

Comparación de las técnicas de diagnóstico por imagen empleadas en la articulación con osteoartritis y su interpretación

El diagnóstico por imagen es esencial para clasificar la gravedad de la osteoartritis y evaluar la eficacia del tratamiento. La técnica ideal de diagnóstico por imagen debe detectar cambios en el cartílago articular. Algunas técnicas diagnósticas son la radiografía, la tomografía computerizada, la resonancia magnética y la artroscopia.

Palabras clave: Osteoartritis, técnicas de diagnóstico por imagen, radiografía.

Clin. Vet. Peq. Anim., 26 (2): 137-144, 2006

I. Gielen

DVM, MSc, PhD
Profesora Asociada de
Diagnóstico por Imagen
Departamento de Diagnóstico
por Imagen
Facultad de Veterinaria
Universidad de Gante,
Merelbeke, Bélgica



Introducción

La osteoartritis (OA), el tipo más frecuente de enfermedad articular que afecta a seres humanos y animales, es un grupo heterogéneo de trastornos que provocan cambios histopatológicos y radiográficos característicos. Es un trastorno degenerativo consecuencia de la degradación bioquímica del cartílago articular en las articulaciones sinoviales. Los sinónimos habituales de osteoartritis son osteoartrosis y enfermedad articular degenerativa. Si bien el término 'osteoartritis' se utiliza a menudo, sería más apropiado utilizar 'osteoartrosis', ya que los cambios degenerativos son el factor predominante que contribuye a la discapacidad. Se desconoce la etiología de la osteoartritis. Existen múltiples factores (genéticos, traumatismos y obesidad) que interactúan y dan lugar a este trastorno. Cualquier suceso que altere el entorno del condrocito puede provocar osteoartritis. Aunque suele aparecer como un trastorno primario, la osteoartritis puede ser secundaria a otros procesos. El diagnóstico es básicamente clínico, porque los hallazgos radiográficos no siempre se correlacionan con los síntomas.

En las personas, la genética juega un papel importante en la aparición de la OA; algunas personas pueden nacer con cartílagos anormales o con ligeros defectos en la congruencia articular. A medida que la persona envejece, estos defectos pueden provocar la degradación precoz del cartílago. Durante este proceso se produce inflamación con la liberación de enzimas y posterior lesión del cartílago.

Las estructuras articulares implicadas en la morfogénesis de la OA son el cartílago, el hueso subcondral y la membrana sinovial.

Diagnóstico por imagen

La historia del diagnóstico por imagen del sistema locomotor se inicia con el descubrimiento de los rayos X, en 1895, por Roentgen. Desde entonces, la radiografía simple se ha convertido en la primera, y a veces única, técnica de imagen utilizada para diagnosticar y realizar el seguimiento de las alteraciones articulares. En traumatología veterinaria, la radiografía simple ha sido la técnica rutinaria durante décadas y se sigue utilizando de forma habitual en la mayoría de las clínicas. En traumatología humana, otras técnicas como la artrografía, gammagrafía, tomografía computerizada (TC), resonancia magnética (RM), ecografía (US) y artroscopia, se utilizan diariamente.

Radiografía convencional

La radiografía convencional es una excelente técnica de diagnóstico por imagen para estructuras óseas, pero es un mal método para visualizar las estructuras de los tejidos blandos. Proporciona mayor resolución espacial que la RM o la TC. El inconveniente, no obstante, es que la imagen bidimensional de estructuras tridimensionales da lugar a la superposición, lo que puede enmascarar cambios importantes. Las radiografías simples suelen confirmar el diagnóstico de osteoartritis, si bien los hallazgos no son específicos; es decir, la ausencia de cambios radiográficos no descarta la presencia de osteoartritis. Además, muchos pacientes (personas y animales) con cambios radiográficos compatibles con osteoartritis son asintomáticos, lo que sugiere que la presencia de cambios radiográficos, en ausencia de signos clínicos, no debe interpretarse siempre como patológica.

Entre los detalles que pueden obtenerse de las radiografías simples destacan la información sobre el tamaño, contorno, densidad y localización de los cambios presentes en, o alrededor, de la articulación. Las áreas que pueden ser evaluadas son: la placa del hueso subcondral, el hueso subcondral trabecular, los márgenes articulares y las áreas de unión de ligamentos, tendones y cápsula articular. Los cambios específicos en el aspecto de las articulaciones con osteoartritis son: el estrechamiento o la ablación del espacio articular, el aumento de densidad del hueso subcondral (eburnación), la formación de hueso nuevo en los márgenes articulares (osteofitosis) (Fig. 1), la deformidad de la articulación con conservación de los márgenes articulares, los cambios proliferativos y líticos en las zonas de unión de la cápsula articular y de los ligamentos, y la anquilosis parcial o completa.

A menudo suele subestimarse la gravedad de la neoformación ósea en las radiografías convencionales, y puede evaluarse mejor mediante TC (Fig. 2).

En los seres humanos y los caballos, el estrechamiento del espacio articular es un indicador aceptado de degeneración del cartilago articular y se considera una característica radiográfica cardinal de la enfermedad. En pequeños animales, la pérdida del espacio articular no es un signo fiable, dado que se emplean radiografías sin apoyo del peso. Se ha descrito un método indirecto, para evaluar el estado del cartilago articular en las articulaciones del hombro canino con osteocondritis disecante, que se basa en el tamaño de la lesión del hueso subcondral y en la presencia del fenómeno de vacío (Figs. 2 y 3).

Las estructuras individuales de los tejidos blandos no se visualizan tan fácilmente como las estructuras óseas, a no ser que estén rodeadas de grasa (p. ej. en los planos faciales o el aspecto craneal de la rodilla) (Fig. 1). Dadas estas limitaciones, es difícil visualizar las manifestaciones precoces de la OA mediante radiografía convencional.

Artrografía

La artrografía apenas se utiliza en traumatología de pequeños animales, pero es una técnica interesante y sencilla, disponible para la mayoría de los veterinarios. Aunque proba-

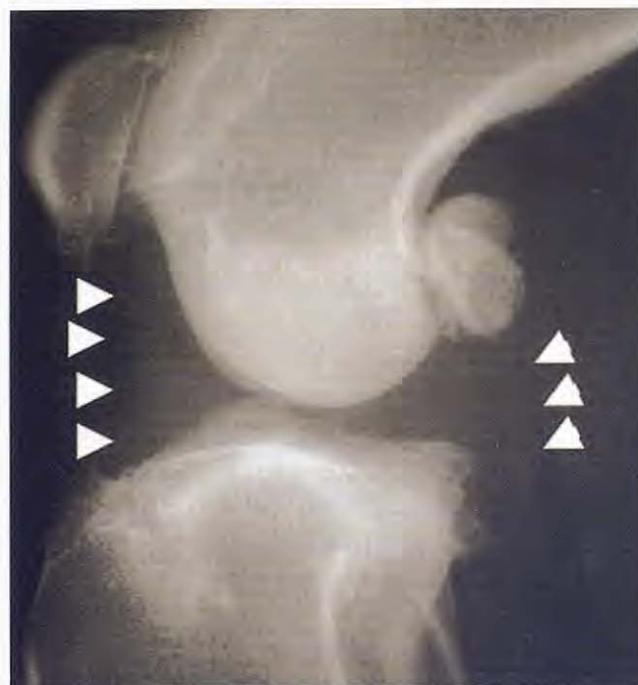


Figura 1. Artritis en la rodilla de un perro. Se visualiza la formación periarticular de hueso nuevo así como la efusión articular (puntas de flecha).

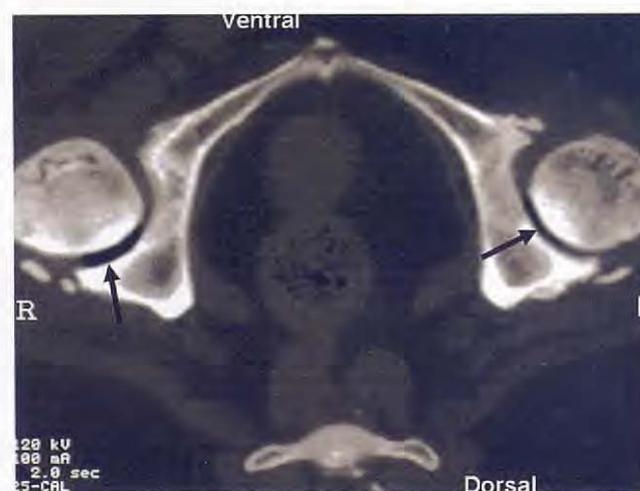


Figura 2. Imagen de TC de las articulaciones de la cadera de un perro con cambios artríticos. Formación de hueso nuevo, esclerosis subcondral y fenómeno de vacío (flechas) presentes en ambas articulaciones.

blemente no sea tan exacta como las nuevas técnicas de diagnóstico por imagen (artroscopia, RM y ecografía), proporciona información sobre las estructuras intraarticulares que no pueden observarse en las radiografías. En la articulación del hombro, los artrogramas permiten visualizar de forma preliminar las siguientes estructuras: cartilago articular, ligamentos intraarticulares, extensión de la cápsula articular y contorno de la superficie sinovial (Fig. 4). Para ello, deben inyectarse intraarticularmente de 1 a 4 ml de un contraste preferiblemente no iónico y de baja osmolaridad. Las exposiciones deben realizarse en los primeros 5 minutos tras la inyección, ya que el medio de contraste se absorbe rápidamente en la membrana sinovial. El empleo de medio de contraste

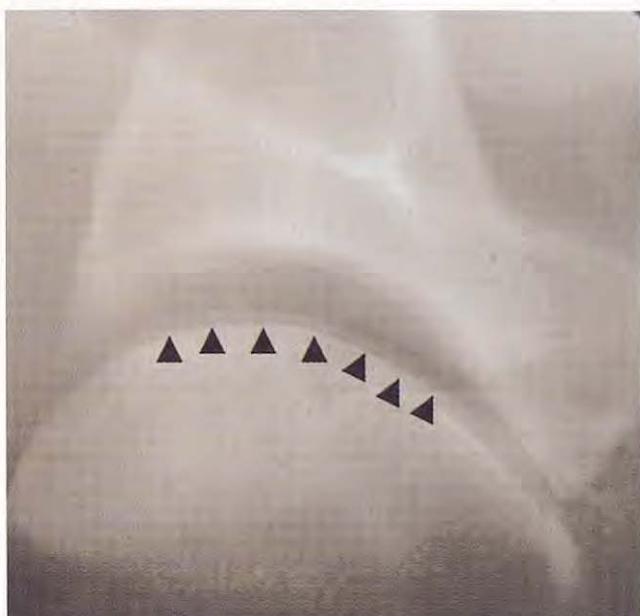


Figura 3. Articulación del hombro de un perro con artrosis. Se visualiza el fenómeno de vacío, un signo de degeneración del cartilago (puntas de flecha).

permite demostrar fisuras y fragmentaciones del cartilago, como sucede en casos de osteocondritis disecante, ya que el medio de contraste se infiltra por debajo del cartilago articular. De esta forma puede diferenciarse entre lesiones clínicas y no clínicas. La proliferación sinovial puede mostrarse como un contorno sinovial grueso e irregular o como un pequeño defecto de llenado en la cápsula articular (Fig. 5).

Radiografía microfocal de alta definición

Pueden realizarse radiografías de aumento incrementando la distancia entre el objeto y la película, pero manteniendo la distancia entre ésta y el tubo de rayos X. Los avances tecnológicos recientes han llevado a desarrollar unidades de rayos X microfocales de alta definición, que permiten el examen macrorradiográfico de las articulaciones con aumentos de entre 5 y 10 y con una resolución espacial elevada. Esta técnica permite detectar cambios precoces y sutiles asociados a la OA. La radiografía de aumento también puede combinarse con la artrografía, una técnica llamada macroartrografía, que permite medir el grosor del cartilago y mostrar posibles engrosamientos.

Al disminuir el espacio de aire entre el objeto y la película se reduce la cantidad de radiación dispersa. Por tanto, la radiografía de aumento proporciona una mayor definición, reducción del ruido y mejor contraste que la radiografía convencional. Sin embargo, la técnica de aumento requiere el empleo de un punto focal pequeño en el tubo de rayos X, mientras que la mayoría de los aparatos de rayos X utilizados habitualmente en la clínica tienen un punto focal mayor de 1 mm, lo que los inhabilita para la radiografía de aumento (Fig. 6).

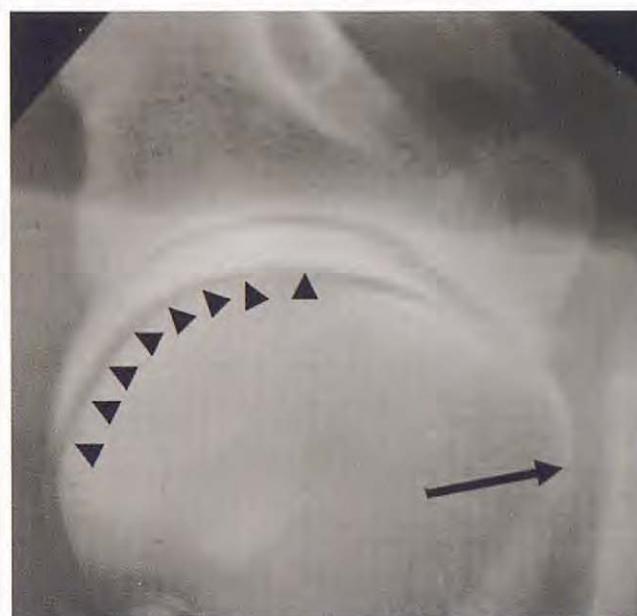


Figura 4. Artrograma de un hombro canino sano. Se visualizan el cartilago articular (puntas de flecha), la cápsula articular y el tendón del bíceps (flecha).



Figura 5. Artrograma del hombro de un perro con signos de artritis y sinovitis. Se visualiza una ligera efusión articular (flecha) y el contorno sinovial irregular de la vaina del tendón bicipital (puntas de flecha).

Gammagrafía

La gammagrafía ósea es una técnica de diagnóstico por imagen que se emplea con frecuencia en medicina veterinaria, principalmente en traumatología de grandes animales. Si bien la radiografía convencional es un método excelente para investigar cambios morfológicos en los huesos, las técnicas con radionúclidos proporcionan información sobre la función metabólica del esqueleto. La gammagrafía ósea es una técnica útil para evaluar



Figura 6 a+b. Radiografía clásica (a) y de aumento (b) de la rodilla de un perro con artritis. Este aumento se realizó utilizando un foco de 0,3 mm y muestra más detalles óseos con una alta resolución.



Figura 8. Ventana de tejido blando de un codo con una efusión articular importante. La cápsula articular distendida se visualiza claramente (puntas de flecha) y se puede diferenciar fácilmente entre el líquido articular (zonas oscuras) y el tejido sinovial (zonas grises).

la totalidad del esqueleto, localizar la causa de cojeras poco claras, o para emplear en caso de hallazgos radiográficos inciertos (Fig. 7). La gammagrafía ósea es un método muy sensible que permite la detección precoz de la enfermedad aunque no es demasiado específico. La radiografía, por otro lado, es menos sensible pero más específica. Asimismo, la resolución espacial que ofrece la gammagrafía no es suficientemente buena para especificar las estructuras anatómicas (Fig. 7). En algunos casos es difícil determinar si la diferencia de recuentos entre dos articulaciones constituye un hallazgo significativo. La comparación de imágenes bilaterales, adquiridas en el mismo momento, y el análisis cuantitativo mediante ordenador de las imágenes de las articulaciones proporciona pautas diagnósticas.

Tomografía computarizada

La TC ofrece varias ventajas frente a la radiografía simple. Es una técnica de imagen transversal que utiliza rayos X y ordenadores. Las principales ventajas de la TC, frente a las téc-



Figura 7. Cambios artrósicos en la zona de la articulación metacarpiana (flecha) que produce un 'punto caliente' en la correspondiente imagen de la gammagrafía (puntas de flecha). Compare el lado izquierdo con el derecho.



Figura 9 a+b. Radiografía mediolateral (a) y la imagen de TC correspondiente (b) de un codo canino. En la radiografía no pueden apreciarse cambios degenerativos, pero en la TC se observa claramente una línea de fisura (puntas de flecha), esclerosis subcondral y un osteofito (flecha) en la zona del proceso coronoides medial.

nicas radiográficas convencionales, son una mejor diferenciación de los tejidos blandos y la ausencia de superposición. La TC permite realizar un diagnóstico morfológico más específico y detallado que la radiografía. La TC facilita mucho el examen de estructuras articulares complejas como son el codo y el tarso. Otra ventaja es que las imágenes de TC transversas pueden volverse a formatear en múltiples planos anatómicos. Si bien la resolución espacial de las imágenes obtenidas con TC es menor que la de las radiografías clásicas, la presentación transversal de las imágenes y la mayor discriminación de la atenuación tisular que ofrece la TC, facilita la diferenciación de las estructuras de tejidos blandos que no pueden percibirse con las radiografías convencionales (Fig. 8). Nuevas formaciones óseas y osteolisis sutiles se identifican mejor en las imágenes de TC que en las radiografías convencionales, gracias a su mejor discriminación de la densidad física, a la capacidad para manipular la escala de grises de la imagen digital, y a la eliminación de las estructuras que se solapan. Los cambios degenerativos pueden detectarse en un estadio más precoz que con las radiografías convencionales (Fig. 9).



Figura 10. Imagen de RM de una rodilla canina sana. Se visualiza el tejido blando de alrededor de la articulación e incluso el menisco (flecha).

Microtomografía computerizada de alta resolución

Hasta hace poco, la imagen tridimensional de la osteoartritis se había limitado a los estadios finales de la enfermedad. La microtomografía computerizada (micro-TC) es una nueva herramienta de diagnóstico por imagen que permite diagnosticar la enfermedad en estadios precoces y monitorizarla. Proporciona una resolución espacial menor de 100 μ m, pero el tamaño de los objetos que pueden ser escaneados se restringe a unos pocos centímetros. La importancia de la micro-TC radica en la excelente visualización del hueso. Su principal aplicación en la OA, por tanto, es el análisis de biopsias de huesos humanos y de todo el hueso en modelos de pequeños animales. Con la micro-TC es posible monitorizar alteraciones óseas prominentes como la formación de osteofitos, el remodelado trabecular, el engrosamiento de la placa ósea subcondral y la esclerosis subcondral.

Resonancia magnética

La RM presenta ventajas obvias frente a la TC en la delimitación de las estructuras de tejidos blandos peri e intraarticulares. A diferencia de otras modalidades de diagnóstico por imagen, como la radiografía, la artrografía, la TC y la gammagrafía, la RM permite la visualización simultánea de todos los componentes articulares y puede detectar una amplia variedad de alteraciones articulares. Su principal ventaja es la capacidad para evaluar los diferentes componentes de la articulación junto con las estructuras adyacentes, y no solamente la superficie visualizada mediante artroscopia o delimitada mediante artrografía (Fig. 10). La RM puede detectar varias características ti-



Figura 11. Imagen de RM de un hombro con OCD. Obsérvense los graves cambios inflamatorios subcondrales en la cabeza humeral caudal (zona negra). En esta imagen no es posible diferenciar entre el cartílago articular y el líquido sinovial.

sulares y organizar las señales en diferentes combinaciones para obtener imágenes con aspectos diferentes que permiten realizar reconstrucciones con múltiples planos. La utilización de diferentes secuencias permite diferenciar entre distintas estructuras y procesos patológicos. La RM es especialmente sensible a las alteraciones de la médula ósea (Fig. 11). El estado actual de la RM en medicina humana sugiere que permitiría evaluar el aspecto sano y alterado del cartílago articular, pero aún no está definida la secuencia óptima necesaria para detectar lesiones articulares. La plétora de protocolos de diagnóstico por imagen, las orientaciones específicas de la articulación y los posibles artefactos dificultan el diseño y la interpretación de la RM. Además, no existe consenso entre los radiólogos en cuanto a qué protocolo proporciona la mejor imagen de las articulaciones. Asimismo, el fino cartílago articular de los perros parece dificultar la visualización del cartílago y de sus lesiones. La diferenciación entre cartílago y líquido sinovial no está clara, en particular en los perros jóvenes, debido al contraste insuficiente entre el líquido articular y el cartílago (Fig. 11). Si bien la inyección intravenosa de medios de contraste con gadolinio puede ser útil para detectar procesos inflamatorios, la administración intraarticular no es muy ventajosa. Los especialistas en RM del sistema locomotor ansían las mejoras específicas, en la visualización del cartílago articular, que el 3-tesla aportará al diagnóstico por imagen de procesos ortopédicos.

Ecografía

La ecografía es una técnica de diagnóstico por imagen potencialmente útil para el sistema locomotor de perros y gatos. Se emplean transductores lineales, con frecuencias mayores de 75MHz, a causa de la superficie plana de aplicación y su alto poder de resolución. Con esta técnica puede obtenerse la ima-

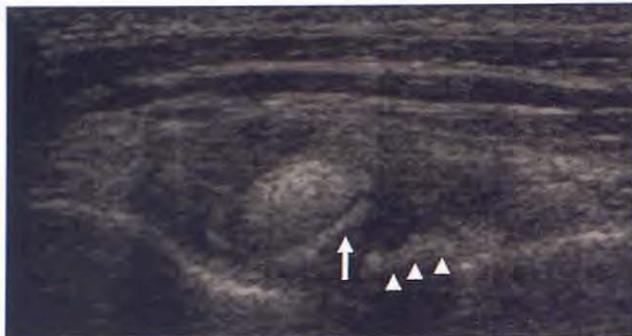


Figura 12. Ecografía transversa del surco bicipital de un perro con artrosis. Se visualiza un osteofito (flecha) incidiendo en el tendón del biceps e irregularidades en el surco (puntas de flecha).

gen de las articulaciones, especialmente de los tejidos blandos (ligamentos y cápsula) y del cartílago articular. El examen exhaustivo de las articulaciones requiere una notable experiencia en ecografía y un procedimiento de evaluación estandarizado. En la mayoría de las articulaciones puede demostrarse fácilmente la acumulación de incluso pequeñas cantidades de líquido (de hipo a anecoico) en la región de las bolsas articulares. El hueso subcondral se visualiza como una línea hiperecoica con una fuerte sombra acústica. La formación artrítica de nuevo hueso puede verse como irregularidades en la superficie ósea y pueden detectarse en un estadio precoz (Fig. 12). La superficie del cartílago articular normal aparece como una capa anecoica y se examina su integridad. Por ejemplo, los defectos del cartílago asociados a la osteocondritis disecante del cóndilo femoral lateral o de la cabeza humeral muestran bordes irregulares con rugosidades pronunciadas. La presencia en la ecografía de una segunda línea hiperecoica en el fondo del defecto subcondral es patognomónica de la presencia de un colgajo (Fig. 13). También puede evaluarse la proliferación sinovial (Fig. 14).

La ecografía biomicroscópica (UBM) es una nueva técnica que emplea ultrasonidos de alta frecuencia (20 a 55 MHz o más) en contraposición con los 15 MHz de los sistemas ecográficos convencionales. La resolución espacial de una imagen bidimensional es de hasta 50 μ m con una profundidad de penetración de aproximadamente 20 mm. La UBM del cartílago articular refleja la estructura histológica y puede detectar de forma exacta cambios precoces como fibrilación. La UBM tiene potencial para convertirse en una herramienta valiosa para la identificación in vivo de lesiones precoces de OA.

Artroscopia

La artroscopia es una técnica excelente para visualizar estructuras articulares no visibles en la radiografía. El factor de aumento del artroscopio permite la inspección detallada del cartílago articular, la membrana sinovial y los ligamentos y estructuras intraarticulares (Fig. 15).

La artroscopia permite la toma de muestras para biopsia de las diferentes estructuras, puede detectar lesiones degenerativas antes de que se manifiesten en la radiografía y puede sustituir a la artrotomía exploratoria de las articulaciones con artrosis. Los inconvenientes de la artroscopia son la dificultad de aprendizaje y el relativamente alto coste del equipo.

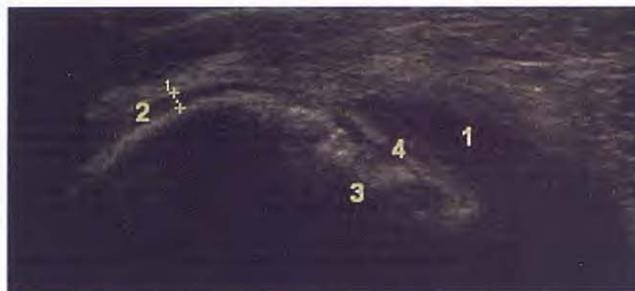


Figura 13. Ecografía de un colgajo de OCD en la zona de la cabeza humeral caudal de un perro.

1 = líquido articular; 2 = cartilago articular sano; 3 = cráter subcondral irregular; 4 = línea hiperecoica patognomónica de la presencia de un colgajo.



Figura 14. Proliferación sinovial (flecha) en la zona de la fosa medial de la articulación fémoro-tibial medial de un caballo.

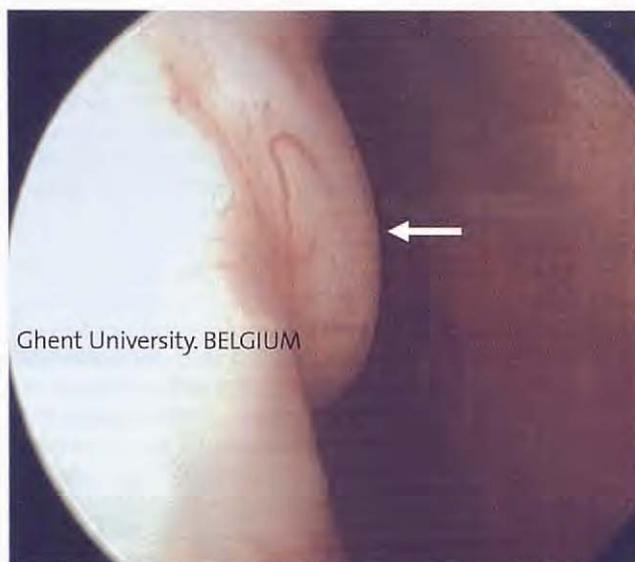


Figura 15. Imagen artroscópica de una rodilla canina con artrosis. Se visualiza claramente un osteofito (flecha) en la zona del cóndilo femoral lateral.

Conclusiones

El diagnóstico por imagen es esencial para clasificar la gravedad de la osteoartritis y evaluar la eficacia del tratamiento. La técnica ideal de diagnóstico por imagen debe detectar cambios en el cartílago articular, donde se inicia el proceso patológico. Las radiografías simples son el medio más sencillo y fácilmente disponible para evaluar la articulación, y la aparición de radiografías microfocales, que aumentan la radiografía, permiten una evaluación más exacta de la articulación. No obstante, la radiografía, la resonancia nuclear, la artrografía y la tomografía computerizada son técnicas limitadas

porque no permiten detectar alteraciones precoces del cartílago. La resonancia magnética tiene la ventaja de ofrecer imágenes multiplanares, un mejor contraste entre tejidos y ser no invasiva. Al igual que la radiografía, la RM puede subestimar el grado de alteración del cartílago. La técnica más sensible para determinar las alteraciones de la superficie articular es la artroscopia, pero es una técnica invasiva. Para detectar lesiones precoces y monitorizar su evolución es necesaria una mayor resolución. Son necesarios más estudios en el campo de la alta resolución y en la imagen volumétrica de la RM del cartílago articular y la UBM también tiene un potencial prometedor.

Title

Comparison of Imaging Techniques used in the Osteoarthritic Joint and their Interpretation

Summary

Osteoarthritis is a heterogeneous group of conditions resulting in common histopathological and radiological changes. Diagnostic imaging is central to staging the severity of osteoarthritis and assessing the efficacy of therapy. An ideal imaging technique would detect changes in articular cartilage.

Conventional radiography is an excellent imaging technique for bony structures but is a poor method for visualising soft tissue structures. It provides a greater spatial resolution than either MRI or CT. Nevertheless, the two-dimensional display of three-dimensional structures results in superimposition, which can mask important changes. Plain radiographs can confirm the diagnosis of osteoarthritis.

There are other imaging techniques as arthrography, scintigraphy, ultrasound, computerised tomography, magnetic resonance imaging and arthroscopy. CT enables better soft tissue differentiation and absence of superimposition. MRI has the advantages of multiplanar imaging, delineating soft tissue structures and allow for evaluation of the appearance of normal and abnormal articular cartilage. Arthroscopy is an invasive technique that allows taking biopsies of the different structures and visualises articular structures not visible on radiographs.

Keywords: Osteoarthritis, imaging techniques, radiography.

Bibliografia

1. Buckland-Weight J C, Lynch J A, Dave B. Early radiographic features in patients with anterior cruciate ligament rupture. *Ann Rheum Dis* 2000;59:641-646.
2. Carrig CB Diagnostic Imaging of osteoarthritis. *Vet Clin North Am Small Anim Pract* 1997;22:777-814.
3. Dalinka, ICZ. Modern diagnostic imaging in joint disease. *Am J Roentgenol* 1989;152: 229-240.
4. Eckstein F, Glaser C. Measuring cartilage morphology with quantitative magnetic resonance imaging. *Semin Musculoskelet Radiol.* 2004;8:329-618.
5. Erickson S. High-Resolution imaging of the musculoskeletal system. *Radiology* 1997;205:593-618.
6. Feldman. Musculoskeletal radiology: Then and now. *Radiology* 2000;216:309-316.
7. Gielen I, van Bree H, Van Ryssen B, et al. Radiographic findings in 23 dogs with osteochondrosis of the tarsocrural joint. *Vet Rec.* 2002;150:442-447.
8. Innes JF, Shepstone L, Holder J. Changes in the canine femoropatellar joint space in the postsurgical, cruciate-deficient stifle joint. *Vet Radiol Ultrasound* 2002; 43:241-248.
9. Miller CW, Presnell KR. Examination of the canine stifle: arthroscopy versus arthrotomy. *J Am Anim Hosp Assoc* 1985;21:623-629.
10. Peremans K, Dierckx R, Verschooten F, et al. Scintigrafie in de diergeneeskunde in het spoor van de humane toepassing. *VI Diergeneesk Tijdsch* 2000;69:298-310.
11. Petterson H, Resnick D. Musculoskeletal Imaging. *Radiology* 1998;208:561-562.
12. Raynauld JP. Quantitative magnetic resonance imaging of articular cartilage in knee osteoarthritis. *Semin Musculoskelet Radio.* 2004;8: 329-353.
13. Saied A, Laugier P. High-resolution ultrasonography for analysis of age- and disease-related cartilage changes. *Methods Mol Med.* 2004;101:249-265.
14. Spriet MP, Girard CA, Foster SF, et al. Validation of a 40MHz B-scan ultrasound biomicroscope for the evaluation of osteoarthritis lesions in an animal model. *Osteoarthritis Cartilage.* 2005;13:171-179.
15. Van Bree H, Van Ryssen B, Degryse H, Ramon F. Magnetic Resonance Arthrography of the Scapulohumeral Joints in Dogs, using Gadopentetate Dimeglumine. *Am J Vet Res* 1995;56:286-288.
16. Van Bree H, Van Ryssen B. Diagnostic and Surgical Arthroscopy in Osteochondrosis Lesions. *Vet Clin North Am Small Anim Pract* 1998;28:161-189.
17. Van Bree H, Degryse H, Van Ryssen B, et al. Pathologic correlations with magnetic resonance images of osteochondrosis lesions in dogs. *Am J Vet Res* 1990;7:1121-1125.
18. Van Bree H. Evaluation of the prognostic value of positive-contrast shoulder arthrography for bilateral osteochondrosis lesions in dogs. *Am J Vet Res* 1990;7:1121-1125.
19. Vandeveld B, Saunders J, Kramer M, et al. Comparison of the ultrasonographic appearance of osteochondrosis lesions in the canine shoulder with radiography, arthrography, and arthroscopy. *Vet Radiol Ultrasound* 2006; 47(2):174-184.
20. Waldschmidt J, Riling R, Kajacsy-Balla A, et al. In vitro and vivo MR imaging of hyaline cartilage: Zonal anatomy, imaging pitfalls, and pathologic conditions. *Radiographics* 1997;17:1387-1402.
21. Wachsmuth L, Engelke K. High-resolution imaging of osteoarthritis using microcomputed tomography. *Methods Mol Med* 2004;101:231-248.
22. Zanetti M, Bruder E, Romero J. Bone marrow edema pattern in osteoarthritic knees: correlation between MR imaging and histologic findings. *Radiology* 2000;215:835-840.