la mejor técnica para evaluar el cartílago normal y las lesiones condrales. Las técnicas morfológicas de RM permiten valorar lesiones condrales tales como las fisuras y los defectos parciales o de grosor completo del cartílago, su señal intrínseca así como la interfase osteocondral y las posibles alteraciones en el hueso subcondral. Esta valoración detallada de la lesión condral puede permitir la elección de la técnica quirúrgica más adecuada, en aquellos casos que son tributarios de este tipo de tratamiento⁶.

En estudios iniciales, se describió una apariencia “bilaminar” del cartílago rotuliano en secuencias de RM realizadas con eco de gradiente (EG), postulándose su posible correlación con las capas superficial/transicional por un lado y la capa radial del otro⁷. Incluso en estudios posteriores, se describió una tercera capa en el cartílago rotuliano⁸, que posteriormente se ha atribuido a artefactos de truncación, inherentes a la RM⁹. *Fig. 4* Por tanto, el inicial interés por dilucidar la estructura condral mediante secuencias convencionales de RM ha quedado desplazado por el desarrollo de secuencias con mayor capacidad de resolución espacial capaces de detectar más precozmente y clasificar las lesiones condrales de forma más adecuada previa y posterior a la cirugía y el desarrollo, como posteriormente veremos, de técnicas más avanzadas dedicadas a obtener una aproximación a la composición molecular del cartílago.

Si bien no existe un consenso pleno en cuanto al protocolo más adecuado para la realización de un estudio dirigido a la evaluación del cartílago articular, se admite que la secuencia morfológica ideal en RM para evaluar el cartílago articular será aquella que permita¹⁰:

1. Valorar el grosor y el volumen del cartílago hialino.
2. Demostrar alteraciones intrasubstancia en su intensidad de señal.

3. Detectar cambios morfológicos de la superficie condral.
4. Evaluar las posibles anomalías en la interfase osteocondral y en el hueso subcondral.

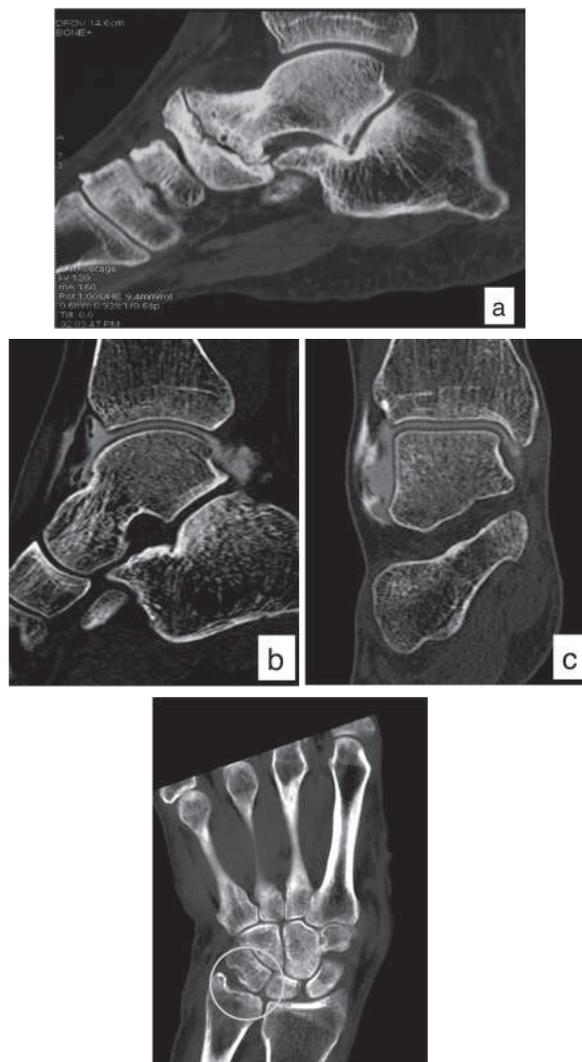


Figura 3. Papel del TC en la valoración del cartílago articular. Artrosis astrágalo-escafoidea. Reconstrucción sagital de TC de tobillo. (a) Avanzados cambios degenerativos, con pinzamiento de la interlínea, esclerosis y erosiones subarticulares (flecha negra). Arthro-TC de tobillo con contraste yodado intra-articular en plano sagital (b) y coronal (c). Se aprecia una buena resolución anatómica con delimitación de la superficie condral normal en ambos márgenes de la articulación tibioastragalina, sin que el contraste rellene ningún defecto osteocondral o fisura superficial. (d) Paciente de 79 años con enfermedad por depósitos de pirofosfato cálcico. TC sin contraste de la muñeca derecha reconstruido en plano coronal. Se observan signos de condrocalcinosis (círculos amarillos) en el espacio cúbito carpiano, luno-piramidal y escafolunar.

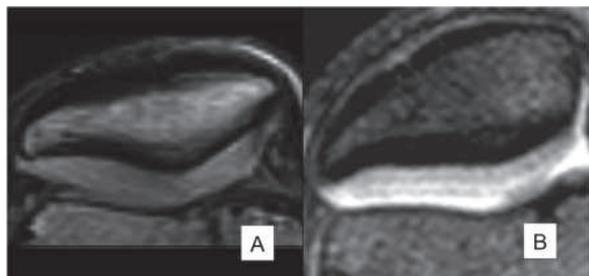


Figura 4. Presentación normal en RM del cartílago patelar. A: Serie axial Eco de Gradiente T1. B: Serie axial de Eco de Gradiente potenciado en T2 (se señala con una flecha negra la línea central que aporta una estructura bilaminar al cartílago). Este hallazgo parece más relacionado con artefactos de truncación que con una verdadera representación de la estructura jerarquizada del cartílago.

Secuencias Estándar en RM para la valoración del cartílago articular.

Comenzando con las secuencias convencionales que se emplean habitualmente en la práctica clínica, podemos destacar las secuencias bidimensionales (2D) rápidas de eco de espin (FSE), con sus diferentes variantes y las secuencias tridimensionales de eco de gradiente. Cualquiera de estas secuencias puede ser válida, independientemente del tipo de serie y su potenciación, siempre que ofrezcan una resolución de contraste suficiente para distinguir el cartílago normal del patológico y de las estructuras circundantes.

Secuencias FSE

Las secuencias FSE permiten la obtención rápida de imágenes con diferentes potenciaciones, fundamentalmente T1 (FSE T1), Densidad Protónica (FSE DP) y T2 (FSE T2).

La imagen FSE T1 proporciona un excelente contraste intrasubstancia del cartílago, una buena relación señal ruido (SNR) y un buen detalle anatómico del hueso subcondral pero, sin embargo, adolece de un contraste significativo entre el líquido intraarticular y la superficie condral, siendo poco sensible para la detección de lesiones superficiales¹¹.

La administración de contraste intravenoso y, sobre todo, de contraste intraarticular mejora indudablemente la resolución de las secuencias potenciadas en T1, permitiendo una mejor valoración de la superficie condral. Fig. 5. Sin embargo, de nuevo nos encontramos ante una técnica invasiva que requiere con frecuencia la utilización de radioscopia como guía para la punción, exponiendo al paciente a radiación ionizante.

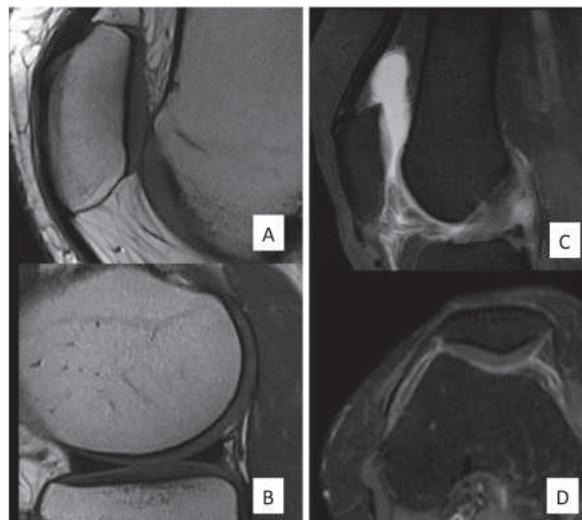


Figura 5. A y B. Imágenes de RM potenciada en T1 en plano sagital del cartílago normal de la rodilla. Excelente detalle de la intensidad de señal intrasubstancia del cartílago articular, tanto en la articulación femoropatelar como en el compartimento medial de la rodilla. C. La mayor distensión articular que se obtiene tras la administración intraarticular de gadolinio, mejora la valoración de la superficie condral mediante las secuencias potenciadas en T1 con supresión de la grasa. D. Imagen de RM potenciada en T1 en plano axial con gadolinio intravenoso. La adición de contraste IV mejora la visualización de la superficie del cartílago patelar, por el realce normal de la sinovial (Flechas).

En cuanto a la valoración de las restantes estructuras articulares, no siempre resulta sensible para la valoración de lesiones ligamentarias y tiende a sobreestimar las lesiones meniscales con respecto a otras secuencias de RM¹².

Las secuencias FSE T2 permiten ver el líquido como una señal de alta intensidad y, por tanto, presentan un buen contraste entre la superficie condral y el líquido intraarticular. Debido a esto, por ejemplo, permiten la detección de zonas de delaminación, “flaps” condrales o pequeños defectos cartilaginosos como áreas de alta intensidad de señal.

Sin embargo, las secuencias FSE T2 no son tan sensibles como las secuencias FSE T1 para identificar lesiones intrasubstancia, ya que el cartílago normal presenta una baja intensidad de señal intrínseca. Asimismo, el contraste entre el cartílago hipointenso y el hueso subcondral es también escaso. En lesiones traumáticas y delaminaciones condrales resultan en cualquier caso secuencias muy útiles en la práctica diaria.

Entre las secuencias consideradas “Estándar” en la valoración del cartílago hialino destacan aquellas secuencias FSE con supresión de la grasa (SG) y con tiempo de repetición (TR) largo (1800-3500 msec) y

un TE intermedio (30-60 mseg). Se trata de secuencias cuya potenciación puede considerarse intermedia entre una DP y un T2.

Estas secuencias presentan un elevado contraste entre las superficies lipídicas y no lipídicas, reduciendo los artefactos de desviación química que se producen en ocasiones en estas interfases e incrementando el contraste en las interfases entre el cartílago y el hueso subcondral. El líquido sinovial y el edema óseo se presentan hiperintensos por lo que son muy sensibles también para la detección de lesiones condrales superficiales y áreas de edema óseo trabecular.

Entre las posibles limitaciones de estas secuencias destaca el hecho de que el tiempo de adquisición es mayor que en las secuencias realizadas sin SG y su mayor vulnerabilidad a los artefactos de susceptibilidad paramagnética condicionados por los elementos metálicos en pacientes intervenidos o con cuerpos extraños. *Fig. 6.* Por otra parte, si se emplean TE muy cortos secuencias proclives a la presentación de artefactos por fenómenos de “ángulo mágico”, que se producen en secuencias EG, densidad protónica (DP) y T1, entre otras. Estos artefactos condicionan una señal artefactualmente elevada en aquellas estructuras que se encuentran anguladas 55° con respecto al eje del campo magnético principal (B_0) del equipo de RM. *Fig. 7*

Secuencias Tridimensionales de Eco de Gradiente

Estas secuencias presentan el cartílago articular como una estructura de alta intensidad de señal, variando la señal del líquido sinovial en función de la potenciación elegida (T2 (GRASS/FISP) o T1 (SPGR/FLASH)). El empleo adicional de SG aumenta aún más la capacidad de detección de lesiones condrales mediante estas secuencias. Su alta resolución espacial hace que estas secuencias sean muy útiles para la medición del grosor del cartílago articular o, incluso, para estimar su volumen. Las lesiones se muestran como anomalías en el contorno condral. Los métodos de imagen tridimensional con resolución isotrópica pueden ser reconstruidos en planos arbitrarios para mejorar la detección y visualización de la patología condral con una resolución similar a la de la imagen original de adquisición. *Fig. 8.* Al igual que las secuencias con SG y potenciación intermedia entre T1 y T2, se encuentran dentro del grupo de exploraciones “Estándar” en la valoración condral.

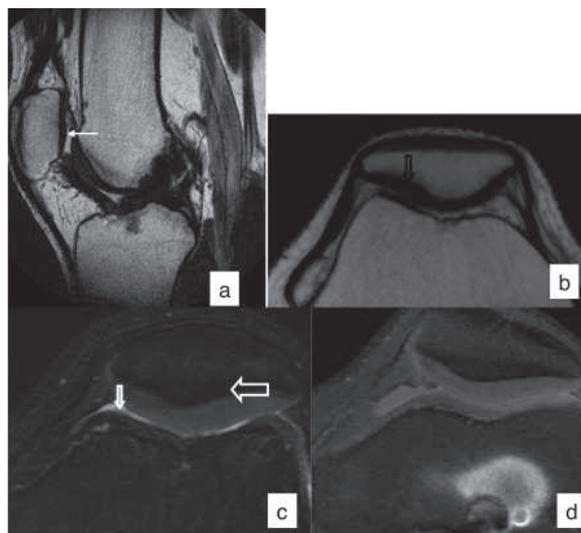


Figura 6. A y B. Paciente intervenido para la realización de una plastia de ligamento cruzado anterior. RM con secuencias SE potenciadas en T2 en plano sagital (a) y axial (b). Se observa una buena delimitación de la superficie del cartílago normal debido al contraste que presenta con el líquido intraarticular. (Flecha) Sin embargo, existe un bajo contraste entre el cartílago y el hueso subcondral, ambos hipointensos. (Flecha abierta) RM de articulación femoropatelar en plano axial con secuencia intermedia DP/T2 y supresión de la grasa. (c) Se aprecia una buena delimitación de la superficie condral por el efecto “artrográfico” condicionado por la hiperintensidad de señal del líquido sinovial (Flecha). El cartílago de señal intermedia se diferencia adecuadamente del hueso subcondral con baja intensidad de señal (flecha abierta). (d) En un paciente diferente se observan los prominentes artefactos de susceptibilidad paramagnética (flecha) causados por el tornillo de una plastia de ligamento cruzado anterior, que se ven acentuados en las series con supresión espectral de la grasa.

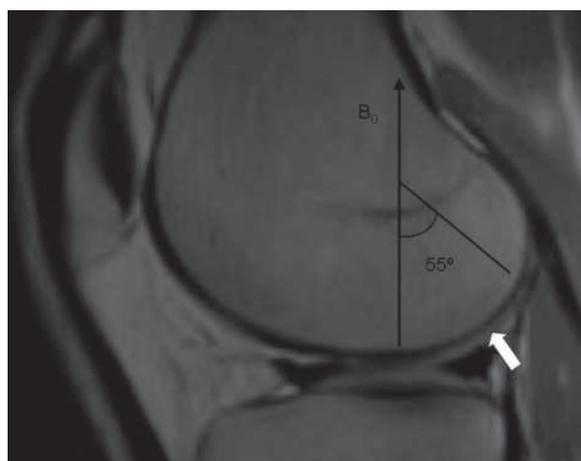


Figura 7. Incremento artefactual en las secuencias con tiempo de eco corto de la intensidad de señal en las zonas del cartílago articular que se angulan 55° con respecto al eje del campo magnético principal del equipo de RM.

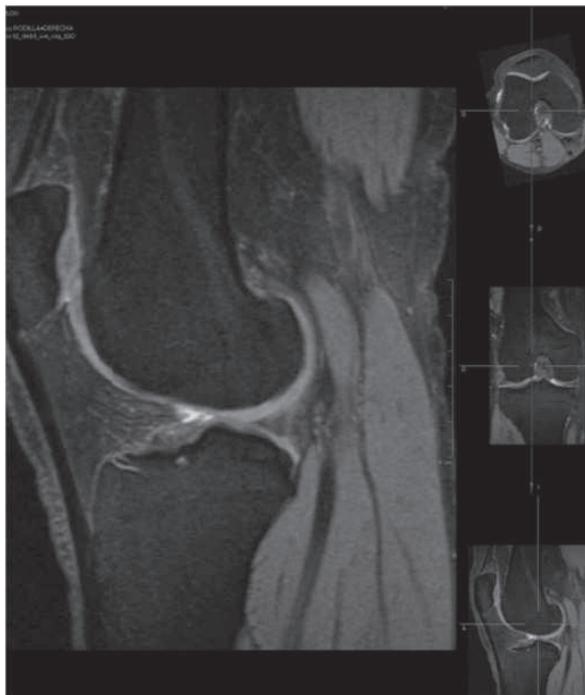


Figura 8. Secuencia Eco de Gradiente 3D potenciada en T2, con reconstrucción multiplanar. El cartílago articular presenta una intensidad de señal elevada, que contrasta con la baja intensidad de señal del hueso subcondral. La adquisición tridimensional permite obtener reconstrucciones en cualquier plano, similares en resolución a la de la imagen original de adquisición.

Entre sus debilidades, podemos destacar en las secuencias EG potenciadas en T1, la disminución del contraste entre el líquido sinovial y la superficie condral, lo que se podría de alguna manera mejorar con secuencias EG T2. Además, la adquisición tridimensional hace que estas secuencias, en general, presenten una duración mayor para su adquisición que las secuencias FSE, llegando a alcanzar los 8 minutos, lo que incrementa la incomodidad del paciente y la probabilidad de que se produzcan artefactos de movimiento. Además, tanto el hecho de utilizar SG como las propiedades intrínsecas de las secuencias EG, hace que sean más sensibles a los artefactos, tanto aquellos relacionados con los fenómenos de ángulo mágico, como los debidos a la presencia de material metálico.

4. Clasificación de las lesiones condrales

Las lesiones condrales pueden presentarse de manera aguda (trauma cerrado, herida penetrante o

asociadas a una lesión ligamentaria) o de forma crónica (distribución anormal de las cargas a lo largo de la articulación durante un periodo prolongado, defectos genéticos o secundarios a procedimientos quirúrgicos, como la meniscectomía)¹³.

En ocasiones, la morfología de la lesión, permite una orientación de su etiología, ya que el adelgazamiento difuso es más propio de la enfermedad degenerativa mientras que los defectos focales, especialmente aquellos que presentan márgenes rectos y los “flaps” condrales son más frecuentes en lesiones traumáticas. Fig. 9.

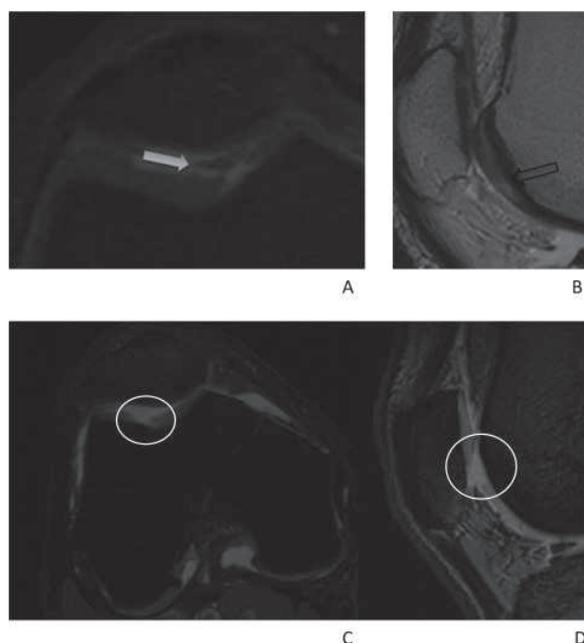


Figura 9. Lesión condral post-traumática. Lesión que afecta al cartílago articular de la superficie troclear del cóndilo femoral interno. RM en plano axial con secuencia potenciada en DP con SG (A). Se aprecia una lesión de márgenes bien definidos que afecta a la totalidad del espesor del cartílago articular, delimitándose una lengüeta o “flap” condral (flecha). En la secuencia sagital TSE T2 (B) se aprecia el componente intrasubstancia de la lesión condral traumática, que alcanza las capas condrales profundas (flecha abierta). C. En un paciente diferente en el que se realiza secuencia potenciada en DP en plano axial con SG y secuencia sagital T2* se aprecia una lesión de etiología traumática que, en oposición a las lesiones degenerativas, presenta unos márgenes bien definidos. La lesión alcanza la superficie ósea subcondral (círculos)

Una primera aproximación a las lesiones condrales las dividiría en dos grandes grupos:

a. Entidades que cursan con condropatía aislada: son aquellas que afectan de manera exclusiva al

cartílago articular, bien de manera parcial o bien en todo su espesor e incluyen la condromalacia, la condropatía degenerativa y la lesión condral aguda.

b. Lesiones osteocondrales, más frecuentes en adolescentes y adultos jóvenes y en las que la afectación condral se acompaña de lesión en el hueso subyacente. Se incluyen en este grupo la lesión osteocondral traumática aguda, la osteocondritis disecante y la osteonecrosis aséptica primaria.

Condromalacia

Más frecuentemente descrita en el cartílago rotuliano, se trata de una lesión condral aislada de presentación espontánea, en paciente joven y no asociada a degeneración crónica de la articulación. Suele iniciarse en capas profundas del cartílago y progresar hacia la superficie condral en fases avanzadas de la enfermedad. En su patogenia se han implicado a la pérdida de contenido en colágeno y PG, con edema intracondral como consecuencia de lo anterior y que, al progresar hacia la superficie, causa una ulceración del cartílago. Generalmente es asintomática hasta que el defecto condral es tan amplio que llega a exponer al hueso subcondral. Actualmente se discute si se trata de una lesión postraumática o idiopática.

Se distinguen los siguientes hallazgos en RM:
Fig. 10:

- a. Edema intracondral y formación de vesículas. Representa el estadio más precoz (grado I de condromalacia), en el que la pérdida de colágeno y PG causa edema intracondral, reblandecimiento o abombamiento del cartílago. En RM se aprecia alteración en la intensidad de señal del área condromalácica con respecto al cartílago sano circundante, pudiendo llegar a observarse una vesícula no ulcerada que abomba la superficie del cartílago articular (lesión “blister-like”). En estas etapas iniciales es importante distinguir la alteración patológica en la intensidad de señal de los artefactos por “ángulo mágico” que presentábamos en la figura 7.
- b. Úlcera condral: define estadios más avanzados de enfermedad. La vesícula acaba erosionando la capa de cartílago subyacente y se abre a la cavidad articular. Si la ulceración es inferior a 5

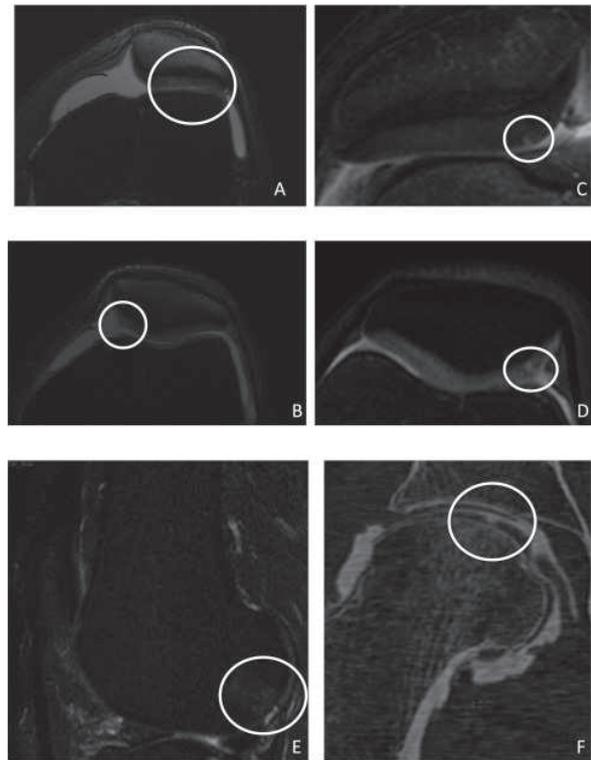


Figura 10. Clasificación de las lesiones condromalácicas. A. Estadío I. Secuencia axial potenciada en DP con SG. Alteraciones intrasubstanciales en la intensidad de señal de la faceta lateral de la rótula en este estadio inicial de condromalacia (Círculo). B. Estadío I. Secuencia axial potenciada en DP con SG. Deformidad de la superficie condral por cambios edematosos que provocan la formación de vesículas superficiales (Círculo). C. Condromalacia grado II. Secuencia axial EG. Fisura superficial del cartílago, menor de 5 mm de profundidad. (Flecha). D. Condromalacia grado III. Secuencia axial potenciada en DP con SG. Lesión de más de 5 mm de profundidad, conservando una lámina profunda de cartílago articular (Círculo). E. Lesión de grado IV. Exposición del hueso subcondral, que presenta cambios reactivos, en la superficie posterior del cóndilo femoral externo (Círculo). F. Condromalacia de grado IV. Imagen sagital de TC tras la administración de contraste intraarticular sobre la articulación coxofemoral derecha (Arthro-TC). Se aprecia una lesión condral que alcanza la superficie subcondral, puesta de manifiesto por un defecto en la radiolucencia condral que se rellena de contraste yodado intraarticular. (círculo).

mm de profundidad y existe una capa de cartílago respectado cubriendo el hueso subcondral correspondería a un estadio II, mientras que si la profundidad de la úlcera es mayor de 5 mm correspondería a un estadio III. Independientemente de la medida, si se expone el hueso subcondral, nos encontramos ante un estadio IV de condromalacia.

- c. Líquido subcondral o “flap” condral: Se trata

de un hallazgo común en todo tipo de condropatía. El cartílago dañado permite el paso de líquido intraarticular a través del defecto. Puede aparecer en fases precoces de la enfermedad, en las que el líquido diseca el cartílago pero no hay exposición del hueso subcondral ni úlceras profundas.

- d. Cuerpo libre condral o “ratón” articular: en fases tardías, tras el desprendimiento y migración de un fragmento condral que constituye el “ratón”. Debe ser isointenso con el cartílago, en todas las secuencias de pulso.

La RM es, en general, más precisa en la detección de lesiones profundas con respecto a la de las lesiones superficiales, aunque los desarrollos técnicos están permitiendo detectar cada vez lesiones más precoces. La utilización de gadolinio o contraste yodado intraarticular (Artro-RM y Artro-TC) aumenta la sensibilidad para la detección de pequeñas fisuras y ulceraciones en la superficie condral.

Enfermedad degenerativa

Constituye, con gran diferencia, la patología condral más frecuente. Aparece de forma secundaria al adelgazamiento involutivo senil del cartílago articular y puede considerarse como un desgaste fisiológico asociado al envejecimiento y al estrés crónico sobre el cartílago. Generalmente su diagnóstico se realiza con RC, aunque la RM puede detectar la condropatía degenerativa en fases precoces de la enfermedad, en las que se manifiesta por adelgazamiento e irregularidad superficial del cartílago con frecuente aparición de ulceraciones y edema con cambios reactivos subcondrales, en forma de esclerosis o infiltración grasa. A diferencia de la condromalacia es infrecuente la visualización de vesículas intracondrales.

Las fases tardías de la condropatía degenerativa se solapan con los hallazgos propios de la osteoartritis (Artrosis), lo que facilita su detección mediante RC y TC. *Fig. 11.*

Lesiones condrales y osteocondrales traumáticas agudas

Se producen como consecuencia de la impactación o cizallamiento entre dos superficies articulares. Las alteraciones relacionadas con los traumatismos agudos o subagudos tienden a ser más focales

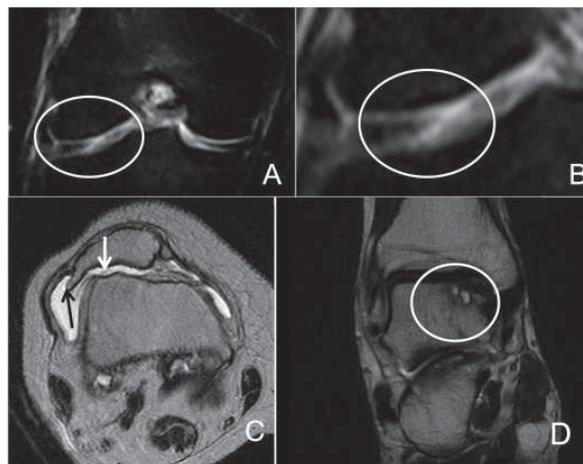


Figura 11. Condopatía degenerativa. Figura A y B. Imagen de RM potenciada en STIR en plano coronal, en la que se aprecia una irregularidad de la superficie condral en el compartimento lateral, con ulceraciones profundas (círculo). C. Imagen RM axial FSE potenciada en T2, que muestra una reabsorción subtotal del cartílago rotuliano en su faceta lateral (flecha negra), con osteofitosis marginal patelar (flecha blanca) y aumento de la báscula de la rótula. D. Imagen coronal potenciada en T2 de la articulación tibioastragalina, donde existe pinzamiento irregular de la interlínea con adelgazamiento del cartílago, en ambos lados de la articulación y cambios quísticos subcondrales en la vertiente medial de la cúpula astragalina (círculo)

en comparación con las alteraciones difusas, propias de la enfermedad degenerativa.

Son estas lesiones focales las que más frecuentemente se ven sometidas a tratamiento quirúrgico, incluyendo microperforaciones, mosaicoplastia y alo o autoinjertos *Fig. 12.* En los pacientes sometidos a cirugía juega un papel fundamental la RM en su seguimiento.

Estas lesiones pueden subclasificarse en dos grandes grupos *Fig. 13.*

- a. Lesiones que cursan con afectación subcondral e indemnidad del cartílago:
 - Contusión ósea (edema subcondral aislado). En ocasiones, las contusiones óseas constituyen un indicio característico de lesión ligamentosa en la rodilla.
 - Impactación subcondral (Línea de fractura subcortical rodeada de edema).
- b. Lesiones condrales y osteocondrales traumáticas.
 - El cartílago puede aparecer adelgazado o deprimido dentro del hueso.
 - Puede existir una lámina condral separada del resto del cartílago (“flap”).

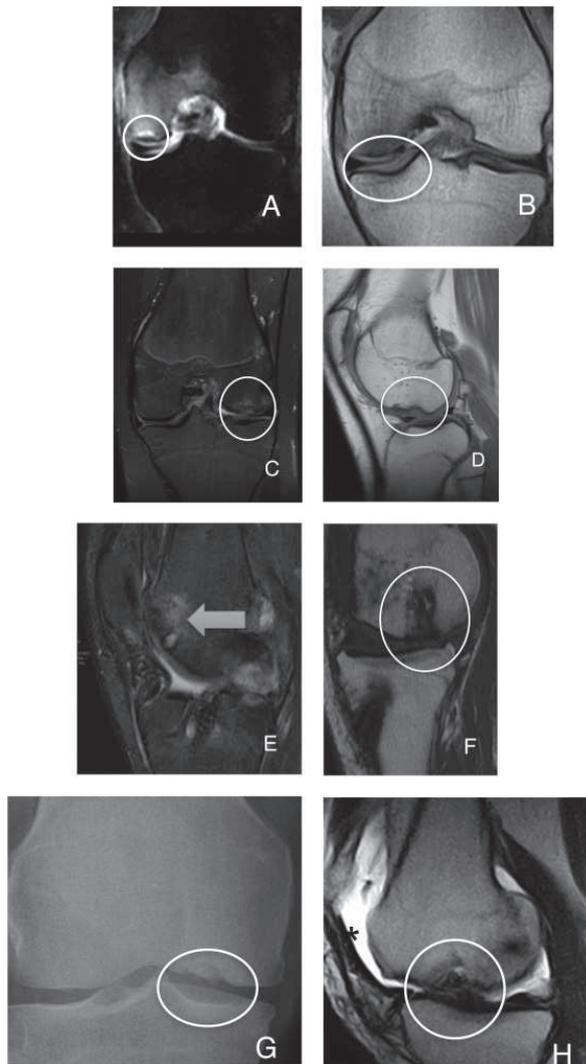


Figura 12. Aspecto postquirúrgico de las lesiones osteocondrales intervenidas. Paciente sometido a microperforaciones para estimulación de la médula ósea, tras sufrir lesión osteocondral de la superficie de carga del cóndilo femoral interno, en el que se realizan secuencias coronales potenciadas en STIR (A) y T1 (B). Se observa edema óseo trabecular (flecha) reactivo al procedimiento de perforación, con buen recubrimiento condral en el área de la lesión, donde persiste imagen lineal subcondral hiperintensa en la secuencia STIR (círculo), sin signos de sobrecrecimiento óseo. En un paciente diferente, se realizó estudio de RM con secuencias coronales STIR (C) y sagital T1 (D). Se realizaron microperforaciones sobre una lesión osteocondral de la superficie de carga de cóndilo femoral externo (círculo), administrando plasma rico en plaquetas sobre la zona de perforación. Cartílago articular de intensidad de señal similar al normal, con superficie articular regular. En un paciente diferente se realizó una mosaicoplastia sobre superficie de carga posterior del cóndilo femoral interno. Se realizan secuencias sagitales DP con SG (E) y T1 (F). Existe un ligero sobrecrecimiento óseo que altera la superficie condral (círculo) en el área donde se implantaron los injertos osteocondrales. Cambios reactivos en la zona donante sobre superficie no de carga del cóndilo femoral externo en la región troclear (flecha). Paciente sometido a fijación de una lesión osteocondral mediante dispositivo bio-reabsorbible (Tutofix ©). En la RC en proyección AP en carga (G) se observa un espacio articular conservado observándose como el dispositivo de fijación biológico protruye levemente sobre la interlínea articular (círculo). En la secuencia sagital potenciada en T2 (H) persiste señal líquida en torno al fragmento fijado, indicando que la asimilación al hueso subcondral no es aún completa (círculo). Derrame articular asociado (asterisco).

- Puede existir un fragmento osteocondral, parcialmente unido al hueso subyacente o desprendido completamente, con o sin separación del lugar de origen. Fig. 14.

Osteocondritis disecante (OCD)

Aunque se encuentra muy relacionada con la patología traumática referida anteriormente y su presentación es similar, su fisiopatología es algo distinta. Aparece generalmente en pacientes jóvenes y, si bien algunos autores relacionan su génesis con la acción de los traumatismos crónicos, por lo general estos pacientes no refieren ningún evento traumático concreto. Existe una teoría que apunta a un posible origen osteonecrótico, a expensas de un foco isqué-

mico de localización subcondral como evento inicial en la lesión. Sus localizaciones más frecuentes son la rodilla y el tobillo, siendo más raras en el cóndilo humeral y otras zonas articulares.

En la rodilla, el 80% de las lesiones se localizan en la superficie lateral libre de carga del cóndilo femoral interno, junto a la escotadura intercondílea. El 20% restante aparece en el cóndilo externo, la meseta tibial o la rótula. Es frecuente la afectación bilateral. Esta característica bilateralidad se da también en la OCD del tobillo, que afecta con mayor frecuencia al segmento posteromedial de la cúpula astragalina. Esta localización característica permite diferenciarla de la OC traumática astragalina, que presenta una característica ubicación antero-lateral y no afecta a la extremidad contralateral.

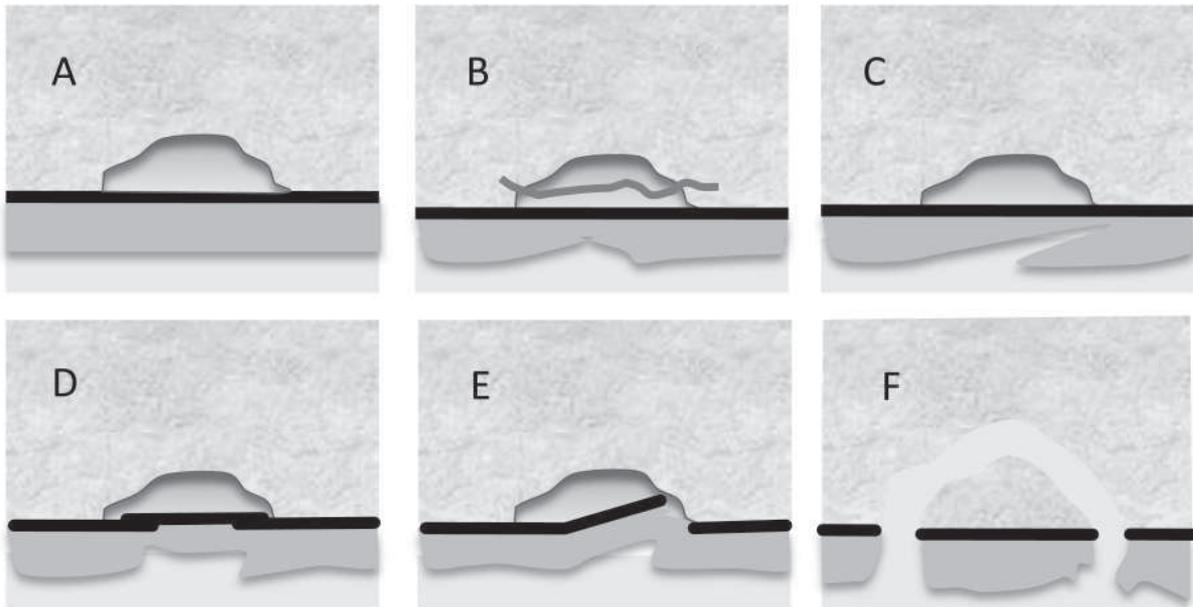


Figura 13. Diferentes formas de afectación osteocondral traumática. A: Edema subcortical aislado. B: Erosión condral e impactación trabecular subcondral con edema circundante. C: Desprendimiento de un "flap" cartilaginoso, con edema subcortical subyacente. D: Ligera depresión osteocondral traumática. E: Marcada indentación osteocondral traumática. F: Fractura osteocondral. Reproducido con permiso de Diagnóstico por la Imagen del Sistema Musculoesquelético. Ed. 1. Barcelona. Editorial Caduceo. 2009. ISBN 978-84-936320-3-8

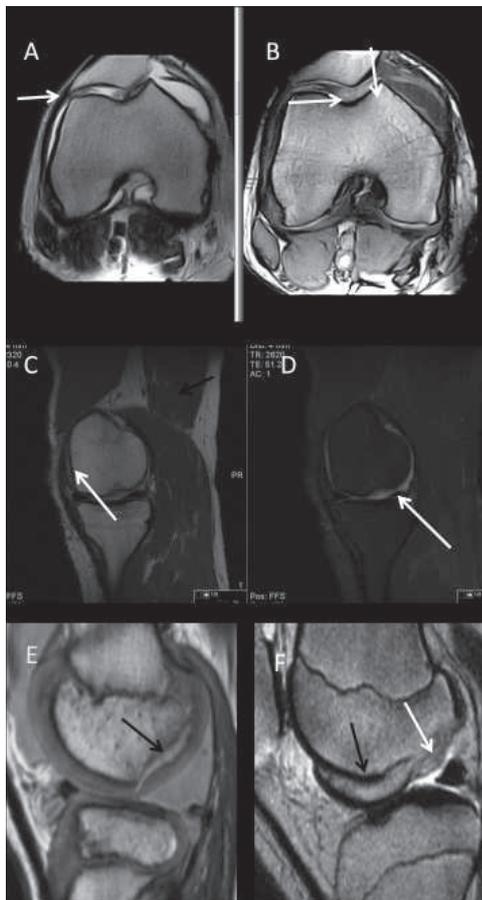


Figura 14. Diferentes formas de afectación osteocondral traumática. A: Imagen RM axial FSE T2 y B imagen RM Axial EG T1. "Flap" cartilaginoso tras lesión traumática, sin afectación subcondral (flechas blancas). Imágenes RM sagitales T1 (C) y FSE DP con supresión grasa (D). Ligera depresión osteocondral traumática (flecha blanca). E. Imagen RM sagital gradiente T1. Marcada impactación osteocondral traumática en paciente con rotura del LCA (flecha negra). F: Imagen RM sagital FSE T2. Fractura osteocondral con emigración anterior del fragmento (flecha negra), y extenso defecto óseo posterior (flecha blanca).

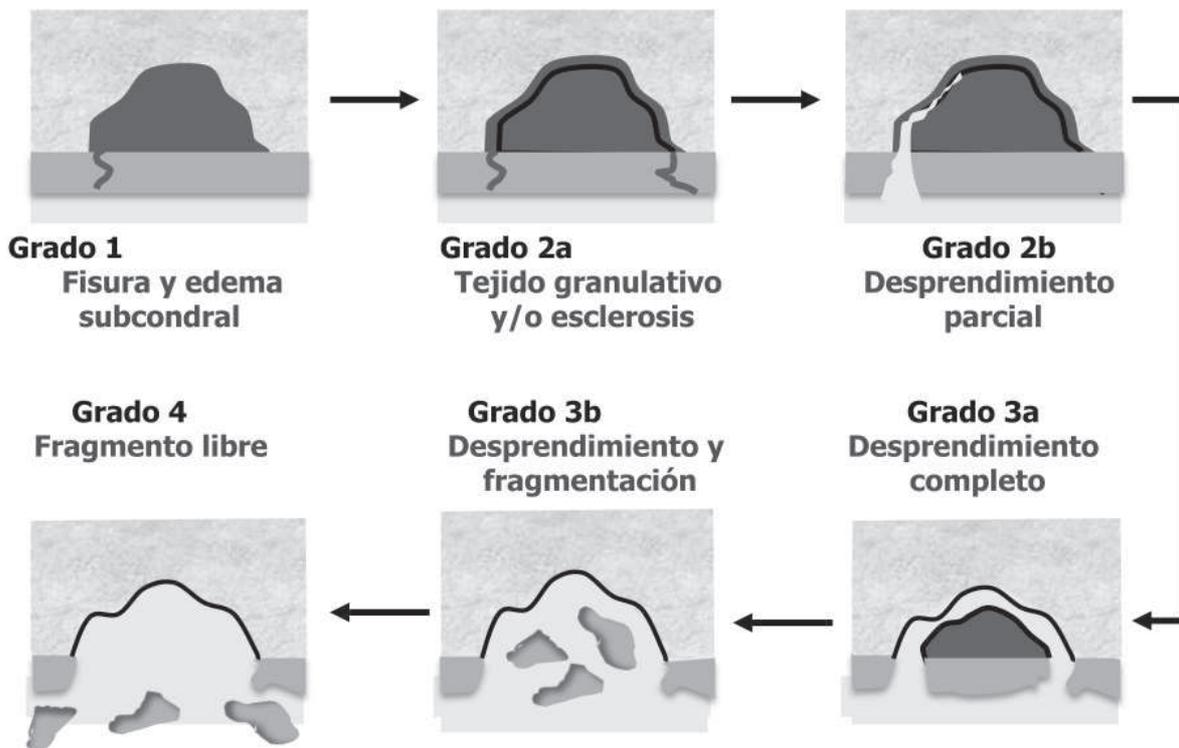


Figura 15. Fases evolutivas de la osteocondritis disecante

La OCD puede resolverse espontáneamente o bien disecar y desprender el fragmento articular, lo que genera un cuerpo libre (“ratón” articular) y expone el lecho subcondral, lo que puede causar condropatía degenerativa precoz.

La clasificación de Bohndorf es la más frecuentemente usada y se basa en la estabilidad del fragmento osteocondral: Fig. 15.

En el estadio I se detecta un área focal de edema subcondral, como único hallazgo. En el estadio IIa aparece una capa de tejido de granulación, hipointenso en T1 e hiperintenso en T2, que delimita claramente la lesión de la médula ósea circundante normal. En el estadio IIb, se observa solución de continuidad en el cartílago, a través del cual se introduce el líquido articular, que diseca parcialmente la lesión OC de su lecho subcondral. En el estadio IIIa existe una separación completa del fragmento OC, lo que define su inestabilidad, delimitándose señal similar a la del líquido en torno al fragmento, que permanece de todos modos íntegro y alojado en el lecho subcondral. Por el contrario, en el estadio III b, lo anterior se asocia a una fragmentación progresiva del fragmento OC en el lecho que, en el estadio IV, aparece libre por migración del fragmento, que

ha causado un ratón articular, no siempre visible.

En general y si bien puede detectarse una OCD con RC o TC, tanto su diagnóstico como estadiaje se suele realizar con RM. Fig. 16.

Lesiones condrales en las artropatías inflamatorias

La destrucción condral en las artropatías inflamatorias, tales como la artritis reumatoide (AR) y la infección articular es debida fundamentalmente a la extensión del pannus inflamatorio con afectación difusa de las superficies articulares. Los cambios típicos en AR, como ejemplo más paradigmático de este grupo de enfermedades, incluyen el adelgazamiento difuso del cartílago articular, los cambios erosivos subcondrales y los cambios parcheados subcondrales. Los estadios finales de AR coexisten normalmente con cambios artrósicos.

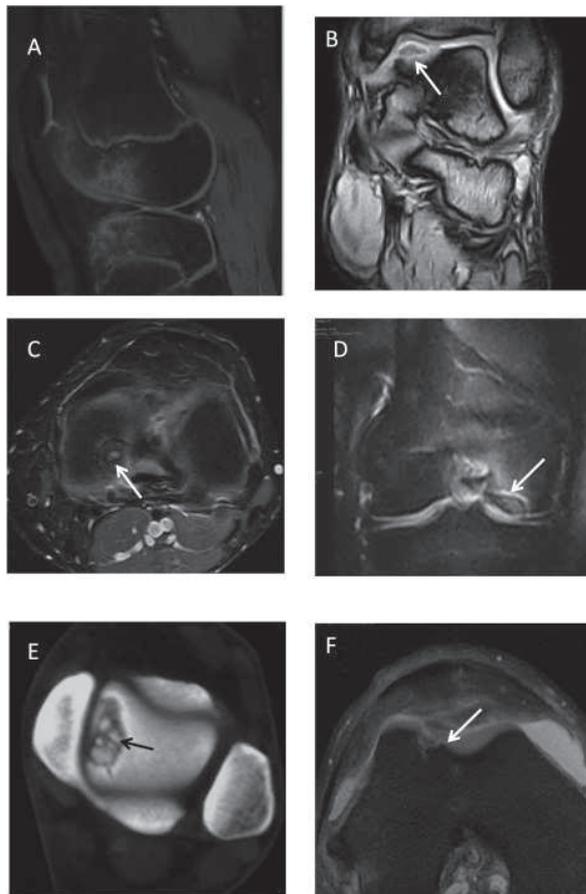


Figura 16. Fases evolutivas de la osteocondritis disecante según la Clasificación de Bohndorf. A: Grado I. Imagen RM Sagital DP con SG de rodilla. Extenso edema medular hiperintenso en cóndilo externo, que en fases más avanzadas evolucionó hacia OD. Edema visible también en la meseta tibial externa. B: Grado IIa. Imagen RM coronal gradiente T2. Foco de lesión OC en ángulo súpero-medial de la cúpula astrágalina, separado de la médula circundante por una capa de tejido granulativo (flecha blanca). C: Grado IIb. Imagen RM Axial FSE T2 con saturación de la grasa. Lesión OC en zona de carga de la meseta tibial interna, parcialmente separada de la médula por una lámina líquida isointensa al líquido intraarticular (flecha blanca). D: Grado IIIa. Imagen RM coronal de Rodilla potenciada en DP con SG. El fragmento osteocondral se muestra completamente separado (“disecado”) de la médula circundante en la superficie de carga del cóndilo femoral interno (flecha blanca). E: Grado IIIb. Imagen axial de TC de tobillo. Aparece fragmentación de la lesión osteocondral localizada en la superficie medial de la cúpula astragalina (flecha negra). F: Grado IV. Imagen RM Axial potenciada en DP con SG. Se desprende un fragmento osteocondral de la superficie troclear del cóndilo femoral externo (flecha blanca), emigrando y alojándose el ratón articular esclerótico en el receso femoropatelar (flecha blanca)

5. Nuevas secuencias para RM para la valoración del cartílago articular

En la introducción se describía el cartílago articular como una matriz tridimensional extracelular, compuesta por material amorfo (proteoglicanos, glucosaminoglicanos y ácido hialurónico) y por material fibroso (colágeno), en la que se disponen los condrocitos que se nutren a partir de esta matriz que, a su vez, es sintetizada por ellos.

La imagen cuantitativa/bioquímica mediante RM permite medir de manera específica y no invasiva la composición del cartílago, obteniendo una aproximación a su fisiología y ultraestructura, tanto en el cartílago que presenta una lesión degenerativa o traumática como en el ya sometido a reparación quirúrgica.

Una de las principales moléculas que componen el cartílago hialino es el agregano. Las macromoléculas de agregano están formadas por cadenas negativamente cargadas de glucosa-amino-glicanos (GAG) capturadas en una red de colágeno de tipo II.

La pérdida de GAG constituye un indicador precoz de riesgo de desarrollo de osteoartritis. La imagen mediante RM para evaluación del realce tardío con gadolinio (dGEMRIC) es una técnica de imagen molecular, que se utiliza para estudiar la disminución en el contenido de GAG. Mediante dGEMRIC se generan mapas del cartílago hialino creados tras la administración intravenosa de un medio de contraste basado en gadolinio aniónico $[Gd(DTPA)^2-]$. Dado que el cartílago articular está compuesto en su mayor parte por moléculas de GAG cargadas negativamente, éstas repelen los iones cargados negativamente. Por tanto, las concentraciones de gadolinio son mayores en las regiones del cartílago con baja concentración de GAG, reduciéndose el tiempo de relajación T1¹⁴.

Los estadios iniciales de la lesión condral degenerativa provocan un daño a la matriz de colágeno, con pérdida de proteoglicanos e incremento en el contenido de agua libre. Los cambios degenerativos que afectan al colágeno son detectados mediante las secuencias de mapeado de los tiempos de relajación T2.

Los tiempos de relajación T2 del cartílago articular dependen del contenido en agua y de la ultraestructura del colágeno en el cartílago. Varían

tanto en función de la profundidad del área condral estudiada, como en aquellos procesos que causan degeneración articular. Los cambios debidos a la edad parecen asociarse con un incremento en los

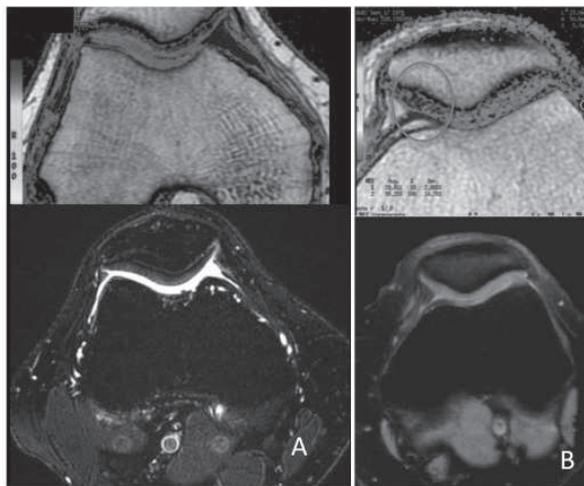


Figura 17. Las secuencias Mapping T2, realizan una valoración cualitativa con el mapa de colores, según los valores de tiempo de relajación T2. En rojo se muestran las zonas con valores de T2 más cortos (25-30 ms) y en azul claro las zonas con valores más largos (60-75) (B) La degeneración temprana del cartílago aumenta la movilidad del agua en el tejido, aumentando así el tiempo de relajación T2, cambios que se manifiestan antes de que aparezcan los defectos superficiales o lesiones subcondrales y que, en este caso, se manifiestan en la faceta lateral de la rótula (círculo). Imágenes cortesía del Dr. J.C Vilanova. Clínica Girona.

tiempos de relajación T2 en la zona transicional. La degeneración precoz del cartílago debida a daño de la matriz de colágeno y cambios en el contenido y disposición del colágeno causan un incremento en la movilidad del agua en el tejido, incrementando por consiguiente los tiempos de relajación T2. Las áreas con mayor contenido en agua se codifican en color en los mapas de tiempos de relajación T2, permitiendo una localización espacial de estas lesiones precoces en el cartílago articular. Fig. 17.

En un estudio prospectivo reciente, la adición de una secuencia de mapa T2 al protocolo de rutina supuso un incremento en la sensibilidad en la detección de lesiones condrales en la rodilla desde un 74,6% hasta un 88,9% únicamente con el coste de una pequeña reducción en la especificidad¹⁵.

6. Conclusión

Aún reconociendo el papel complementario de las técnicas de imagen con respecto a los hallazgos en la exploración y los datos clínicos referidos por el paciente con sospecha de patología condral, las pruebas radiológicas constituyen herramientas de un gran valor, tanto en la valoración inicial como en aquellos pacientes que han sido sometidos a reparación quirúrgica.

Nivel de Evidencia: IV.

Bibliografía

1. Trattnig, S., Domayer, S., Welsch, G. W., Mosher, T., & Eckstein, F. (2009). MR imaging of cartilage and its repair in the knee—a review. *European radiology*, 19(7), 1582-1594.
2. Kijowski, R. (2010). Clinical cartilage imaging of the knee and hip joints. *American Journal of Roentgenology*, 195(3), 618-628.
3. Welsch, G. H., Domayer, S., Juras, V., Mamisch, T. C., & Trattnig, S. (2011). Imaging of Cartilage Repair. In *Cartilage Imaging* (pp. 185-204). Springer New York.
4. Delgado P, G. (2009). Evaluación del cartílago articular con resonancia magnética. *Revista chilena de radiología*, 15, 39-44.
- Roemer, F. W., Crema, M. D., Trattnig, S., & Guermazi, A. (2011). Advances in imaging of osteoarthritis and cartilage. *Radiology*, 260(2), 332-354.
5. Crema, M. D., Roemer, F. W., Marra, M. D., Bursstein, D., Gold, G. E., Eckstein, F., ... & Guermazi, A. (2011). Articular cartilage in the knee: current MR imaging techniques and applications in clinical practice and research. *Radiographics*, 31(1), 37-61.
6. Modl J.M, Sether L.A, Haughton V.M y Kneeland J.B. (1991). Articular cartilage: correlation of histologic zones with signal intensity at MR imaging. *Radiology* 181(3):853–855.
7. Recht, M. P., & Resnick, D. (1994). MR imaging of articular cartilage: current status and future directions. *AJR. American journal of roentgenology*, 163(2), 283-290.
8. Erickson, S. J., Waldschmidt, J. G., Czervionke, L. F., & Prost, R. W. (1996). Hyaline cartilage: truncation artifact as a cause of trilaminar appearance with fat-suppressed three-dimensional spoiled gradient-recalled sequences. *Radiology*, 201(1), 260-264.
9. Aquerreta Beola, J. D. (2002). Diagnóstico por la imagen de la patología del cartílago articular. *Rev Ortop Traumatol*, 5, 417-27.
10. Loeuille, D., & Chary-Valckenaere, I. (2012). MRI in OA: from cartilage to bone marrow lesion. *Osteoporosis International*, 23(8), 867-869.
- Weissman, B. N. (Ed.). (2009). *Imaging of Arthritis and Metabolic Bone Disease*. Elsevier Health Sciences.
11. Bajaj, S., Petrera, M. O., & Cole, B. J. (2011). *Lower Extremity-Articular Cartilage Injuries*. Orthopedic Sports Medicine: Principles and Practice, 447. Springer..
12. Fleming, B. C., Oksendahl, H. L., Mehan, W. A., Portnoy, R., Fadale, P. D., Hulstyn, M. J., ... & Tung, G. A. (2010). Delayed gadolinium-enhanced MR imaging of cartilage (dGEMRIC) following ACL injury. *Osteoarthritis and Cartilage*, 18(5), 662-667.
13. Kijowski, R., Blankenbaker, D. G., del Rio, A. M., Baer, G. S., & Graf, B. K. (2013). Evaluation of the Articular Cartilage of the Knee Joint: Value of Adding a T2 Mapping Sequence to a Routine MR Imaging Protocol. *Radiology*, 267(2), 503-513.