



Osteoarthritis Tanısında Manyetik Rezonans Görüntüleme

Zeynep BOZKAN TATLI^{1✉}, Murat SARIERLER¹

1.Adnan Menderes Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Cerrahi Anabilim Dalı, Aydın, TÜRKİYE.

Özet: Kedi ve köpeklerde osteoarthritis (OA) sık rastlanan bir problemdir. Kongenital olabildiği gibi, yaygın olarak kalça displazisi, osteochondritis dissecans (OCD), ununited anconeal process, fragmented coronoid process (FPC), ligamentum cruciatum anterior (LCA) rupturu, menisküs hastalıkları ve patella luksasyonu gibi hastalıklar sonucunda da şekillenebilir. Geleneksel olarak OA tanı ve değerlendirilmesi, klinik bulgular, fiziksel muayene ve radyografi ile yapılırsa da radyografi erken kıkırdak doku hasarını göstermez. Osteoarthritisin erken tanısı, tedavinin başarısını sağlamak açısından çok önemlidir. Bu nedenle, manyetik rezonans görüntüleme (MRG) ile OA'ye bağlı şekillenen kıkırdak dejenerasyonunu henüz mikroskopik düzeydeyken saptamak mümkün olduğundan, MRG önemli bir tanı yöntemi haline gelmektedir. İnsan hekimleri tarafından yaygın olarak kullanılan MRG, son yıllarda özellikle küçük hayvan pratiğine de dahil olmaya başlamıştır. Bu derlemede, MRG'nin OA tanısında kullanımına ait literatür verilerin derlenerek meslektaşlarımızla paylaşılması amaçlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Kedi, Kıkırdak, Köpek, Manyetik Rezonans, Osteoarthritis.

Magnetic Resonance Imaging for Diagnosis of Osteoarthritis

Abstract: Osteoarthritis (OA) is a common orthopaedic problem in cats and dogs. As it can be congenital, the OA commonly results from hip dysplasia, osteochondritis dissecans (OCD), ununited anconeal process, fragmented coronoid process (FPC), ruptured ligamentum cruciatum anterior (LCA), meniscal disorders and patellar luxation. Although the diagnosis and assessment of OA can be performed based on the clinical signs, physical examination and radiography, but the radiography could not show the early cartilage damages. Early diagnosis of the OA is very important to ensure the success of treatment. So, the magnetic resonance imaging (MRI) becomes an important diagnostic imaging technique, because it is possible to detect the cartilage degeneration due to the OA at microscopic level. The MRI techniques used widely by medical physicians have recently been getting involved in small animals practice as well. In this review, it is intended to summarize the literature on the MRI usage for diagnosis of the OA and to share the data with our colleagues.

Key words: Cartilage, Cat, Dog, Magnetic Resonance, Osteoarthritis.

✉Zeynep BOZKAN TATLI

Adnan Menderes Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Cerrahi Anabilim Dalı, Aydın, TÜRKİYE.
e-posta:zbozkan@hotmail.com

GİRİŞ

Osteoarthritis (OA), kedi ve köpeklerde sık rastlanan ortopedik bir problemdir. Konjenital olabildiği gibi, yaygın olarak kalça displazisi, osteochondritis dissecans (OCD), ununited anconal process, fragmented coronoid process (FPC), ligamentum cruciatum anterior (LCA) rupturu, menisküs lezyonları ve patella luksasyonu gibi hastalıklar sonucunda şekillenebilir (Martinez, 1997).

Geleneksel olarak OA tanı ve değerlendirilmesi, klinik bulgular, fiziksel muayene ve radyografi ile yapılabilmektedir. Hastalığın erken tanısı, tedavinin başarısı açısından son derece önemlidir. Tanıda ilk aşamada yaygın olarak kullanılmakla birlikte radyografi direkt olarak kıkırdak dokunun görüntülenmesinde yeterli bilgi vermez (Williams, 2005; Gold ve ark., 2006; Akhtar ve ark., 2007). Ayrıca radyografik bulgular her zaman klinik semptomlarla aynı seviyede olmayabilir (Muscowitz, 1993; Karaarslan, 1996; Hegemann ve ark., 2002).

Manyetik Rezonans Görüntüleme (MRG), manyetik alan içindeki hasta vücuduna gönderilen radyofrekans dalgalarının, dokularda bulunan hidrojen atomu çekirdeğindeki protonlarını uyarması sonucu alınan radyo sinyalleri ile oluşturulan bir görüntüleme yöntemidir (Güzel ve Yavru, 1997; Alkan, 1999; Berry, 2002). Bu yöntem yüksek yumuşak doku kontrastına sahip olması ve çok düzlemde kesit alınabilme özellikleriyle eklem kıkırdağının değerlendirilmesini sağlayan en iyi tekniktir (Alkan, 1999; Disler ve ark., 2000; Berry, 2002; Boesen ve ark., 2006). Köpeklerde deneysel olarak oluşturulan OA'nin görüntülenmesinde MRG'nin, bilgisayarlı radyografiye (CR) göre osteofit oluşumunun başlangıcı ve ilerlemesinin değerlendirilmesinde çok daha hassas olduğu bildirilmektedir (D'anjou ve ark., 2008).

Kıkırdak dokunun iyi bir şekilde değerlendirilebilmesi için; subkondral kemik plaklarındaki değişiklikler veya kalınlaşmalar, kemik iliğinde ödem, subkondral kistler ve granülasyon dokusu gözlenebilir, kıkırdağın kollagen çatısı ve

eklem kıkırdağının biyokimyasal kompozisyonundaki (proteoglikan yoğunluğunun azalması ve su içeriğinin artması) değişiklikler hem derin hem de yüzeysel katmanlarda tespit edilebilir, eklem kıkırdağında meydana gelen yüzeysel veya derin hasarlar kesin bir şekilde ayırt edilebilir (Verstraete ve ark., 2004). Bu bilgileri elde edebilmek amacıyla farklı MRG yöntemleri geliştirilmekte ve uygulanmaktadır. Genel olarak eklem kıkırdağının görüntülenmesinde kullanılan MRG yöntemleri morfolojik ve fizyolojik olmak üzere iki ana başlık altında incelenmektedir (Peterfy, 2000; Verstraete ve ark., 2004);

A) Morfolojik MRG yöntemleri;

1. Proton Dansiteli veya T2 ağırlıklı Fast Spin Eko
2. 3D-Spoiled Gradient-Recalled Görüntüleme
3. 3D-Double-Echo Steady State Görüntüleme
4. Driven Equilibrium Fourier Transform Görüntüleme
5. Balanced Steady-State Free Precession Görüntüleme

B) Fizyolojik MRG yöntemleri;

1. Diffusion-Weighted Görüntüleme
2. Sodyum MRG
3. Delayed Gadolinium Enhanced Magnetic Resonance Imaging of Cartilage

Morfolojik görüntüleme yöntemleri ile 2, 3 ve 4. derece kıkırdak lezyonları tespit edilebilirken (Verstraete ve ark., 2004), erken dönem (1. derece) lezyonlar ancak hassas fizyolojik görüntüleme yöntemleriyle belirlenebilir (Peterfy, 2000).

Yaklaşık olarak son onbeş yıldır köpeklerde deneysel olarak oluşturulan ligamentum cruciatum anterior rupturu sonrasında şekillenen OA'ye ilişkin eklem içi değişikliklerin belirlenmesinde MRG kullanımına dayalı birçok çalışma yapılmıştır (Baird ve ark., 1998; Lahm ve ark., 2005; Libicher ve ark., 2005;

Pepin ve ark., 2009). Sonuç olarak morfolojik görüntüleme yöntemlerine ilişkin çalışmaların bazılarında MRG bulgularının, OA'in makroskopik bulguları ile çok iyi şekilde korelasyon gösterdiği (Boileau ve ark., 2008), bazılarında ise lezyonların varlığını öngörmeye hassas olduğu (Harper ve ark., 2011, Galindo-Zamora ve ark., 2013) fakat şiddetini belirlemede zayıf olduğu (Harper ve ark., 2011) veya klinik açıdan yeterli olmadığı (Galindo-Zamora ve ark., 2013) belirlenmiştir.

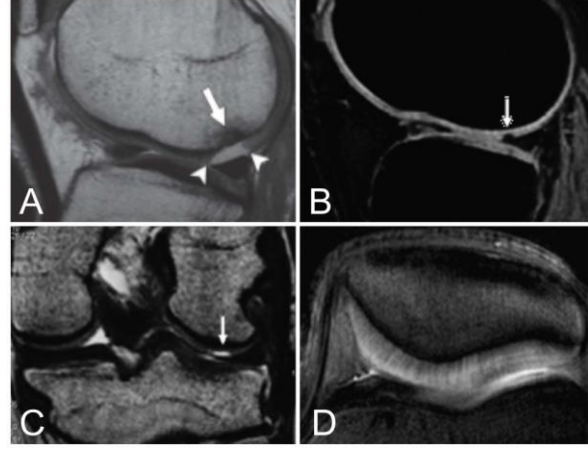
Günümüzde fizyolojik MRG teknikleri, birçok yumuşak doku parametresinin ölçümü, transplantların ve iyileşme sürecinin takibi, kırık doku ile ilgili biyokimyasal ve fizyolojik bilgi edinilmesi gibi alanlarda kullanılmakla birlikte özellikle OA'e bağlı kırık doku hasarının henüz mikroskopik düzeydeyken saptayabilmesi ile öne çıkmaktadır (Gold ve ark., 2006).

A) Eklem Kırıkdağının MR ile Morfolojik Olarak Görüntülenmesi

1.Proton Dansiteli veya T2 ağırlıklı Fast Spin Eko(FSE); Bu yöntemde eklem kırıkdağı sinovyal sıvıya göre daha düşük yoğunlukta sinyal oluşturur. Subkondral kemik iyi görüntülenir ve sinovyal sıvının bulunmadığı yerlerde kırıkdağ sınırları belirlenebilir (Sonin ve ark., 2002). Eklem kırıkdağının morfolojik olarak görüntülenmesinde kullanılan hem proton dansiteli hem de T2 ağırlıklı FSE görüntüleri, kırıkdağ hasarının tespitinde %73-87 hassaslık ve %79-94 spesifite ile doğruluk gösterir (Potter ve ark., 1998) (Şekil 1-A). Görüntü elde etme süresi kısadır ve yağ supresyonu olmadan elde edilen görüntülerde menisküs, ligament, tendo gibi diz içerisindeki diğer yapıların birebir değerlendirilmesi mümkündür, ancak derin kırıkdağ lezyonları iyi görüntülenemez (Verstraete ve ark., 2004).

2.3D-Spoiled Gradient-Recalled Görüntüleme (SPRG); Kırıkdağ lezyonlarının yüksek oranda doğru şekilde tespit edilebildiği bu tekniğin (Şekil 1-B), yüzeysel kırıkdağ defektlerinde, kırıkdağ ile sinovyal sıvı arasında yeterli kontrast oluşturulmaması ve

görüntüleme süresinin uzun olması gibi dezavantajları vardır (Disler, 1997; Gold ve ark., 2006).



Şekil 1; FSE görüntüleme (A), Yağ baskılamalı 3D-SPRG görüntüleme (B), 3D-DESS Sekansı ile Görüntüleme (C) (Verstraete ve ark., 2004), DEFT Görüntüleme (D) (Gold ve ark., 2006)

Figure 1; FSE Imaging (A), Fat-Supressed 3D-SPRG Imaging (B), 3D-DESS Sequence Imaging (C) (Verstraete et al., 2004), DEFT Imaging (D) (Gold et al., 2006)

3.3D-Double-Echo Steady State Görüntüleme (DESS);

Bu yöntemle menisküs, kas, ligament ve tendolar çok iyi görüntülenebilir (Şekil 1-C). Yağ baskılaması veya su eksizyonu yapılmadığında kırıkdağ dokunun sinyal yoğunluğu orta derecededir ve ölçümünün yapılması mümkün değildir. Eklem sıvısının sinyal yoğunluğu çok yüksektir ve kırıkdağ doku ancak yeterli eklem sıvısı varsa ayırt edilebilir (Verstraete ve ark., 2004).

4.Driven Equilibrium Fourier Transform (DEFT) Görüntüleme;

Konvensiyonel MRG'den farklı olarak dokuların T1/T2 oranına bağlı olarak görüntü oluşturan bu yöntemde sinovyal sıvıdan gelen sinyalin güçlendirilmesi ile kontrast oluşur ve proton dansiteli veya T2 ağırlıklı FSE ya da SPRG'ye göre daha fazla sıvı kontrastı şekillenir (Şekil 1-D) (Hargreaves ve ark., 1999; Gold ve ark., 2006).

5.Balanced Steady-State Free Precession (BSSFP) Görüntüleme;

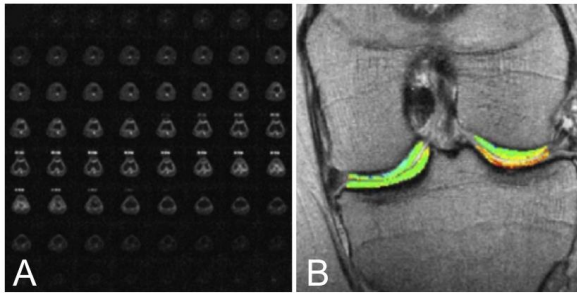
Steady Precession (FISP) görüntüleme veya True Fast görüntüleme olarak da bilinen bu yöntemin, kırıkdağ doku görüntülenmesinde yaygın olarak kullanılan birçok varyantı bulunmaktadır. Bu

yöntemde, dokuların T1/T2 oranına dayanarak kontrast üretilir ve görüntüde kıkırdak sinyali gizlenirken, eklem sıvısı parlak görünür (Duerk ve ark., 1998; Vasanawala, 1999; Hargreaves ve ark., 2003). BSSFP-temelli görüntüleme teknikleri ile gelişmiş yağ-su ayırma tekniklerinin kombine kullanımı sayesinde, kıkırdak kalınlık haritası çıkartmak ve hacim ölçümleri yapmak için günümüzde harcanan tarama zamanının kısalabileceği öngörülmektedir (Gold ve ark., 2006).

B) Eklem Kıkırdağının MR ile Fizyolojik Olarak Görüntülenmesi

1.Diffusion-Weighted Görüntüleme (DWI); Kıkırdak dejenerasyonunun erken dönemlerini belirlenmesinde hassas olan bu yöntem, eklem kıkırdağına su difüzyonunun görüntülenmesi esasına dayanır (Burstein ve ark., 1993; Gold ve ark., 2006).

2.Sodyum MRG; Hidrojen atomu gibi ^{23}Na atomu da manyetik rezonans fenomeni gösterir ve kıkırdak doku görüntülenmesi için kullanılabilir (Shapiro ve ark., 2000; Gold ve ark., 2006). Sodyum atomları, kıkırdak dokudaki proteoglikan sülfat ve karboksil gruplarında yoğun olarak bulunur ve sodyum MRG, proteoglikan düzeyinin azaldığı/bittiği bölgenin görüntülenmesi temeline dayanır (Şekil 2-A). Osteoarthritisin erken dönemlerinde kıkırdak dokunun proteoglikan seviyesindeki küçük değişiklikler bile görüntülenebilir ve böylece OA çok erken aşamada teşhis edilebilir (Borthakur ve ark., 2000).



Şekil 2; Sodyum görüntüleme (A), dGEMRIC görüntüleme (B) (Gold ve ark., 2006)

Figure 2; Sodium Imaging (A), dGEMRIC Imaging (B) (Gold et al., 2006)

3.Delayed Gadolinium Enhanced Magnetic Resonance Imaging of Cartilage (dGEMRIC);

Kıkırdaktaki proteoglikan bileşeni, negatif yüklü karboksil ve sülfat grupları ile birlikte glukozaminoglikan (GAG) yan zincirlerine sahiptir (Verstraete ve ark., 2004; Gold ve ark., 2006). Osteoarthritisite ilk önce kıkırdak matriksinden GAG kaybı olur ve dGEMRIC, kıkırdaktaki GAG konsantrasyonunu gösteren "Altın Standartı" karşılayan en hassas tekniktir. İntravenöz (IV) veya intraartiküler (IA) olarak uygulanan negatif yüklü MRG kontrast maddeleri (Gd-DTPA^{2-}), kıkırdağın içinde GAG konsantrasyonu düşük olan bölgelere daha yüksek oranda penetre olarak bu dağılımı yansıtan görüntüler sağlarlar (Şekil 2-B) (Gold ve ark., 2006). Bir çalışmada, Gd-DTPA^{2-} uygulamasının IV yolla yapılması (dGEMRIC) ile IA olarak yapılması (iGEMRIC) birbiriyle ve klasik MR artrografi ile karşılaştırılmış, iGEMRIC tekniğinin diğer iki yöntemin olumlu özelliklerini sergilediği ve erken artiküler hasarın tespitinde yararlı bir renk kodlamalı T1 haritası sağladığı ortaya konmuştur (Kwack ve ark., 2008).

Bununla birlikte, Wucherer ve ark. (2012) sağlıklı köpeklerde dirsek eklemi kıkırdağının görüntülenmesinde referans değerler elde etmek amacıyla dGEMRIC ve T2 görüntüleme yöntemini kullanmışlar ve iki yöntemin birbirinden farklı kıkırdak komponentlerini değerlendirdikleri için birbirine üstünlüğü bulunmadığını, bir arada kullanımının sinerji yaratacağını belirtmişlerdir.

SONUÇ

Uzun yıllardır tıp hekimleri tarafından deneysel olarak oluşturulan OA modellerinde tanı aracı olarak araştırılmakta olan MRG teknikleri, günümüzde insanlarda OA'e neden olan hastalıkların tanısı ve tedavisinin takibi amacıyla rutin olarak kullanılmaktadır. Son zamanlarda veteriner hekimlikte de klinik çalışmalar arasında yer almaya ve özellikle yurtdışında teşhis amacıyla kullanılmaya başlamış olan MRG ülkemizde, veteriner hekimliğe hizmet veren MRG merkezlerinin olmayışı ve mevcut MRG

merkezlerinin çok azının kısıtlı şekilde kullanılabilmesi nedeniyle, OA'in klinik tanısı için henüz yeterince yaygınlaşmamıştır. Bununla birlikte OA'i çok erken dönemlerinde teşhis etmeye imkan veren MRG'nin daha yaygın şekilde kullanımının hem ileriye dönük akademik çalışmalar hem de klinik vakaların tedavisi ve tedavi sürecinin takibinde büyük avantajlar sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Akhtar S., Poh CL., Kitney RI., 2007. An MRI derived articular cartilage visualization framework. *Osteoarthritis and Cartilage*, 15, 1070–1085.
- Alkan Z., 1999. *Veteriner Radyoloji*. 106-120, Mina Ajans, Ankara.
- Baird DK., Hathcock JT., Kincaid SA., Rumph PF., Kammermann J., Widmer WR., Visco D., Sweet D., 1998. Low-field magnetic resonance imaging of early subchondral cyst-like lesions in induced cranial cruciate ligament deficient dogs. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 39, 167-173.
- Berry CR., 2002. Physical principles of computed tomography and magnetic resonance imaging. In "Textbook of Veterinary Diagnostic Radiology", Ed., DE Thrall, 4th ed., 28-34, W.B. Saunders Company, Philadelphia.
- Boesen M., Jensen KE., Qvistgaard E., Danneskiold-Samsøe B., Thomsen C., Ostergaard M., Bliddal H., 2006. Delayed gadolinium-enhanced magnetic resonance imaging (dGEMRIC) of hip joint cartilage: better cartilage delineation after intra-articular than intravenous gadolinium injection. *Acta Radiologica*, 47, 391–396.
- Boileau C., Martel-Pelletier J., Abram F., Raynauld JP., Troncy E., D'Anjou MA., Moreau M., Pelletier JP., 2008. MRI can accurately assess the long-term progression of knee structural changes in experimental dog osteoarthritis. *Annals of the Rheumatic Diseases*, 67, 926–932.
- Borthakur A., Shapiro EM., Beers J., Kudchodkar S., Kneeland JB., Reddy R., 2000. Sensitivity of MRI to proteoglycan depletion in cartilage: comparison of sodium and proton MRI. *Osteoarthritis and Cartilage*, 8, 288–293.
- Burstein D., Gray ML., Hartman AL., Gipe R., Foy BD., 1993. Diffusion of small solutes in cartilage as measured by nuclear magnetic resonance (NMR) spectroscopy and imaging. *Journal of Orthopaedic Research*, 11, 465–478.
- D'anjou MA., Moreau M., Troncy E., Martel-Pelletier J., Abram F., Raynauld JP., Pelletier JP., 2008. Osteophytosis, subchondral bone sclerosis, joint effusion and soft tissue thickening in canine experimental stifle osteoarthritis: comparison between 1.5T MRI and computed radiography. *Veterinary Surgery*, 37, 166–177.
- Disler DG., 1997. Fat-suppressed three-dimensional spoiled gradient-recalled MR imaging: assessment of articular and physeal hyaline cartilage. *American Journal of Roentgenology*, 169, 1117–1123.
- Disler DG., Recht MP., McCauley TR., 2000. MR imaging of articular cartilage. *Skeletal Radiology Journal*, 29, 367–377.
- Duerk JL., Lewin JS., Wendt M., Petersilge C., 1998. Remember true FISP? A high SNR, near 1-second imaging method for T2-like contrast in interventional MRI at 2 T. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, 8, 203–208.
- Galindo-Zamora V., Dziallas P., Ludwig DC., Nolte I., Wefstaedt P., 2013. Diagnostic accuracy of a short-duration 3 Tesla MR protocol for diagnosing stifle joint lesions in dogs with non-traumatic cranial cruciate ligament rupture. *BMC Veterinary Research*, 9, 40.
- Gold GE., Burstein D., Dardzinski B., Lang P., Boada F., Mosher T., 2006. MRI of articular cartilage in OA: novel pulse sequences and compositional/functional markers. *Osteoarthritis and Cartilage*, 14, A76–A86.
- Güzel N., Yavru N., 1997. *Veteriner genel radyoloji*,

- Selçuk Üniversitesi, Veteriner Fakültesi yayınları, Konya.
- Hargreaves BA., Gold GE., Beaulieu CF., Vasawala SS., Nishimura DG., Pauly JM., 2003. Comparison of new sequences for high-resolution cartilage imaging. *Magn. Reson. Med.*, 49, 700–709.
- Hargreaves BA., Gold GE., Lang PK., Conolly SM., Pauly JM., Bergman G., 1999. MR imaging of articular cartilage using driven equilibrium. *Magnetic Resonance in Medicine*, 42, 695–703.
- Harper TAM., Jones JC., Saunders GK., Daniel GB., Leroith T., Rossmeissl E., 2011. Sensitivity of low-field T2 images for detecting the presence and severity of histopathologic meniscal lesions in dogs. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 52, 428–435.
- Hegemann N., Kohn B., Brunberg L., Schmidt MF., 2002. Biomarkers of joint tissue metabolism in canine osteoarthritic and arthritic joint disorders. *Osteoarthritis and Cartilage*, 10, 714–721.
- Karaarslan Y., 1996. Osteoartrit. In “Klinik Romatoloji”, Ed., Y Kararslan, 198-209, Hekimler Yayın Birliği, Ankara.
- Kwack K., Cho J., Kim M., Yoon C., Yoon Y., Choi J., Kwon J., Min B., Sun J., Kim S., 2008. Comparison study of intraarticular and intravenous gadolinium-enhanced magnetic resonance imaging of cartilage in a canine model. *Acta Radiology*, 49, 65–74.
- Lahm A., Uhl M., Edlich M., Erggelet C., Haberstroh J., Kreuz PC., 2005. An experimental canine model for subchondral lesions of the knee joint. *The Knee*, 12, 51–55.
- Libicher M., Ivancic M., Hoffmann V., Wenz W., 2005. Early changes in experimental osteoarthritis using the Pond-Nuki dog model: technical procedure and initial results of in vivo MR imaging. *European Radiology*, 15, 390–394.
- Martinez SA., 1997. Congenital conditions that lead to osteoarthritis in the dog. *Veterinary Clinics of North America-Small Animal Practice*, 27, 735–758.
- Moscowitz RW., 1993. Clinical and laboratory findings in osteoarthritis. In “Arthritis and Allied Conditions, A Textbook of Rheumatology”, Eds., DJ Mc Carty, WJ Koopman, 12th ed., 1735-1760, Lea & Febiger, Philadelphia.
- Pepin SR., Griffith CJ., Wijdicks CA., Goerke U., McNulty MA., Parker JB., Carlson CS., Ellermann J., LaPrade RF., 2009. A comparative analysis of 7.0-Tesla MRI and histology measurements of knee articular cartilage in a canine posterolateral knee injury model. *American Journal of Sports Medicine*, 37, 119–124.
- Peterfy CG., 2000. Scratching the surface, articular cartilage disorders in the knee. *Magnetic Resonance Imaging Clinics of North America*, 8, 409–430.
- Potter HG., Linlater JM., Allen AA., Hannafin JA., Haa SB., 1998. MR imaging of articular cartilage of the knee: a prospective evaluation using fast spin-echo imaging. *The Journal of Bone and Joint Surgery American Volume*, 80, 1276–1284.
- Shapiro EM., Borthakur A., Dandora R., Kriss A., Leigh JS., Reddy R., 2000. Sodium visibility and quantitation in intact bovine articular cartilage using high field (23)Na MRI and MRS. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, 142, 24–31.
- Sonin AH., Pency RA., Mulligan ME., Hatem S., 2002. Grading articular cartilage of the knee using fast spin-echo proton densityweighted MR imaging without fat suppression. *American Journal of Roentgenology*, 179, 1159–1166.
- Vasawala SS., Pauly JM., Nishimura DG., 1999. Fluctuating equilibrium MRI. *Magnetic Resonance in Medicine*, 42, 876–883.
- Verstraete KL., Almqvist F., Verdonk P., Vanderschueren G., Huysse W., Verdonk R., Verbrugge G., 2004. MRI of cartilage and cartilage repair. *Clinical Radiology*, 59, 674–689.

Williams A., Sharma L., McKenzie CA., Prasad PV., Burstein D., 2005. Delayed gadolinium-enhanced magnetic resonance imaging of cartilage in knee osteoarthritis. *Arthritis and Rheumatism*, 52, 3528–3535.

Wucherer KL., Ober CP., Conzemius MG., 2012. The use of delayed gadolinium enhanced MRI of cartilage and T2 mapping to evaluate articular cartilage in the normal canine elbow. *Veterinary Radiology & Ultrasound*, 53, 57–63