



# Diz patolojilerinde üç boyutlu görüntüleme

## Three dimensional imaging in knee pathologies

Murat Korkmaz<sup>1</sup>, Mustafa Fatih Erkoç<sup>2</sup>, Volkan Akdoğan<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Yozgat Bozok Üniversitesi Tıp Fakültesi, Ortopedi ve Travmatoloji Ana Bilim Dalı, Yozgat

<sup>2</sup>Yozgat Bozok Üniversitesi Tıp Fakültesi, Radyoloji Ana Bilim Dalı, Yozgat

<sup>3</sup>İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Hatay

Sağlık sorunlarından en çok etkilenen bölgelerin başında diz eklemleri gelir. Diz patolojileri, yalnızca ülkemizde dört milyon civarında bireyin şikâyetleri arasında yer alan ve yapısal bozukluklara sebep olan hastalıklardır. Değişik segmentasyon teknikleri ile hastalardaki dokular tespit edilebilmektedir fakat dizdeki patolojilerin tespiti, boyutlarının küçük olması sebebiyle segmentasyon işlemini zorlaştırmaktadır. Patolojileri belirlemek için kantitatif manyetik rezonans (MR) görüntüleme yöntemleri kullanılsa da bu yöntemlerin pratikte aktif şekilde uygulanmasının önünde otomatik olmaması, uzun sürmesi ve iş yükü fazlalığı yer almaktadır. Otomatik segmentasyon yönteminin başarı oranının derin öğrenme ve görüntü işlemedeki ilerlemelerle birlikte artması, bu yöntemin pratik alanda daha çok kullanımının önünü açmıştır. Üç boyutlu segmentasyon yöntemi, patolojilerin görselleştirilmesini sağlayarak dejenerasyonların tedavisinin yapılandırılmasına önemli ölçüde katkı sağlar. Bu yöntemle yarı otomatik ve manuel segmentasyonun getirdiği dezavantajlar ve değerlendiricilerin farklı yorumlama olasılıkları ortadan kalkmaktadır. Dizin, tüm olarak değerlendirilebileceği yapay zekâ programlarına ihtiyaç duyulmaktadır.

**Anahtar sözcükler:** diz; üç boyutlu görüntüleme; segmentasyon; yapay zekâ

Knee joints are the most affected areas by these health problems. Knee pathologies are diseases that cause structural disorders and are among the complaints of almost four million individuals in Turkey alone. Tissues in patients can be detected with different segmentation techniques, but detection of pathologies in the knee complicates the segmentation process due to their narrowness. Although quantitative magnetic resonance (MR) imaging methods are used to identify pathologies, the application of these methods have difficulties in practice, it takes long time, is not automatic and has excessive workload. The increase in the success rate of the automatic segmentation method with the advances in deep learning and image processing has paved the way for more practical use of this method. The three dimensional segmentation method contributes significantly to the structuring of the treatment of degenerations by providing the visualization of pathologies. With this method, the disadvantages of semi-automatic and manual segmentation and the different interpretation possibilities of the evaluators are eliminated. Artificial intelligence programs are needed, which can be considered as a whole pathology of knee.

**Key words:** knee; three dimensional imaging; segmentation; artificial intelligence

**B**ireysel ve takım sporlarına olan ilginin artması, sportif etkinliklere bağlı yaralanmalarda artışa neden olmuştur. En sık etkilenen eklemler diz, ayak bileği, omuz ve kalça eklemleridir. Son yıllarda yapılan çalışmalar, bu eklemlerin anatomik ve kinematik özelliklerinin daha iyi anlaşılmasını sağlamıştır. Sık yaralanan eklemlerden diz ekleminin anatomik ve kinematik özelliklerinin kompleks (karmaşık) olduğu tespit edilmiştir. Diz; eklemdaki her bir yapının eklemin stabilitesine olan katkılarının farklı ve önemli olmasından dolayı, diz yaralanmalarında teşhis tedavi basamaklarına çok fazla etki edebilmektedir.

Diz patolojisinin teşhisi ayrıntılı bir hikâye ve fizik muayene ile başlar. Bunu radyolojik tetkikler ile desteklemek gerekir. Direkt grafi; özellikle kırıkların, çıkıkların, osteoartritin ve dizlim bozukluklarının teşhisinde ve tedavinin yönlendirilmesinde ilk başvurulacak radyolojik tetkiktir. Bilgisayarlı tomografi (BT) gözden kaçabilecek *non-dep-lase* kemik kırıkları ve diğer kemik patolojilerinin teşhisinde kullanılmaktadır. Son yıllarda ulaşılmasının kolay ve *non-invasive* olması, yumuşak doku patolojilerini daha iyi göstermesi ve radyasyon maruziyetinin olmaması nedeniyle diz eklem içi rahatsızlıklarında en çok tercih edilen tetkik manyetik rezonans (MR) görüntülemidir.<sup>[1,2]</sup>

**İletişim / Contact:** Prof. Dr. Murat Korkmaz • **E-posta / E-mail:** doktormuratorkorkmaz@hotmail.com

**ORCID ID:** Murat Korkmaz, 0000-0002-5920-0280 • Mustafa Fatih Erkoç, 0000-0002-6266-5177 • Volkan Akdoğan, 0000-0003-2219-2317

**Geliş / Received:** 30 Ekim 2021 • **Kabul / Accepted:** 21 Aralık 2021

Manyetik rezonans görüntüleme; ön ve arka çapraz bağları, iç ve dış yan bağ yapılarını, menisküs ve kıkırdakları değerlendirmede en iyi tetkiktir.<sup>[3,4]</sup> Çalışmalarda, diz içi patolojilerinde menisküs yırtığı tanısında MR'nin duyarlılığının ve özgüllüğünün %90'ın üzerinde olduğu belirtilmektedir.<sup>[5]</sup> Ancak Boz'un yaptığı çalışmada MR'nin menisküs yırtıkları için duyarlılığının %70, özgüllüğünün %73, tutarlılığının ise %70'ler düzeyinde olduğu ve uyum düzeyinin ise düşük düzeyde olduğu belirtilmiştir. Aynı çalışmada, medial ve lateral menisküs yırtıkları için sırasıyla %75-30 duyarlılık, %76-98 özgüllük, %75-85 tutarlılık düzeyine sahip olduğu ve kappa uyum düzeyinin ise 421-381 (orta-düşük) olduğu belirlendi. MR'nin ön çapraz bağ lezyonlarını belirlemede %78 duyarlılık, %97 özgüllük, %93 tutarlılık düzeyine sahip olduğu ve kappa uyum düzeyinin 780 (önemli) olduğu tespit edildi. MR'nin ileri evre kıkırdak lezyonları için %72 duyarlılık, %93 özgüllük, %81 tutarlılık düzeyine sahip olduğu ve kappa uyum düzeyinin 632 (önemli) olduğu belirlendi.<sup>[6]</sup> Bunun yanında ultrasonografi ve diğer invaziv tetkikler de yeri geldiği zaman, özellikle diz patolojilerinin teşhisinde kullanılmaktadır.

Günümüzde, yapay zekânın kullanım alanları gittikçe genişlemekte ve bu alanlarda yapılan çalışmalar da artmaktadır. Özellikle görüntü işleme alanında yapay zekânın alt disiplinlerinden biri olarak karşılaşılan derin öğrenme ve tıbbi görüntü formatlarının dijitalleşmesi sayesinde, yapay zekânın sağlık sektöründe kullanımı oldukça dikkat çekici konular arasında yer almaktadır.

Yapay zekânın tıbbi görüntülerin işlenmesinde kullanımı, teşhis ve tedavi algoritmalarının daha rahat ve kişiye özel kullanımını getirmeye başlamıştır.<sup>[7]</sup> Özellikle tıbbi görüntüleme yapay zekâ kullanımı sadece dijital tıbbi görüntülerin bu teknikler ile işlenmesi ve netleştirilmesini değil, hastalıkların tam teşhis ve tedavide yapay zekâ yazılımlarından en üst düzeyde fayda sağlamak; teşhis ve tedavide en az hatayı yapmak için de kullanılmaktadır.<sup>[8]</sup> Geliştirilecek uygulamalardaki amaç özellikle diz gibi birçok yapıyı dolayısıyla da intraartiküler patolojiyi barındıran eklemi daha iyi incelemek olmalıdır.

Biz bu çalışmamızda özellikle yapay zekâ destekli programların kullanıldığı, son zamanlarda geliştirilen ve diz patolojilerinin teşhisi için kullanılan yöntemleri araştırmak istedik.

## MENİSKÜSLER

Diz eklemine binen yüklenmelerde absorpsiyon (emilim) görevi gören menisküsler, dejenerasyon ve yırtık nedeniyle en sık artroskopik cerrahi uygulama nedenlerinden biridir. Bu patolojilerin teşhisinde MR, ameliyat öncesi en sık kullanılan radyolojik teşhis yöntemidir. Günlük pratikte düzgün bir ortopedi muayenesinin yapıl-

maması, hikâyenin eksik alınması, sadece MR görüntülemesine göre cerrahi kararının verilmesi ve direkt grafilerin ihmal edilmesi diz içi patolojiler ile menisküs patolojilerine yaklaşımda yapılan hatalardır. Radyolojik görüntüleme teknikleri üzerine yapılan çalışmalarda medial ve lateral menisküs görüntülemesinde farklı doğruluk oranları bildirilse de literatürde MR yardımıyla %65-99 doğru tanı konulabileceği bildirilmiştir.<sup>[6,9,10]</sup>

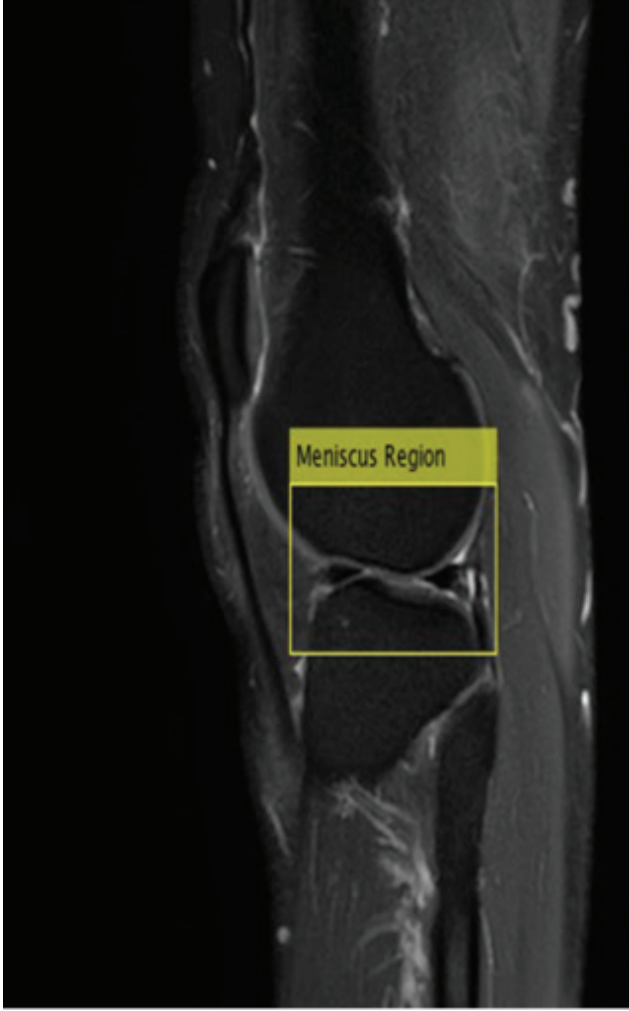
Diz menisküs patoloji ve tedavi şekilleri, bu konu üzerine yapılan yeni çalışmalarla çeşitlenmektedir. MR'nin yüksek tanı değeri, özellikle gittikçe artan ameliyat sonrası menisküs değerlendirmeleriyle; kök yırtıkları, köşe patolojileri, lateral menisküs patolojileri ve menisküs konjenital patolojilerinde doğru tanı oranını daha da artırmaktadır. Ancak patolojilerin çeşitliliğinin artması, eklem yüzeyine uzanan patolojik sinyalin MR'de değerlendirilmesini güçleştirmektedir. MR'nin duyarlılığı ve özgüllüğü düşmektedir. Bazen bu patolojiler 3 Tesla MR'de bile atlanabilmektedir.

Menisküs yırtıklarında sık karşılaşılan bir durum da radyoloğun değerlendirmesine göre yalancı yırtık görünümü ile yırtığın karışmasıdır.<sup>[4,11]</sup> Özellikle lateral menisküs arka boynuzundaki katlanmalar, Humphrey ve Wrisberg ligamentlerinin ve diğer intrameniskal ligamentlerin yanlış yorumlanması, popliteus tendonu, meniskal kalsinozis ve diskoid menisküs sık rastlanılan yanlış yorumlama bölgeleri arasında yer almaktadır.<sup>[12,13]</sup>

Ayrırcı tanıyı tam yapmak ve uygulanacak tedavi şekline karar verilebilmesi için özellikle MR'de üç boyutlu görüntüleme ile ilgili çalışmalar son zamanda çoğalmıştır. Özellikle bu çalışmalar daha çok patoloji bölgelerinin yapay zekâ yöntemleriyle üç boyutlu hale getirilmesini içermektedir. Bu işleme "segmentasyon" denilmektedir. Örneğin; görüntüler bölünerek anatomik bölgelere göre sınıflandırılmış bunun için de menisküs ayrılmıştır. Bu görüntülerle yapay zekâ yöntemi olan en yakın k komşuluğu (*Nearest Neighbors*, KNN), derin öğrenme makinesi ve destek vektör makineleri kullanılarak menisküs yırtıkları tespit edilmiştir. Bu sayede menisküslerde yırtıkların olup olmadığı, varsa yırtıkların menisküsün hangi bölgesinde olduğu veya diğer patolojileri kısa bir süre zarfında ortaya koyulmuştur. Bu yöntemle menisküsleri yırtık tiplerine göre sınıflandırma işlemi %77-88 arası bir başarı oranıyla gerçekleştirilmektedir.<sup>[14,15]</sup>

Özellikle R-CNN (*Regions with Convolutional Neural Network*; Evrimsel sinir ağıları) programı ile otomatik olarak menisküsün algılanması, menisküs bölütlemesi işlemi ve segmentasyon metodu ile üç boyutlu görüntülenmesi sağlanmaktadır.<sup>[15]</sup>

Ölmez ve ark.'nın iki aşamalı olarak menisküsü üç boyutlu (3B) hale getirdikleri çalışmada ilk olarak R-CNN



Şekil 1. Normal diz eklemi manyetik rezonans görüntüsü.

programı ile MR görüntüleri içerisinde menisküs bölgesini en iyi gösteren resim etiketlenerek bölgenir. Bunlardaki menisküs bölgeleri toplanarak görüntülerde sadece menisküs olan kısımlar ayıklanır. Tek boyutlu olarak verilen görsel birleştirilir ve üç boyutlu hale getirilir. İkinci aşamada MR işlenir; sadece menisküs olan resimler elde kalınca bu sefer de doku kısmı diğer kısımlardan görüntü işleme yöntemiyle ayrıştırılır. R-CNN ve klasik görüntü işleme adımları ile görüntüler işlenince bilgisayarda kalitesiz görünür ancak görüntüleme sistemleri ile açılınca kalite artar (Şekil 1,2).<sup>[15]</sup>

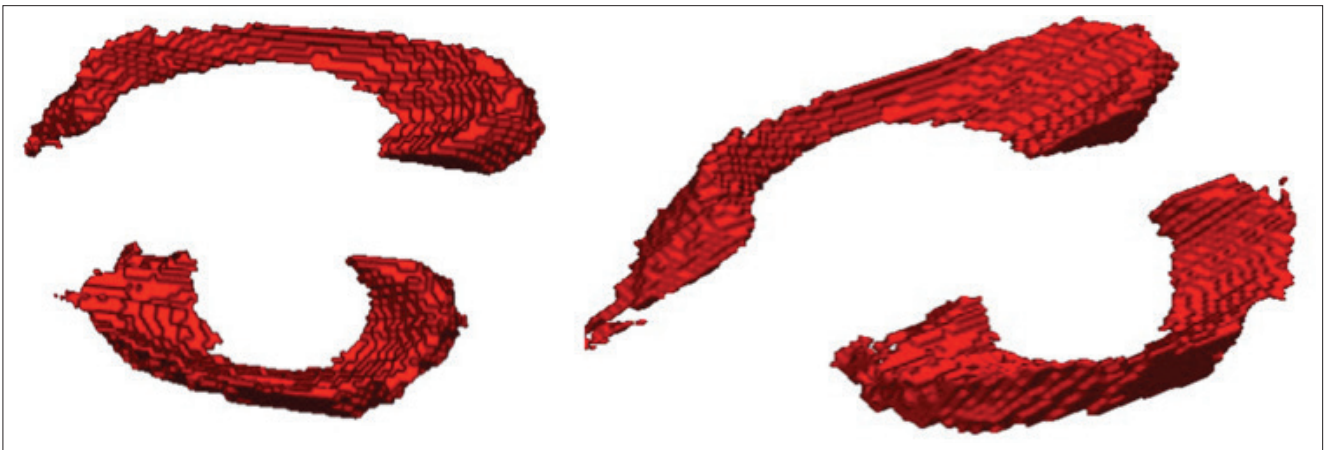
Segmentasyon ile menisküs görüntüleri daha iyi çekilip analiz edilmesine rağmen MR'de tüm dizin üç boyutlu görüntülemesi ile ilgili yeterli yayına literatürde rastlanmamıştır.

## BAĞLAR

Dizin bağ yapıları başlıca ön çapraz bağ (ÖÇB), arka çapraz bağ (AÇB), iç yan bağlar ve dış yan bağlar, patellar tendon ve kuadriseps tendonu şeklinde incelenmektedir.<sup>[16]</sup>

Ön çapraz bağ yırtıkları, %94 duyarlılık ve %90 özgüllükte bir doğrulukla MR'de saptanabilirler.<sup>[17]</sup> Ancak ihmal edilmiş (yırtilıp medial kondile tekrar yapışma gibi) yırtıklarda ve parsiyel-tam yırtık ayrımının yapılamadığı yırtıklarda, ayırım çoğu zaman artroskopik diz muayenesi sırasında yapılabilmektedir.

Beş yıllık bir süre boyunca bir ÖÇB revizyonunun veya kontralateral ÖÇB rekonstrüksiyonunun riski yaklaşık %7'dir.<sup>[18]</sup> Ancak bir diğer önemli ÖÇB konusu da revizyona karar vermede tünel genişlemesinin tespitidir. Tünel genişliğinin ölçümünde farklı radyolojik tetkikler kullanılmıştır. Bunların arasında düz grafi, BT, MR ve üç boyutlu BT bulunmaktadır.<sup>[19]</sup> Özellikle MR'de üç boyutlu görüntüleme ve böylelikle daha anatomik bir rekonstrüksiyon



Şekil 2. Üç boyutlu olarak R-CNN (Regions with Convolutional Neural Network/Evrişimsel sinir ağları) ve görüntü işleme tekniği ile alınan lateral ve medial menisküsler.

yapılabileceğiyle ilgili çalışmalarla ileride oluşacak tünel gevşemesi veya yanlış tünel açma gibi komplikasyonlar en aza indirilmeye çalışılmaktadır.<sup>[20]</sup>

Arka çapraz bağ, dizin en güçlü bağı ve başlıca stabilizandır. Ön çapraz bağların iki katı kadar güçlü olduğundan yırtılabilmesi oldukça yüksek bir güç gerektirir.<sup>[21]</sup> Dizinin belirgin instabilitesi ile birlikte giden AÇB yırtığı, ÖÇB yırtığına göre daha az izlenir ve yüksek enerjili sekonder gelişir. Arka çapraz bağlar, MR'de en kolay saptanan yapıdır. Sıklıkla birden fazla kesitle izlenir. Ligament devamlılığında bozulma, genişleme, artmış sinyal odağı ve normal posterior konveksitede bozulma, MR'de yırtık bulguları olarak değerlendirilir.<sup>[22]</sup> Arka çapraz bağları ile ilgili literatürde yapay zekâ çalışmasına rastlayamamak bir eksiklik olarak değerlendirilmiştir.

### KIKIRDAK DOKU

Vücudun en büyük sesamoid eklemi olan patellofemoral eklem, tibiofemoral eklem ile birlikte çalışır. Kıkırdakta izlenen patolojik değişiklikler genellikle travma ve sportif faaliyetler sonucu olarak gelişir. Ancak kıkırdakta yaş ve genetik etkiyle gelişen, kıkırdağın yüzeysel tabakasından orta tabakasına doğru uzanan çatlaklar ve sonuçta subkondral kemiğin yeniden şekillenmesi fokal yumuşamaya neden olur. Yumuşama bölgesinin altındaki derin parçadaki fissürler tedavi edilmediğinde de patellofemoral ve tibiofemoral eklemlerde osteoartrit meydana gelmektedir.<sup>[23]</sup> Bazen menisküs yırtığı ya da kıkırdak defekti, hava kabarcıklarının da etkisiyle birbirlerini taklit edebilir ve yanlış teşhise neden olabilir.<sup>[24]</sup>

Son yıllarda yapay zekâ ile yapılan ağ tabanlı modellerle diz kıkırdağı ve menisküs için yüksek doğrulukla tam otomatik segmentasyon sağlandı.<sup>[25]</sup> Böylelikle kıkırdak hasarlarına daha programlı yaklaşım olasılığı doğmuştur.

Yine osteoartrit erken dönemi için femur, tibia ve patella eklem yüzlerini kombine CNN yöntemi ve 3B modelleme yaklaşımı ile görüntü segmentasyonu yapılmıştır.<sup>[26,27]</sup> Derin öğrenme tabanlı segmentasyon yöntemi, kas-iskelet sistemi görüntülemeye umut verici potansiyel uygulamalara sahiptir.

Segmentasyonla üç boyutlu görüntülemenin yanında, özellikle diz protezi ameliyatlarında robotik cerrahi destekli operasyonlar çoğalmıştır. Özellikle protez dizilimi ve protez büyüklüğünün belirlenmesinde umut verici olmuştur. Diğer bir gelişme de diz artroskopisi, cerrahi sonuçları iyileştirmek için diz artroskopisi için ultrason güdümlü robotik bir platform düşünülebilir. Robotik diz artroskopisinde de femur kıkırdağını klinik doğrulukla lokalize etme potansiyeline sahiptir.<sup>[28]</sup>

Sonuç olarak diz eklemi ile ilgili son yıllarda artan sayıda yapay zekâ çalışması vardır. Birçok çalışma segmentasyon şeklinde eklemi lokal olarak daha iyi inceleme olanağı vermektedir. Ancak dizi tamamen değerlendirme imkânı sağlayacak yapay zekâ program ve çalışmalarına ihtiyaç vardır.

### KAYNAKLAR

1. Mackenzie R, Palmer CR, Lomas DJ, Dixon AK. Magnetic resonance imaging of the knee: diagnostic performance studies. *Clin Radiol* 1996;51(4):251-7. [Crossref](#)
2. Mackenzie R, Dixon AK, Keene GS, Hollingworth W, Lomas DJ, Villar RN. Magnetic resonance imaging of the knee: assessment of effectiveness. *Clin Radiol* 1996;51(4):245-50. [Crossref](#)
3. Tandogan RN, Taşer O, Kayaalp A, Taşkıran E, Pinar H, Alparslan B, et al. Analysis of meniscal and chondral lesions accompanying anterior cruciate ligament tears: relationship with age, time from injury, and level of sport. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2004;12(4):262-70. Epub 2003 Sep 20.
4. Helms CA. The impact of MR imaging in sports medicine. *Radiology* 2002;224(3):631-5. [Crossref](#)
5. Helms CA. The meniscus: recent advances in MR imaging of the knee. *AJR* 2002;179:1115-22. [Crossref](#)
6. Boz A. Diz eklem içi patolojilerinde preoperatif magnetik rezonans görüntüleme raporları, muayene ve intraoperatif artroskopi bulgularının karşılaştırılması. *Tıpta Uzmanlık Tezi, YÖK Tez Merkezi* 2019.
7. Al-shamasne ARM, Obaidallah UHB. Artificial intelligence techniques for cancer detection and classification: review study. *European Scientific Journal* 2017;13(3):342-70. [Crossref](#)
8. Greenspan H, Van Ginneken B, Summers RM. Guest editorial deep learning in medical imaging: Overview and future promise of an exciting new technique. *IEEE Transactions on Medical Imaging* 2016;35(5):1153-9. [Crossref](#)
9. Maffulli N, Longo UG, Campi S, Denaro V. Meniscal tears. *Open Access J Sports Med* 2010;1:45-54. [Crossref](#)
10. Oei EH, Nikken JJ, Verstijnen AC, Ginai AZ, Myriam Hunink M. MR imaging of the menisci and cruciate ligaments: a systematic review. *Radiology* 2003;226(3):837-48. [Crossref](#)
11. Mesgarzadeh M, Moyer R, Leder DS, Revesz G, Russoniello A, Bonakdarpour A, et al. MR imaging of the knee: expanded classification and pitfalls to interpretation of meniscal tears. *Radiographics* 1993;13(3):489-500. [Crossref](#)
12. Shankman S, Beltran J, Melamed E, Rosenberg ZS. Anterior horn of the lateral meniscus: another potential pitfall in MR imaging of the knee. *Radiology* 1997;204(1):181-4. [Crossref](#)
13. Kaushik S, Erickson JK, Palmer WE, Winalski CS, Kilpatrick SJ, Weissman BN. Effect of chondrocalcinosis on the MR imaging of knee menisci. *AJR Am J Roentgenol* 2001;177(4):905-9. [Crossref](#)
14. Saygılı A, Varlı S. Automated diagnosis of meniscus tears from MRI of the knee. *International Scientific and Vocational Studies Journal* 2019;3(2):92-104.



15. Ölmez E, Akdoğan V, Korkmaz M, Er O. Automatic segmentation of meniscus in multispectral MRI using regions with convolutional neural network (R-CNN). *J Digit Imaging* 2020;33(4):916-29. [Crossref](#)
16. Esmer AF, Başarır K, Binnet M. Diz ekleminin cerrahi anatomisi [Surgical anatomy of knee joint]. *TOTBİD Dergisi* 2011;10(1):38-44.
17. Chan WP, Peterfy C, Fritz RC, Genant HK. MR diagnosis of complete tears of the anterior cruciate ligament of the knee: importance of anterior subluxation of the tibia. *AJR Am J Roentgenol* 1994;162(2):355-60. [Crossref](#)
18. Kvist J, Kartus J, Karlsson J, Forssblad M. Results from the Swedish national anterior cruciate ligament register. *Arthroscopy* 2014;30(7):803-10. [Crossref](#)
19. Oshima T, Nakase J, Ohashi Y, Shimozaki K, Asai K, Tsuchiya H. Intraoperative fluoroscopy shows better agreement and interchangeability in tibial tunnel location during single bundle anterior cruciate ligament reconstruction with postoperative three-dimensional computed tomography compared with an intraoperative image-free navigation system. *Knee* 2020;27(3):809-16. [Crossref](#)
20. Otsubo H, Akatsuka Y, Takashima H, Suzuki T, Suzuki D, Kamiya T, et al. MRI depiction and 3D visualization of three anterior cruciate ligament bundles. *Clin Anat* 2017;30(2):276-83. [Crossref](#)
21. Sonin AH, Fitzgerald SW, Friedman H, Hoff FL, Hendrix RW, Rogers LF. Posterior cruciate ligament injury: MR imaging diagnosis and patterns of injury. *Radiology* 1994;190(2):455-8. [Crossref](#)
22. Stoller DW, Martin C, Crues JV 3rd, Kaplan L, Mink JH. Meniscal tears: pathologic correlation with MR imaging. *Radiology* 1987;163(3):731-5. [Crossref](#)
23. Rubenstein JD, Li JG, Majumdar S, Henkelman RM. Image resolution and signal-to-noise ratio requirements for MR imaging of degenerative cartilage. *AJR Am J Roentgenol* 1997;169(4):1089-96. [Crossref](#)
24. Shogry ME, Pope TL Jr. Vacuum phenomenon simulating meniscal or cartilaginous injury of the knee at MR imaging. *Radiology* 1991;180(2):513-5. [Crossref](#)
25. Gaj S, Yang M, Nakamura K, Li X. Automated cartilage and meniscus segmentation of knee MRI with conditional generative adversarial networks. *Magn Reson Med* 2020;84(1):437-49. [Crossref](#)
26. Zhou Z, Zhao G, Kijowski R, Liu F. Deep convolutional neural network for segmentation of knee joint anatomy. *Magn Reson Med* 2018;80(6):2759-70. [Crossref](#)
27. Ebrahimkhani S, Jaward MH, Cicuttini FM, Dharmaratne A, Wang Y, de Herrera AGS. A review on segmentation of knee articular cartilage: from conventional methods towards deep learning. *Artif Intell Med* 2020;106:101851. [Crossref](#)
28. Antico M, Sasazawa F, Dunnhofer M, Camps SM, Jaiprakash AT, Pandey AK, et al. Deep learning-based femoral cartilage automatic segmentation in ultrasound imaging for guidance in robotic knee arthroscopy. *Ultrasound Med Biol* 2020;46(2):422-35. [Crossref](#)