T.C.
İZMİR KÂTİP ÇELEBİ ÜNİVERSİTESİ
TIP FAKÜLTESİ
ORTOPEDİ VE TRAVMATOLOJİ ANABİLİM DALI

PATELLOFEMORAL DİZİLİM BOZUKLUĞUNUN ERKEN EVRE TROKLEAR VE PATELLAR KONDROMALAZİ İLE İLİŞKİSİ: T2 HARİTALAMA ÇALIŞMASI

DR. UĞURCAN SÜNER
ORCİD ID: 0000-0003-4062-5112

UZMANLIK TEZİ

TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. TUĞRUL BULUT
YARDIMCI TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. MERVE GÜRSOY BULUT

İZMİR – 2024

T.C. SAĞLIK BAKANLIĞI
İZMİR KÂTİP ÇELEBİ ÜNİVERSİTESİ
ATATÜRK EĞİTİM VE ARAŞTIRMA HASTANESİ
ORTOPEDİ VE TRAVMATOLOJİ KLİNİĞİ

PATELLOFEMORAL DİZİLİM BOZUKLUĞUNUN ERKEN EVRE TROKLEAR VE PATELLAR KONDROMALAZİ İLE İLİŞKİSİ: T2 HARİTALAMA ÇALIŞMASI

DR. UĞURCAN SÜNER

UZMANLIK TEZİ

ORCİD ID: 0000-0003-4062-5112

TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. TUĞRUL BULUT
YARDIMCI TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. MERVE GÜRSOY BULUT

Bu tez İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi tarafından 2022-TDU-TIPF-0012 Proje numarası ile Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiştir.

İZMİR – 2024

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY SAYFASI…….....ii
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI……v
ETİK BEYAN……...…..……..vi
TEŞEKKÜR……...……vii
ÖZET……..……...…viii
ABSTRACT……ix
KISALTMALAR……xi
TABLOLAR……...……...xii
RESİMLER……...xiii
1. Giriş…….…..1
2. Genel Bilgiler……...…….3
2.1. Diz Eklemi Anatomisi……...……..3
2.1.1. Diz Eklemini Oluşturan Kemik Yapılar…….…….3
2.1.2. Diz Eklemini Oluşturan Yumuşak Doku Yapıları…….4
2.1.3. Diğer Yumuşak Doku Yapıları……..7
2.1.4. Damar ve Sinirler……..…….8
2.2. Diz Ekleminin Radyolojik Değerlendirmesi…….10
2.2.1. Direkt Grafi…….……10
2.2.2. Ultrasonografi…….10
2.2.3. Bilgisayarlı Tomografi……..……..…10
2.2.4. Manyetik Rezonans Görüntüleme…….....10
2.2.5. Artrografi…….……13
2.3. Patellofemoral Dizilim Bozukluğu……13
2.3.1. Patellofemoral Dizilim Bozukluğu Tanısında Kullanılan Parametreler…..15
2.4. Kıkırdak Fizyolojisi……..……..…21
2.4.1. Patellofemoral Kondromalazi……..…23
3. Gereç ve Yöntem…….…25
3.1. İstatistiksel Analiz…….29
4. Bulgular……...…31
5. Tartışma…….…..37

6. Sonuç ve Öneriler……..…..43
7. Kaynaklar ve Ekler……..44

TEŞEKKÜR

Uzmanlık eğitimine başladığım ilk günden itibaren bana yol gösteren tecrübelerini, bilgi ve birikimlerini benden esirgemeyen eğitim sorumlumuz ve klinik anabilim dalı başkanımız, değerli hocam Prof. Dr. Cemal KAZIMOĞLU'na,

İhtisasım süresince tecrübelerinden faydalandığım, bana bistüri veren onu nasıl kullanacağımı öğreten Op. Dr. Hüseyin DURMAZ ve Op. Dr. Ali Murat DÜLGEROĞLU başta olmak üzere tüm uzman abilerime,

Bana yalnız Ortopedi ve Travmatoloji alanında değil hayat görüşü anlamında da tecrübelerini aktaran, beni motive eden ve bugünlere gelmemde çok emeği olan abim, hocam Op. Dr. Mehmet ÖZDEMİR'e,

Evlatları olmaktan gurur duyduğum, onların da bundan gurur duyması için elimden geleni yapmaya devam edeceğim, beni okutan ve hekim olmamı sağlayan annem ve babam Kiraz ve Aptullah SÜNER ile kardeşlerim Canan ve Sibel'e

Uzmanlık ve tez hazırlama sürecinde bana desteklerini her daim yanımda hissettiğim, bilgi, tecrübe ve deneyimlerini bana koşulsuz şartsız veren, akademik olarak örnek aldığım tez danışmanım sayın hocam Prof. Dr. Tuğrul BULUT ve tez danışman yardımcım Doç. Dr. Merve GÜRSOY BULUT ile tüm bu süreç boyunca akademik anlamda bana sınırsız destek veren Doç. Dr. Atilla Hikmet ÇİLENGİR'e,

Beş yılımın uyum içinde ve keyifle geçmesini sağlayan asistan arkadaşlarıma

Teşekkürlerimi sunarım.

Dr. Uğurcan SÜNER

ÖZET
PATELLOFEMORAL DİZİLİM BOZUKLUĞUNUN ERKEN EVRE TROKLEAR VE PATELLAR KONDROMALAZİ İLE İLİŞKİSİ: T2 HARİTALAMA ÇALIŞMASI

Uğurcan SÜNER

İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Tıp Fakültesi
Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı Uzmanlık Tezi, İzmir, Türkiye, 2024

Amaç: Bu çalışmanın amacı patellofemoral dizilim bozukluğunun erken evre troklear ve patellar kondromalazi ile ilişkisini T2 haritalama yöntemi kullanarak araştırmaktır.

Yöntem: Çalışmaya dahil edilen 75 hasta patellofemoral dizilim bozukluğu olup olmamasına göre iki gruba ayrıldı. Patellofemoral dizilim bozukluğu olanlar hasta grubu, olmayanlar ise kontrol grubu olarak adlandırıldı. Her iki grubun T2 haritalama içeren MRG'leri sagittal kesitleri üzerinden 12 kadrana bölünerek değerlendirildi. Bu kadranlardan yapılan ölçümlerin ortalaması alınarak hem troklea hem de patella için tek bir T2 relaksasyon değeri elde edildi. Elde edilen bu ortalama değer iki grup arasında karşılaştırıldı. Daha sonra 12 kadran değerlerinin her biri ayrı ayrı karşılaştırılarak iki grup arasında hem troklea hem de patella için kadranlar arası fark olup olmadığı incelendi. İstatistiksel fark tespit edilen kadranlar için cut-off değer hesaplandı.

Bulgular: Çalışmadaki 75 hastanın 39'unda patellofemoral dizilim bozukluğu varken (hasta grubu), 36'sında ise yoktu (kontrol grubu). Gruplar arasında troklear ve patellar kıkırdak ortalama T2 relaksasyon değerleri açısından fark yoktu. Ancak 12 kadran ayrı ayrı karşılaştırıldığında hem troklear hem de patellar kıkırdakta, üst-dış-dış (P1, T1) ve üst-dış-iç (P2, T2) kadranlarındaki T2 relaksasyon değerleri hasta grubunda istatistiksel olarak anlamlı oranda yüksekti. Cut-off değer belirlemek amacıyla yapılan ROC analizinde de benzer kadranlarda (T1, P1, P2) istatistiksel anlamlı sonuçlar elde edildi.

Sonuçlar: Bu sonuçlar patellofemoral dizilim bozukluğunun sebep olduğu kondromalazinin asimetrik olarak başladığını ve ilk başladığı alanın hem troklear hem de patellar kıkırdakta üst-dış kadran olduğunu göstermiştir. Bu kadranlardan yapılacak olan ölçümler patellofemoral dizilim bozukluğu olan hastalardaki olası troklear ve patellar kondromalazinin erken teşhisinde kullanılabilir.

Anahtar kelimeler: Patellofemoral Dizilim Bozukluğu, T2 Haritalama, Patellar Kondromalazi, Troklear Kondromalazi

ABSTRACT
RELATIONSHIP BETWEEN PATELLAR MALTRACKING AND EARLY STAGE TROCHLEAR AND PATELLAR CHONDROMALACIA: T2 MAPPING STUDY

Uğurcan SÜNER

Izmir Katip Celebi University, Faculty of Medicine, Department of Orthopaedics and Traumatology, Medical Specialization Thesis, Izmir, Türkiye, 2024

Aim: The aim of this study is to investigate the relationship between patellar maltracking and early stage trochlear and patellar chondromalacia using the T2 mapping method.

Methods: The 75 patients included in the study were divided into two groups according to whether they had patellar maltracking or not. Those with patellar maltracking were called the patient group, and those without were called the control group. MRIs containing T2 mapping of both groups were evaluated by dividing them into 12 quadrants on sagittal sections. A single T2 relaxation value was obtained for both the trochlea and patella by averaging the measurements made from these quadrants. This average value was compared between the two groups. Then, each of the 12 quadrant values was compared separately and it was examined whether there was a difference between the quadrants for both trochlea and patella between the two groups. Cut-off value was calculated for the quadrants in which a statistical difference was detected.

Results: Of the 75 patients in the study, 39 had patellar maltracking (patient group), while 36 did not (control group). There was no difference between the groups in terms of mean T2 relaxation values of trochlear and patellar cartilage. However, when the 12 quadrants were compared separately, T2 relaxation values in both trochlear and patellar cartilage, upper-outer-outer (P1, T1) and upper-outer-inner (P2, T2) quadrants were statistically significantly higher in the patient group. In the ROC analysis performed to determine the cut-off value, statistically significant results were obtained in similar quadrants (T1, P1, P2).

Conclusion: These results showed that chondromalacia caused by patellar maltracking started asymmetrically and the first area where it started was the upper-outer quadrant of both the trochlear and patellar cartilage. Measurements from these quadrants can be

used in the early diagnosis of possible trochlear and patellar chondromalacia in patients with patellar maltracking.

Key words: Patellar Maltracking, T2 Mapping, Patellar Chondromalacia, Trochlear Chondromalacia

KISALTMALAR

ECM: Ekstraselüler matriks

MRG: Manyetik rezonans görüntüleme

ÖÇB: Ön çapraz bağ

AÇB: Arka çapraz bağ

BT: Bilgisayarlı tomografi

TT – TO: Tuberositas tibia – Troklear oluk

ST: Sagittal düzlem – troklea

SP: Sagittal düzlem – patella

ROC: Receiver operating characteristic (Alıcı işlem karakteristikleri)

T1A: T1 ağırlıklı

T2A: T2 ağırlıklı

PD: Proton dansite

YB: Yağ baskılı

3D-GRE: 3D gradient eko

FSE: Fast spin eko

MPFL: Medial patellofemoral ligaman

TABLOLAR

Tablo 1: Kıkırdak Patolojilerinin Diz Artroskopik İnceleme Esasına Göre Outerbridge Sınıflaması

Tablo 2: Kıkırdak Patolojilerinin Modifiye Manyetik Rezonans Görüntüleme Evreleme Sistemi

Tablo 3: Diz Rutin + T2 Haritalama Manyetik Rezonans Görüntüleme Protokolü

Tablo 4: Patellofemoral Dizilim Bozukluğu Tanısı İçin Kullanılan Referans Ölçümler ve Bu Ölçümlerle İlişkili Değerler

Tablo 5: Troklear ve Patellar Kıkırdakların T2 Relaksasyon Ölçüm Alanları

Tablo 6: Patellofemoral Dizilim Bozukluğu Gruplarına Göre Tanımlayıcı Özelliklerin Karşılaştırılması

Tablo 7: Sagittal Düzlem - Troklea, Sagittal Düzlem - Patella Ortalama Değerlerinin Patellofemoral Dizilim Bozukluğu Gruplarında Karşılaştırılması

Tablo 8: Sagittal Düzlem - Troklea Ölçüm Değerlerinin Patellofemoral Dizilim Bozukluğu Gruplarında Karşılaştırılması

Tablo 9: Sagittal Düzlem - Patella Ölçüm Değerlerinin Patellofemoral Dizilim Bozukluğu Gruplarında Karşılaştırılması

Tablo 10: Sagittal Düzlem - Troklea Ölçümlerinin Patellofemoral Dizilim Bozukluğu Gruplarıyla ROC Analizi

Tablo 11: Sagittal Düzlem - Patella Ölçümlerinin Patellofemoral Dizilim Bozukluğu Olan Gruplarıyla ROC Analizi

Tablo 12: Anlamlı ROC Tablosu ve Grafik

RESİMLER

Resim 1: Diz Eklemindeki Kemik ve Yumuşak Doku Yapıları

Resim 2: Diz Eklemindeki Yağ Yastıkları, Bursalar, Kemikler ve Tendonlar

Resim 3: Diz Bölgesini Besleyen Arteryel Yapılar

Resim 4: Kuadriseps (Q) Açısı

Resim 5: İnsall – Salvati İndeksi Ölçümü

Resim 6: Patellar Translasyon Ölçümü

Resim 7: Lateral Patellofemoral Açı Ölçümü

Resim 8: Lateral Troklear Eğim Açısı Ölçümü

Resim 9: Troklear Sulkus Derinliği Ölçümü

Resim 10: Troklear Sulkus Açısı Ölçümü

Resim 11: Tuberositas Tibia – Troklear Oluk Mesafesi Ölçümü

Resim 12: Medial Troklea / Lateral Troklea Uzunluğu Oranı Ölçümü

Resim 13: Eklem Kıkırdağı Histolojik Tabakaları

Resim 14: İş Akış Diyagramı

Resim 15: Troklear ve Patellar Kıkırdakların T2 Relaksasyon Ölçüm Alanları

Resim 16: Güç Analiz Testi

Resim 17: Sagittal Düzlemde Troklear Kıkırdak T2 Relaksasyon Değerleri Ölçümü

Resim 18: Sagittal Düzlemde Patellar Kıkırdak T2 Relaksasyon Değerleri Ölçümü

1. GİRİŞ

Eklem kıkırdağı, yoğun bir ekstraselüler matriksin (ECM) içerisinde göreceli olarak seyrek sayıda kondrositlerin mevcudiyetinden oluşan bir yapıdır. ECM'nin bileşenleri ise su, proteoglikanlar ve Tip 2 kollajen lifleridir. Bu agregatların temel işlevi, oluşturulan yüksek ozmotik basınç ile dokudaki suyun emilimi ve tutulumu için gerekli olan kararlı ortamı sağlamaktır (1).

Osteoartritin etyopatogenezi tam olarak anlaşılamamakla birlikte ağırlıklı olarak kondrosit kontrollü anabolik ve katabolik süreçler arasındaki dengesizlik ile kıkırdak ECM bileşenlerinin progresif olarak bozulmasından kaynaklandığına inanılmaktadır. Osteoartritin erken aşamalarındaki değişiklikler; hidrasyon, proteoglikan kaybı, kollajen yapısında incelme ve bozulma ile karakterizedir. Geç evrelerde meydana gelen değişiklikler ise dehidrasyona, yoğun fibrilasyona, kıkırdak kaybına ve nihayetinde subkondral kemiğin bozulmasına neden olur. Erken kıkırdak dejenerasyonunun, önleyici müdahaleler ile geriye döndürülebilir ya da ilerlemesi durdurulabilir olduğu kabul edilmektedir (2). Bu nedenle hastalık oluşumunun engellenmesi ya da hastalık oluşması halinde başarılı bir tedavi için kıkırdak dejenerasyonunun en erken aşamada güvenilir bir şekilde tespit edilmesi gerekmektedir. Ancak günümüzde rutin manyetik rezonans görüntüleme (MRG) yöntemleri kullanılarak erken tespit mümkün olamamaktadır. Standart sekanslar kullanılarak yalnızca kıkırdak morfolojisi hakkında bilgi sahibi olunabilir ki bu da kıkırdak dejenerasyonun erken tespitinde göreceli düşük duyarlılığa sahiptir (3,4). Çünkü su içeriği kondromalazik kıkırdakta erken dönemde küçük değişiklikler gösterir ve bunu saptamada standart sekansların duyarlılığı sınırlıdır. Bu nedenle ECM içeriğindeki proteoglikan, kollajen ve diğer maddelerin değişimlerini belirlemeye yönelik tetkikler geliştirilmek için yapılan araştırmalar devam etmektedir (5). Bununla birlikte hem proteoglikan hem de kollajen protonları, makromoleküler yapılarından dolayı çok kısa T2 relaksasyon süresine sahiptir ve bunları doğrudan MRG ile ölçmek zordur (4,6,7). Bu nedenle, T2 haritalama gibi kantitatif MRG teknikleri bu alanda önemli bir yer edinmiştir.

T2 haritalama, ECM bileşenlerinin değişimlerini değerlendirerek kıkırdak kompozisyonu hakkında nicel bilgi sağlar. T2 relaksasyon süresi, serbest su proton moleküllerinin hareket etme ve ECM içinde enerji alışverişi yapma yeteneğini yansıtır.

Kollajen – proteoglikan matriksindeki hasar ve dejenere kıkırdaktaki su içeriğinin artması T2 relaksasyon süresini arttırır (8).

Patellofemoral dizilim bozukluğu anterior diz ağrısının genç popülasyondaki sık nedenlerinden birisidir. Troklear oluk ile patellanın normal dizilimi yük taşımada en önemli etmenlerden biri olup uygun olmayan dizilim (patellanın diz eklemindeki beklenen istikametinin dışına çıkması) erken yaşlardan itibaren kondromalazi, sinovyal proliferasyon ve subkondral kemik değişikliklerine yol açabilir (9). Tanımlanan bu değişikliklerin erken dönemde saptanması ve önleyici müdahalelerde bulunulması geri dönüşümü olmayan kıkırdak hasarının önlenmesinde anahtar rol oynamaktadır. Bu nedenle patellofemoral dizilim bozukluğu olan hastaların gelişebilecek olan olası kıkırdak hasarı için erken dönemden itibaren takip edilmesi ve ayrıntılı olarak tetkik edilmesi oldukça önemlidir.

Bu çalışmadaki başlıca hipotezimiz patellar dizilim bozukluğunun hem patellar hemde troklear kondromalazi için etyolojik bir neden olduğu ve bu dizilim bozukluğunun neden olacağı kondromalazinin erken yaşlardan itibaren her iki eklem yüzünde de asimetrik bir başlangıç göstereceğidir. Diğer bir hipotezimiz ise patellar dizilim bozukluğunun neden olacağı bu asimetrik kondromalazinin hem patellar hemde troklea için erken evrelerde T2 haritalama yöntemi ile tespit edilebiliceğidir.

Bu çalışmanın amacı T2 haritalama yöntemi kullanarak patellofemoral dizilim bozukluğunun erken evre troklear ve patellar kondromalazi ile ilişkisini araştırmaktır.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Diz Eklemi Anatomisi

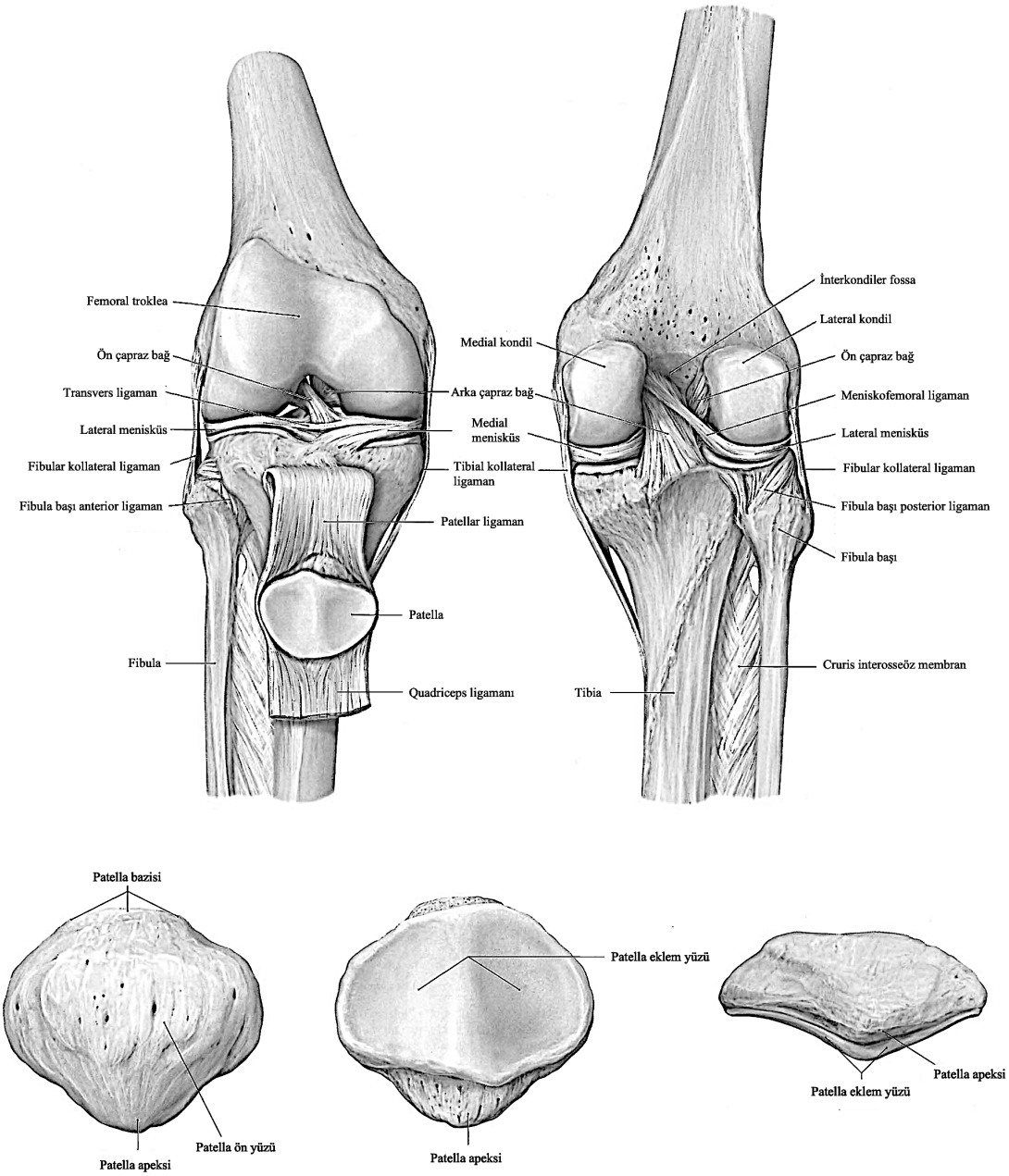
2.1.1. Diz Eklemini Oluşturan Kemik Yapılar

Diz eklemi tibiofemoral ve patellofemoral eklem olmak üzere başlıca iki kısımdan oluşur. Tibiofemoral eklemin komponentlerinden olan femur distalde konveks yapıdaki kondilleri ile tibiofemoral ekleme katkı sağlar. Kondillerin ön yüzlerinin bir miktar oval formda olması ekstansiyonda stabiliteyi sağlar. Arka yüzlerinin daha sferik olması ise hareket açıklığında genişleme yapıp fleksiyonda rotasyon hareketine izin verir. Lateral kondilin anteroposterior uzanımı mediale göre daha fazladır ancak medial kondil boyutsal olarak lateralden daha büyüktür. Femoral kondilleri ayıran interkondiler fossa intrakapsüler olup büyük oranda ekstrasinovyaldir. İnterkondiler fossanın lateral duvarı ön çapraz bağın (ÖÇB), medial duvarı ise arka çapraz bağın (AÇB) proksimal yapışma yeridir.

Tibiofemoral eklemin diğer komponenti olan tibia ise ligamansal yapıların yapışma yeri olarak eklem biyomekaniğinde öneme sahiptir. Medial plato düze yakın hafif konkav ve lateral platodan daha büyüktür. Lateral plato ise hafifçe konvekstir. Medial ve lateral platolar arasında eminensia interkondilaris mevcuttur. Eminensia interkondilarisin anteriorundaki fossada medial ve lateral menisküs anterior boynuzları ile ÖÇB'nin yapışma yeri, posteriorundaki fossada ise menisküslerin posterior boynuzları ile AÇB'nin yapışma yeri vardır.

Patellofemoral eklemde ekstensor mekanizmada görevli olan patella tepesi distalde konik formda, tabanı proksimalde konveks formda ve üçgenimsi yassı yapıda olup vücuttaki en büyük sesamoid kemiktir (10). Distalde patellar tendonun derin tabakasına, proksimalde vastus intermedius kasının retinaküler tabakasına yerleşmiştir. Patellaya uygun olarak femoral sulkusun lateral kısmı nispeten daha geniştir ve medial kısımdan daha yüksek bir lateral çıkıntı içerir. Patellofemoral dizilim bozukluğu olduğu durumlarda patella diz eklemi fleksiyonunda laterale yönelir ve lateral eklem yüzeyine daha fazla bası olur (11). Dizin yaklaşık 45° fleksiyonunda ekleme bir miktar kemik stabilitesi sağlamasının yanı sıra trokleaya tam uyum gösteren patella 90° fleksiyona kadar femoral sulkus ile 90° üzeri hiperfleksiyonda ise her iki faset femoral kondillerin iç yüzleri ile eklemleşmeye başlar. (Resim 1).

Resim 1: Diz eklemindeki kemik ve yumuşak doku yapıları



2.1.2. Diz Eklemini Oluşturan Yumuşak Doku Yapıları

Eklem Kapsülü

Eklem kapsülü, tibiofemoral eklemi çevreleyen değişken kalınlıktaki fibröz bir membrandır. Anterior kesimde patella ve patellofemoral eklem mevcudiyeti nedeniyle kapsülün yerini patellar tendon alır. Vastus medialis ve lateralis kaslarına, patella kenarlarına, kollateral ligamanlara ve tibial kondillere uzanımları mevcuttur.

Posteriorda femoral kondiller, interkondiler fossa ve proksimal tibiaya yapışır. Posteromedial kesimde semimembranoz tendona uzanımlar içerir.

Bu yapılar hep birlikte femoral kondillerin arka yüzünü kaplayarak destekler ve dizin ekstansiyonunda artan fleksiyonunda ise azalan hacme uyum sağlar. Bu şekilde, bu aponörotik keseler, tibia platoları üzerindeki femoral kondillerin herhangi bir posterior subluksasyonunu önleyebilir ve bu da zorunlu olarak tibianın femur üzerinde anterior translasyonuna eşlik eder.

Medial Destek Yapıları

Medial destek yapıları, anatomik olarak üç katmanda incelenir. En önemli yapılarından biri, medial kollateral ligaman olarak bilinir. Bu ligaman, radyolojik görüntülemelerde tibial kollateral ligamanı karşılayan bir terimdir.

Medialdeki üst destek katmanı derin krural fasya tarafından oluşturulan en yüzeyel tabakadır. Vastus medialis ve sartorius kası fasyalarına karışır. Anteriorda patellofemoral ekleme katkı sağlayan medial patellar retinakulumu oluşturur. Posteriorda ise semitendinozus, semimembranozus ve grasilis tendonlarının yüzeyelinde yer alır (12).

Medialdeki orta destek katmanının ana bileşeni medial kollateral ligamanın yüzeyel parçasıdır. Femurun medial kondili ile tibia cisminin proksimalinin medial kısmı arasında seyir gösteren liflerden oluşur. Ligamanın distal yapışma yeri geniş bir alana yayılır ve valgus stresine direnç gösterir. Ayrıca posterior oblik ligaman bu katmanın bir parçasıdır ve medial menisküs ile ilişkilidir (13).

Medialdeki alt destek katmanı ise en derin lokalizasyondaki eklem kapsülü ve medial kollateral ligamanın derin parçası olarak nitelendirilir. Derin parça, medial menisküs ile bağlantılıdır ve meniskofemoral ve meniskotibial ligamanları oluşturur. Anteriorda medial kollateral ligamanın yüzeyel ve derin parçası belirgin bir şekilde ayrılırken, posteriorda birbiri içine karışıp posteromedial kapsüle katkı sağlar (12).

Lateral Destek Yapıları

Lateral destek yapıları da medial destek yapıları gibi üç katmanda incelenir ve lateral kollateral ligamantöz kompleks olarak tanımlanan yapılar varus stresi ve dış rotasyona karşı direnç oluşturur.

En yüzeyde, patellofemoral ekleme katkı sağlayan lateral patellar retinakulum bulunur. Bu retinakulumun yüzeyel parçası oblik seyirli olup lateral patellofemoral ligaman, transvers retinakulum ve patellotibial banttan oluşan derin parçaya bağlanır.

Ardından, fasia lata ve iliotibial bant gelir ve distalde tibianın Gerdy tüberkülüne yapışır.

Orta tabakada fibular kollateral, popliteofibular, fabellofibular ve arkuat ligamanlar yer alır. Fibular kollateral ligaman, femur lateral kondili ile distalde fibula başı arasında uzanır ve medial kollateral ligamanın aksine meniskal bağlantısı yoktur. Lateral kollateral ligaman terimi, fibular kollateral ligamanı karşılar. Posterolateralde ise popliteofibular, fabellofibular ve arkuat ligamanlar ile popliteus tendonu stabilite sağlar.

Derin tabaka ise eklem kapsülünün lateral kesimine denk gelir (14).

Ön Çapraz Bağ

Ön çapraz bağ, interkondiler çentiğin posterolateral yüzeyinden kaynaklanır ve interkondiler çıkıntıya tutunmak üzere distale ve öne doğru ilerler. Bir anteromedial ve bir posterolateral demet olmak üzere iki demet içerdiği konusunda genel bir fikir birliği vardır, ancak bir ara demetin de mevcut olup olmadığı konusunda bazı tartışmalar vardır (15,16).

Anteromedial demet ekstansiyonda daha sıkı, posterolateral demet ise fleksiyonda daha sıkıdır. Ayrıca demetler lateralden mediale doğru spiral çizer, böylece kendi üzerlerine sarılırlar ve rotasyon esnasında gerilim artar. Biyomekanik olarak 20 derecelik fleksiyonda en optimal duruşa sahip olmasına rağmen, ÖÇB'nin yaygın olarak anterior translasyona ve hiperekstansiyona dirençli olduğu düşünülür. Ek olarak ÖÇB, *screw-home* mekanizmasında tibianın eksternal rotasyonuna yardımcı olur.

Diz ekleminin *screw-home* mekanizması dizin önemli rol oynayan kritik bir mekanizmadır. Fleksiyon ve ekstansiyon sırasında dizde gözlemlenebilir bir rotasyon vardır. Bu rotasyon dizin sağlıklı hareketi için önemlidir. Son 30°'lik diz ekstansiyonu sırasında, tibia 10° dış rotasyona veya femur 10° iç rotasyona gelmelidir. Bu kısmi rotasyon, femur kondillerinin eklem yüzeyinin eşitsizliğinden kaynaklanmaktadır. Dizde tam ekstansiyon elde etmek için rotasyon gerçekleşmesi gerekliliği, screw-home denen mekanizma ile açıklanmıştır (17).

ÖÇB'nin kanlanması, medial ve lateral alt genikulat arterlerin yağ yastığı yoluyla anastomozu ve arka kapsülden ayrılan orta genikulat arter yoluyla sağlanır.

Arka Çapraz Bağ

AÇB, interkondiler çentiğin medial yüzeyinden kaynaklanır ve fovea sentraliste proksimal tibiaya tutunmak üzere distale doğru uzanır. AÇB'nin posteromedial ve anterolateral olmak üzere 2 demeti vardır. Posteromedial demet ekstansiyonda, anterolateral demet fleksiyonda daha gergindir. Lateral menisküsün arka kapsüler bağlantılarından kaynaklanan Wrisberg ve Humphry bağları, femur üzerindeki AÇB ile sırasıyla arkaya ve öne bağlanmak üzere ilerler. AÇB femurun tibia üzerinde rotasyonu esnasında menisküsü stabilize eder. Dizi hiperfleksiyon hareketinden korur. Fleksiyon sırasında dize yük binmesi durumunda (merdiven veya yokuş aşağı inme) dizi stabil kılan en önemli yapıdır.

ÖÇB'den farklı olarak, arka kapsülle olan ilişkisi nedeniyle AÇB'deki lif yırtılmasının sonucunda kan akışı kalıcı olarak kaybolmaz. Böylece bu yaralanmaların primer onarımı mümkün olmaktadır.

Menisküsler

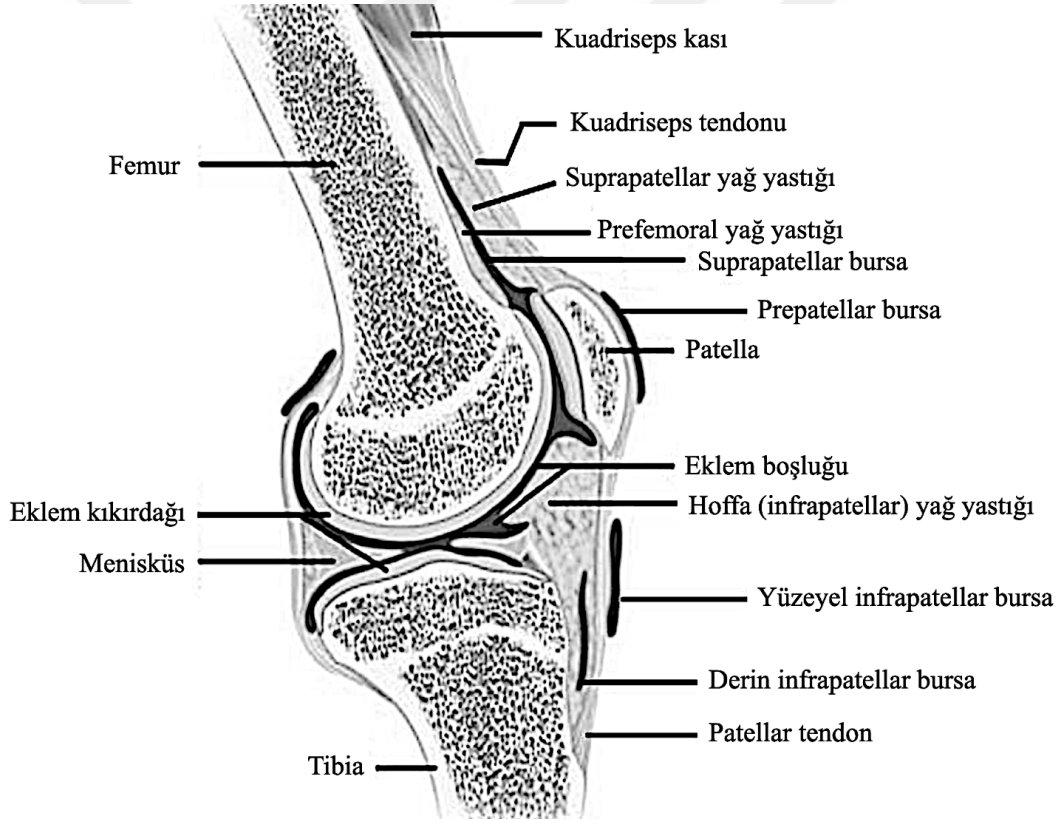
Tibia ve femurun eklem yüzeylerindeki uyumsuzluğu gideren, ekleme binen yükü yumuşatan, kemik yüzeylerin birbiri üzerinde kaymasını kolaylaştıran fibrokartilajinöz hilal şekilli yapılardır. Medial menisküs platonun %50'sini, lateral menisküs platonun %59'unu kapsar ve kökler aracılığıyla tibia platosuna yapışırlar. Lateral menisküs daha dairesel ve ön-arka boynuzlar arasında daha az mesafe vardır. Medial menisküs lateralden daha sert periferik fiksasyon ile daha az hareket kabiliyetine sahiptir. Lateral menisküs popliteus tendonu ile kapsül ilişkisinin kesintiye uğraması sebebiyle daha hareketlidir ve daha az yaralanır. Transvers intermeniskal ligaman aracılığıyla her iki ön boynuzu birbirine bağlanır. Önde olan Humphrey ligamanı ve arkada olan Wrisberg ligamanı birlikte meniskofemoral ligaman olarak isimlendirilir ve lateral menisküs posterior boynuzunu arka çapraz bağa bağlar. Periferdeki fibröz kısımlar zengin kan akımına sahip kapsüle bitişik konumdadır. Daha merkezi olan fibrokartilaj kısımları avaskülerdir ve sinovial dokudan difüzyon ile beslenir (18).

2.1.3. Diğer Yumuşak Doku Yapıları

Sinovyal plika, embriyolojik gelişimin bir kalıntısı olarak farklı bireylerde değişken şekilde gelişir. Normal durumunda kâğıt mendil inceliğinde olmasına rağmen yaralanma sonucu kalınlaşıp, fibrozise uğrayarak kuadriseps tendonunda ankiloz ve hareket kısıtlılığına sebep olabilir.

Yağ yastıkları ise diz anteriorunda yerleşen, kapsül içi sinovyum dışı yerleşen potansiyel boşlukları dolduran yapılardır. Suprapatellar (kuadriseps veya anterior suprapatellar), infrapatellar (Hoffa) ve prefemoral (posterior suprapatellar) olmak üzere üç adet anterior yağ yastığı tanımlanmıştır. Suprapatellar yağ yastığı kuadriseps tendonu ile suprapatellar bursa arasında; prefemoral yağ yastığı suprapatellar bursa ile femur arasında; Hoffa yağ yastığı ise patellar tendon, patella, tibiofemoral eklem aralığı, tibia ve femur arasında yer alır (19) (Resim 2). Tekrarlayan sürtünmeler, sıkışmalar ve mikrotravmalar bu üç yağ yastığında inflamasyona sekonder diz önü ağrısı nedeni olabilmektedir.

Resim 2: Diz eklemindeki yağ yastıkları, bursalar, kemikler ve tendonlar



2.1.4. Damar ve Sinirler

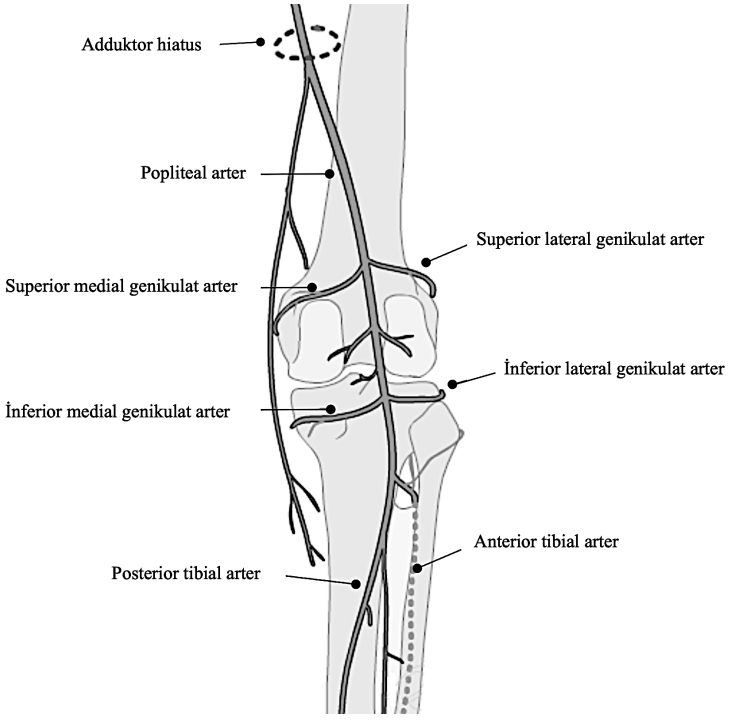
Yüzeyel femoral arter adduktor kanaldan çıktıktan sonra popliteal arter adını alır ve posteriorda popliteal fossaya yönelir. Popliteal arter ve dalları diz eklemini oluşturan yapıların kanlanmasını sağlayan esas yapılardır. Superior medial, inferior medial, superior lateral ve inferior lateral geniküler dalları anteriora doğru yönelerek

bir pleksus oluşturur. Bu pleksusa yüzeyel femoral arterin dalı olan desendan geniküler arter de katılır. Popliteal arterin dalı olan orta geniküler arter direkt olarak eklem içine girerek sinovyum ve çapraz bağları besler (10). Popliteal arter, popliteal kas distalinde ikiye ayrılarak anterior ve posterior tibial arteri oluşturur. Bu iki arterden çıkan anterior ve posterior rekürren tibial arterler de geniküler dalların oluşturduğu pleksusa katkı sağlar (20). Peroneal arter ise posterior tibial arterden çıkar. Diz ekleminin fleksor kaslarını inferior gluteal, perforan, popliteal, derin femoral ve sural arterler besler. Ekstansör kasların esas arteri ise yüzeyel femoral arterdir. Patella ise geniküler arterlerin pleksusundan çıkan dallarla ön ve alt yüzlerinden beslenir (Resim 3).

Diz eklemi venöz drenajı popliteal fossadaki popliteal vene aynı isimli arterler ile seyreden venöz dallar ile olur. Popliteal ven popliteal fossada popliteal arterin yüzeyelinde yer alır. Proksimal ve mediale doğru seyredip adduktor kanalda yüzeyel femoral ven adını alır. Popliteal fossada yüzeyel dalların drene olduğu küçük safen ven, popliteal vene drene olur. Diz eklemi venöz yapılarında çeşitli varyasyonlar da tanımlanmıştır (21).

Diz eklemi yapıları obturator, femoral, tibial ve peroneal sinirler tarafından inerve edilir. Fleksör kaslar esas olarak siyatik sinirden, ektansör kaslar ise femoral sinirden çıkan dallar ile uyarılır.

Resim 3: Diz bölgesini besleyen arteryel yapılar.



2.2. Diz Ekleminin Radyolojik Değerlendirmesi

2.2.1. Direkt Grafi

Her eklemde olduğu gibi diz ekleminde de radyolojik değerlendirmede ilk sırayı direkt grafi almaktadır. Standart ön-arka radyografi hasta ayakta iken, yan radyografi ise diz hafif fleksiyonda iken her iki diz de çekime dahil edilerek değerlendirilmelidir. Patella ve patellofemoral eklem incelemesinde süperpozisyonlar nedeniyle standart iki yönlü diz grafisine ek olarak patellanın aksiyal değerlendirilebildiği tanjansiyel veya merchant projeksiyonları da değerlendirmede yardımcı olur (22).

2.2.2. Ultrasonografi

Ucuz ve kolay ulaşılabilir olması ultrasonografinin kullanım potansiyelini artırsa da zaman ve tecrübe gerektirmesi, derin dokuları ve kemik altındaki yapıları değerlendirmede yetersiz kalması sebebiyle başlıca kullanılan görüntüleme yöntemlerinden biri değildir. Ancak patellofemoral eklem gibi yüzeyel kıkırdak yapıların değerlendirmesinde uygun hastalarda yararlı olabilir. Ultrasonografi izlenebilen kıkırdak ve diğer intraartiküler yapıları değerlendirmenin yanında eklem mesafesindeki efüzyon ve sinoviti gösterebilir (22).

2.2.3. Bilgisayarlı Tomografi

Süperpozisyonları önlemesi ve kesitsel görüntü alması nedeniyle travma sonrası sıklıkla tercih edilen bilgisayarlı tomografi (BT); direkt grafiye yansımayan kırık ve çıkıkları, serbest kemik parçalarını, efüzyonu, kısmen yumuşak doku patolojilerini saptamada ve kırıkları tiplendirmede faydalıdır. Patellofemoral eklemin direkt BT incelemesinde patella ve femoral kondillerin konturları değerlendirilebilirken, BT artrografi ile retropatellar ve troklear artiküler kartilajın ve sinovyal yüzeylerin görüntülenmesi olanaklı olmaktadır. Eklem içi kontrast madde enjeksiyonu sonrasında elde edilen BT artrografi görüntülerinde ise tibiofemoral ve patellofemoral eklem kıkırdak yüzeyleri, sinovyum, çapraz bağlar ve menisküsler değerlendirilebilir.

2.2.4. Manyetik Rezonans Görüntüleme

Diz eklemi kemik ve kemik dışı yapılarının değerlendirilmesinde günümüzde birincil tanı yöntemi MRG'dir. Diz eklemi için yapılan MRG tetkikinde, temel olarak anatomik yapıların bütünlüğü ve sinyal yoğunluklarının belirlenmesi amaçlanır. Yumuşak dokuları ve kemik iliğini iç yapılarına göre karakterize edebilmesi,

fizyolojik ve patolojik süreçleri ayrımlamada ve ayrıca travmatik veya neoplastik lezyonların tanısında MRG'yi öne çıkarır. Patolojik bulguları doğru bir şekilde değerlendirebilmek için dizin normal anatomisi hakkında bilgi sahibi olmak önemlidir. Bu nedenle, farklı sekans ve farklı düzlemlerde MRG yapılması gerekmektedir. İntravenöz veya intraartiküler kontrast maddelerin kullanımı, ilgili dokunun sinyal özelliklerini çevre dokulardan ayırt ederek tanı koymada yardımcı olabilir. Yüksek kontrast çözünürlüğüne sahip olması, tüm düzlemlerde görüntüleme imkânı sağlaması, iyonizan radyasyon içermemesi diğer üstünlükleridir.

Ancak tüm bu avantajlara rağmen, MRG kullanımını sınırlayan bazı dezavantajlar bulunmaktadır. MRG'nin uzun tetkik süresi ve hastanın hareket etmesine bağlı artefakt gelişme riski, maliyeti ve klostrofobi gibi zorluklar, bazı hastalar için tetkikin uygulanabilirliğini sınırlamaktadır. Ayrıca, kalp pili, metalik implantlar, nörostimülatörler ve anevrizma klipsleri gibi cihazlar bulunan hastalarda MRG'nin kullanımı zorlaşmaktadır.

MRG; menisküs, ligaman, kıkırdak ve sinovyumun başlıca görüntüleme yöntemi olup kemik iliğini başarılı biçimde gösterebilmesi nedeniyle kemik iliği patolojilerinin tanısında da yol gösterici ve tanı koydurucudur. MRG'nin bu başarısını dokuların iç yapısını değişik şekillerde detaylandıran sekanslara sahip olması sağlar.

Diz eklemi MRG'si değerlendirilirken öncelikle diz eklemi yapılarının normal anatomisi ve MRG sinyalleri bilinmelidir. Normal bir MRG incelemesinde, menisküsler ligamentler ve tendonlar genellikle T1 ağırlıklı (T1A), T2 ağırlıklı (T2A) ve proton dansite (PD) sekanslarında genellikle düşük sinyal yoğunluğuna sahiptir. Eklem sıvısı, kistik lezyonlar ve çoğu patolojik süreç genellikle T2A ve PD sekanslarında yüksek sinyallidir. Yağ dokusu (cilt altı ve yağlı kemik iliği), T1A, T2A ve PD sekanslarında genellikle yüksek sinyallidir. Yağ baskılama teknikleri, yağ dokusuna ait T2A yüksek sinyalini baskılayarak patolojik durumlara ait sinyalleri daha belirgin hale getirebilir (23). Lateral menisküsün ön ve arka boynuzları yaklaşık olarak aynı büyüklüktedir, ancak medial menisküsün arka boynuzu genellikle ön boynuzundan daha geniştir. Koronal düzlemde, medial ve lateral menisküslerin orta kısımları genellikle benzer büyüklüktedir. Çapraz bağların ve önde patellar tendonunun sürekliliği en iyi gözlemlenebildiği sagittal düzlemde incelenir. ÖÇB, AÇB'den genellikle daha yüksek sinyal yoğunluğuna sahiptir. Çapraz bağlar oblik bir seyir izlediğinden dolayı tek bir kesitte tamamen görülemeyebilirler. Medial ve lateral

kollateral bağlar genellikle koronal kesitlerde en iyi incelenebilirler. Fibröz yapılar genellikle tüm sekanslarda düşük sinyal yoğunluğuna sahiptir. İliotibial bağ, koronal kesitlerde ince siyah bir bant şeklinde uyluktan başlayarak, platonun hemen altına tibia anterolateraline kadar uzanır.

Patellofemoral eklem için diz MRG protokolü incelemesi; sagittal, koronal ve aksiyel düzlemleri içerecek şekilde yapılmalıdır. Kesit kalınlıkları 3-4 mm olmalıdır. Eğer patellofemoral eklemde dizilim bozukluğu şüphesi varsa, dize mümkün olan maksimum açıya gelmek için birkaç aşamada fleksiyon uygulanarak aksiyel düzlemde patellofemoral eklem ilişkisi değerlendirilmelidir. Ancak, ideal olarak, özel pozisyon cihazıyla aktif ve pasif fleksiyon-ekstansiyon hareketlerine tetikleme sağlanan Cine-MR görüntüleme tercih edilir (24,25). Faz kodlama yönü mediolateral doğrultuda seçilerek, popliteal arterin neden olduğu pulsasyon artefaktlarının önemli anatomik yapıların üzerine gelmesi engellenir.

Kıkırdak lezyonlarının tanısında MRG duyarlılığına dair birçok çalışma bulunmakta ve teknikler sürekli olarak geliştirilmektedir (26,27). MRG, kıkırdağın morfolojik özelliklerini ve iç yapı değişikliklerini detaylı bir şekilde gösterebilir. Kıkırdak incelemelerinde yağ baskılı (YB) sekansların kullanılması, yağ içeren yüzeyler ile su içeren yüzeyler arasındaki kontrastı artırarak kıkırdak değerlendirmesini daha etkili hale getirir. Kıkırdak değerlendirmesinde, proton dansite–T2 sekansı ve volümetrik görüntüleme yapabilen 3D gradient eko (3D GRE) sekanslarına ek olarak, fast spin eko (FSE) sekansları en doğru bilgiyi sağlayan ve rutin olarak kullanılan sekanslar olarak tanımlanmaktadır (28).

Ayrıca, kıkırdak iç yapı değişikliklerini henüz morfolojiye yansımadan gösterebilen T2 haritalama, dGEMRIC, T1ρ haritalama, sodyum görüntüleme ve difüzyon ağırlıklı görüntüleme yöntemleri de başarılı sonuçlar sağlayabilir (29). Rutin olarak, genellikle yağ baskılı veya yağ baskısız T1A, T2A ve PD sekansları elde edilir. T1A görüntüler anatomik detayı gösterirken, kıkırdak ile eklem sıvısı arasında yeterli kontrastı sağlayamaz (30). Bu kontrast genellikle T2A görüntüler ile sağlanır; fokal defektler ve delaminasyon hasarları gösterilebilir. Ayrıca, kıkırdak zayıflaması veya yumuşaması gibi iç yapı patolojilerinde T2 yüksek sinyalli görülebilir (31). Proton dansite sekansı, kıkırdak dokusunun iç yapısını ve diğer dokular ile ayrılmasında daha yüksek kontrast çözünürlüğü ile katkı sağlar. 3D SPGR sekansı, izotropik voksel kullanımı ile yüksek uzaysal çözünürlük sağlayarak kıkırdak morfolojisinin

değerlendirilmesinde önemli bir rol oynar; ancak subkondral kemik değerlendirmesinde başarılı değildir. Rutin kullanıma girmese de kıkırdak iç yapısının değerlendirilmesinde en sık başvurulan yöntem T2 haritalamadır. Bu yöntemde, kıkırdak yapısındaki kollajen ile su moleküllerinin etkileşimi T2 sinyalini değiştirir ve patolojik süreçlerde T2 sinyali artar. Bu da T2 haritalamanın temelini oluşturur. T2 haritalama ile kıkırdağın T2 relaksasyon süresi kantitatif olarak değerlendirilerek, görüntüde normal ve patolojik alanlar farklı renklerde temsil edilir. Erken dönem kıkırdak hasar tespiti ve hasarlı kıkırdağın uygulanan tedaviye bağlı değişikliklerin izlemi T2 haritalama ile başarılı bir şekilde yapılabilir (32).

2.2.5. Artrografi

Günümüzde neredeyse tamamen terkedilmiş bir yöntem olan artrografi, eklem boşluğuna hava ve kontrast madde enjekte edilerek elde edilen grafilerden eklem kapsülü, kıkırdak, menisküs ve ligamanların değerlendirilmesi esasına dayanıyordu. Ancak, bu invaziv yöntem artık yerini daha yaygın olarak kullanılan MRG'ye bırakmıştır.

2.3. Patellofemoral Dizilim Bozukluğu

Patellofemoral eklem, patellanın eklem yüzeyi ve troklear oluğu içeren distal femurun kıkırdaklı ön yüzeyidir. Patella, sağlam ve anatomik bir troklear olukta kendisi ile bağlantılı yumuşak dokuların ve bu dokuların sebep olduğu sıralı uyumlu kuvvetlerin neticesinde istikametinde sorunsuz bir şekilde kayabilir. Bu mekanizmadaki herhangi bir bozulma, patellanın troklear oluktan çıkmasına neden olacaktır.

Patellofemoral eklemin kemik yapıları patellaya doğal stabilite sağlar ve kemik yüzeyindeki herhangi bir kusur instabiliteye neden olabilir. Patellafemoral etkileşimin çoğunluğu lateral faset ve lateral troklear oluk arasında meydana gelir. Normal troklear oluk, patellofemoral ekleme doğal stabilite sağlayan büyük bir derinliğe ve dikliğe sahiptir (33). Troklear displazi ve bu oluğun düzleşmesi patellar instabiliteye neden olacaktır. Patellanın alt yüzeyindeki kıkırdak, vücudun en kalın kıkırdağı olup 6 ila 7 mm kalınlığındadır. Patellanın kendisi, kuadriseps tendonuna sarılmış bir sesamoid kemiktir. Patellanın ana işlevi, dizin ekstensor mekanizması için kasın mekanik avantajını artırmaktır (34).

Kemik desteğinin yanı sıra, patellanın stabilitesi için daha da önemli olan yumuşak doku desteğidir. Kuadriseps tendonu patellanın üst kutbuna yerleşir ve

patellayı patellar tendon ile birleşene kadar kaplar. Patellar tendon, patellanın alt kutbundan kaynaklanır ve tibial tüberkül üzerine yerleşir. Kuadriseps tendonu, patella ve patellar tendon kombinasyonu dizin ekstansör mekanizmasını oluşturur. Ekstansör mekanizmasının uzunluğunun bozulması, patellofemoral dizilim bozukluğu ve patellar instabilite ile ilişkilendirilebilir.

Diz ekleminde görevli medial patellofemoral ligament (MPFL), patellomeniskal ligament, patellotibial ligament ve retinakulum, patellanın laterale hareketini sınırlandırmada ve patellayı troklear olukta tutmada rol oynar. Bunların en güçlüsü, patellanın üst medial sınırına yerleşen, addüktör tüberkülden kaynaklanan MPFL'dir. MPFL, lateral patellar instabiliteye karşı birincil kısıtlamadır (35). MPFL, patellanın lateral translasyonuna %50 ila %60 oranında direnç gösterir (36). MPFL'nin rüptürü veya kemik yapıdan avülsiyonu veya travmatik bozulması lateral patellar instabiliteye yol açacaktır. Patella, 20 ila 30 derece fleksiyonda trokleaya girmeye başladığında, patella troklear olukta oturduğu için kemik anatomisi ana dengeleyici olmaya başlar.

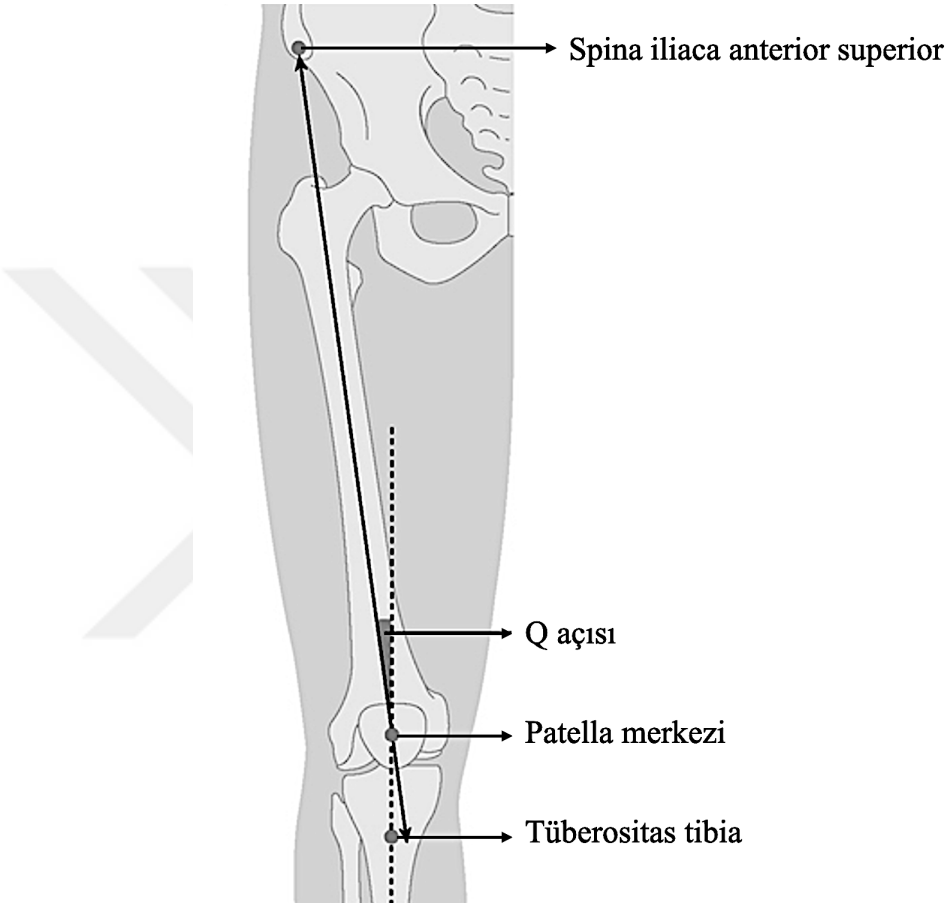
Medialden daha az oranda olmak üzere lateral yumuşak doku kısıtlamaları da patellar stabiliteye katkıda bulunabilir. Bunlar arasında derin lateral transvers retinakulum, epikondilopatellar ligament ve patellotibial bant bulunur. Epikondilopatellar bağ, lateral femoral epikondilden ilerler ve iliotibial bant yoluyla doğrudan tibiaya bağlanır. Bu nedenle, iliotibial bantın sıkılığı lateral stabiliteyi de etkiler.

Dinamik stabilite aynı zamanda patellar stabiliteye de katkıda bulunur. Vastus medialis kası, lateral translasyona medial kısıtlama sağlar. Vastus lateralis ise medial translasyona lateral bir kısıtlama getirir. Diz dizilimi patellar stabilitede önemli bir faktördür.

Femurun mekanik ekseni femur başı merkezinden femoral çentiğin tepe noktasına çizilen eksendir. Femurun anatomik ekseni ise femur diafizinde iki ya da üç orta noktanın birleştirilmesiyle elde edilen eksendir. Femurun anatomik ve mekanik ekseni arasında ortalama 7° açı farkı vardır. Tibianın aynı olan mekanik ve anatomik ekseni ise tibia platosunun orta noktasından distal eklem yüzü orta noktasına çizilen dikme ile bulunabilir. Diz ekleminin normal hizası 7° valgustadır. Diz ekleminde çeşitli kemik patolojilerinden kaynaklanan artmış bir valgus, patellayı troklear oluktan laterale çıkmaya zorlar ve patellar instabiliteye sebep olabilir (37).

Normal femoral anteversiyon 15° ila 20°'dir. Femoral anteversiyonun 20°'nin üzerinde olması, hem quadriceps açısını (Q açısı) artırır hem de patellaya yönlendirilen lateral kuvvetin artması sonucunda patellar çıkık riskini artırır (38) (Resim 4). Ayrıca patella boyunca artan yanal kuvvete yol açan Q açısını da arttırır.

Resim 4: Kuadriseps (Q) açısı



Tibianın dış rotasyonu lateral patellar instabiliteye sebep olacaktır. Artan femoral anteversiyon, artan genu valgus ve artmış tibia dış rotasyon kombinasyonu *"miserable malalignment syndrome"* olarak adlandırılır. Tüm bu komponentler Q açısını artırır ve ardından patellar instabilite riskinin artmasına sebep olur. (39)

2.3.1. Patellofemoral Dizilim Bozukluğu Tanısında Kullanılan Parametreler

Insall-Salvati İndeks

Patellanın diz ekleminde kraniokaudal eksendeki varyasyonlarının tespiti için kullanılan ölçümdür. Bu tespit için Insall-Salvati indeksi yanında Caton-Deschamps, Grelsamer-Meadows, Blackburne-Peel indeksleri de kullanılabilir.

Diz lateral direkt grafisinde ölçülebildiği gibi MRG tetkikinde midsagittal hatta patellar tendonun iç konturu düzeyinde patellar apeks ile tuberositas tibia arasında yapılan ölçüm patellar tendon uzunluğunu, patellanın kraniokaudal maksimum boyutu da patella yüksekliğini tanımlar.

Patellar tendon uzunluğunun, patella yüksekliğine oranını ifade eden bu indeksin normal referans değer aralıkları 0,8-1,2'dir (Resim 5). Bu orandan daha büyük değer ölçülmesi halinde patellanın daha kranialde konumlanması patella alta, daha küçük değer ölçülmesi halinde patellanın daha kaudal konumlanması patella baja olarak isimlendirilir (40).

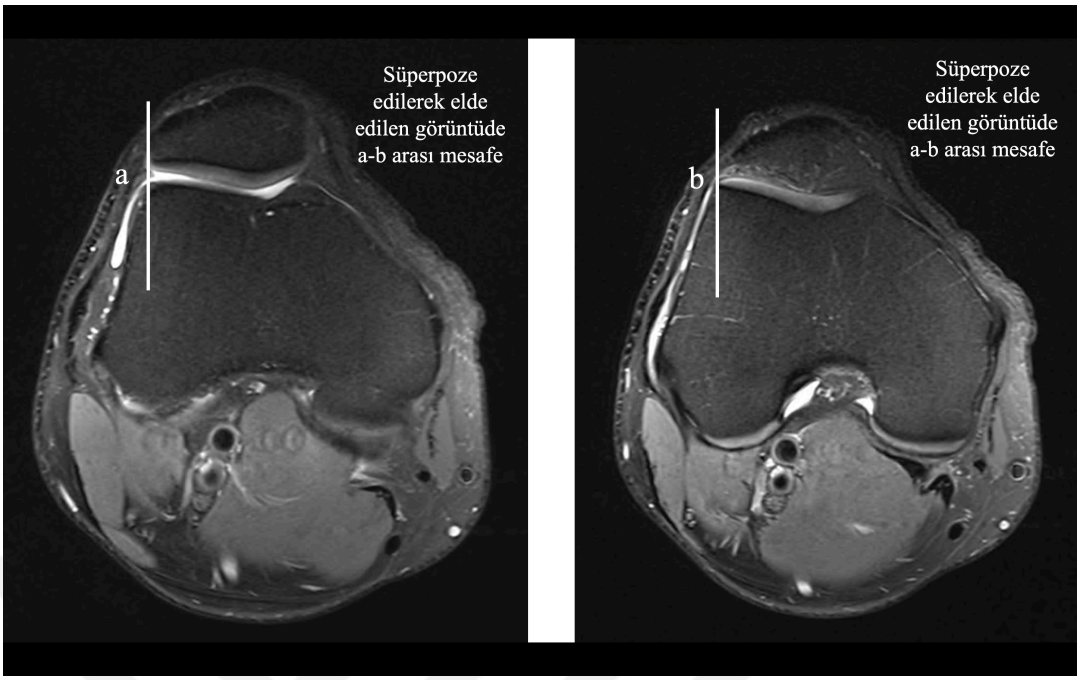
Resim 5: İnsall – Salvati indeksi ölçümü



Patellar Translasyon

Medial femoral kondilin anteriorundan geçen vertikal çizgi ile patellanın medial kenarından geçen vertikal çizgi arasındaki mesafedir. 15-20 mm arası olağan, 20 mm üzeri patolojik olarak kabul edilir (41) (Resim 6).

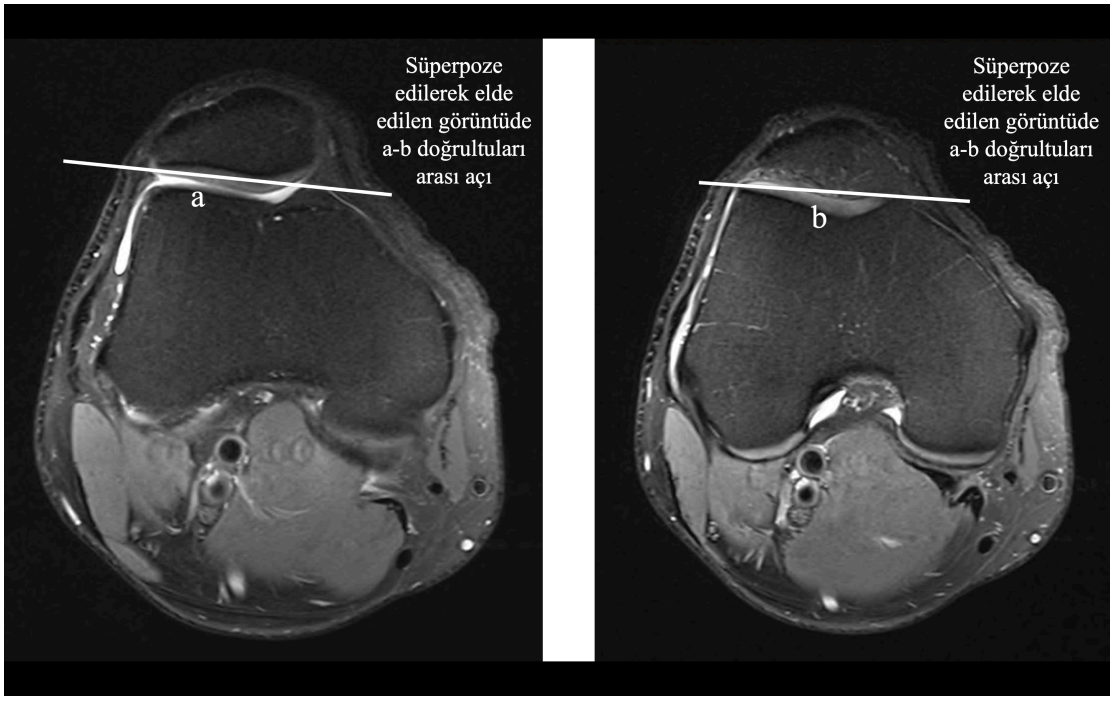
Resim 6: Patellar translasyon ölçümü



Lateral Patellofemoral Açı

Anterior femoral kondil teğet çizgisi ile patella lateral faset eklem çizgisi arasındaki açıdır. Mediale açılanma ve 8° üzerinde laterale açılanma anormal kabul edilir (42) (Resim 7).

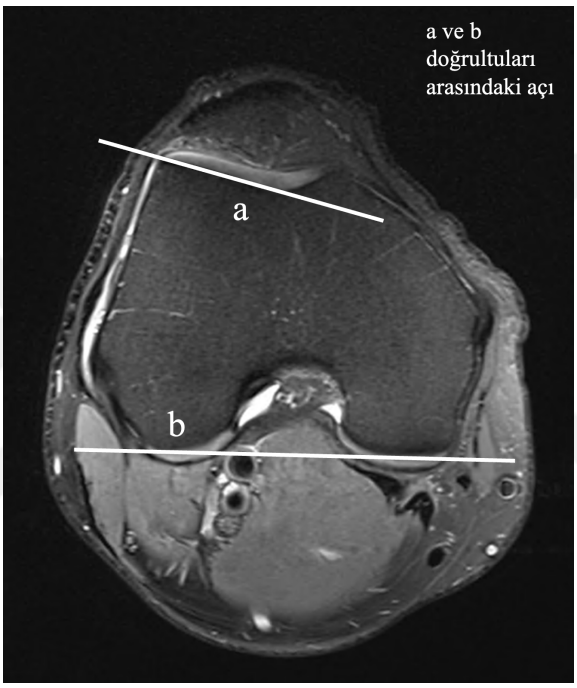
Resim 7: Lateral patellofemoral açı ölçümü



Lateral Troklear Eğim Açısı

Lateral troklear eğim açısı lateral femoral troklea ile arka kondiler teğet çizgi arasındaki eğim açısıdır (Resim 8). Başlangıçta direkt grafi üzerinden ölçümü tanımlanmış olsa da MRG'de daha objektif sonuçlar verir. Troklear displazi tanısı için başlıca ölçüm yöntemlerinden biri olarak kabul edilir. Troklear kıkırdağın tam olarak izlenebildiği ilk kranial kesitten ölçüm yapılır (43).

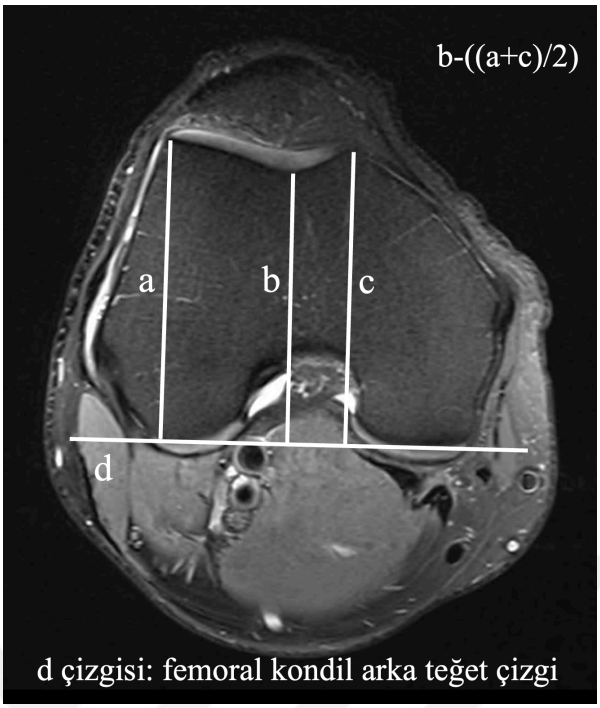
Resim 8: Lateral troklear eğim açısı ölçümü



Troklear Sulkus Derinliği

Troklear sulkus derinliği femoral kondillere göre troklear oluğun derinlik ölçüsüdür. Troklear oluk ile arka kondiler teğet çizgi arasındaki mesafenin, medial ve lateral faset ile arka kondiler teğet çizgi arasındaki mesafenin ortalamasından çıkarılması ile bulunur (Resim 9). Tibiofemoral eklem aralığından yaklaşık 3 cm kranialdeki kesitten ölçüm yapılır (44).

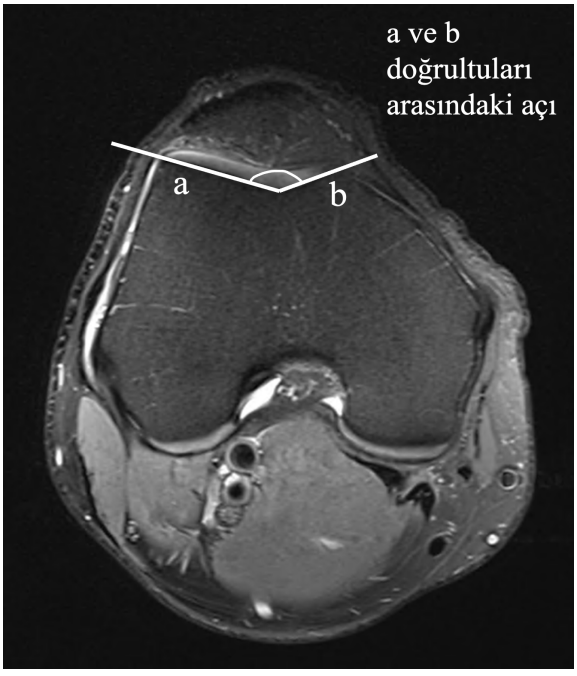
Resim 9: Troklear sulkus derinliği ölçümü



Troklear Sulkus Açısı

Trokleanın medial ve lateral fasetlerinin arasındaki açıdır (Resim 10). Troklear kıkırdağın, trokleanın her iki fasetinde de görüntülenebildiği ilk aksiyal MRG kesitinde ölçüm yapılır (45).

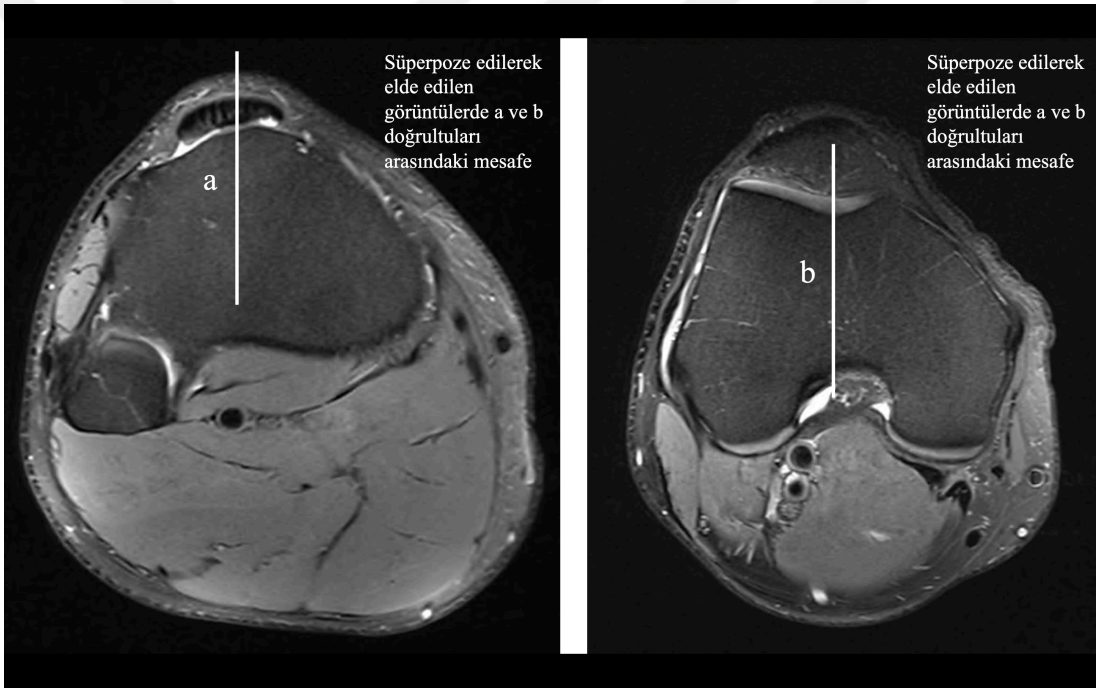
Resim 10: Troklear sulkus açısı ölçümü



Tuberositas Tibia – Troklear Oluk Mesafesi

Troklear oluğun en derin noktası ile patellar tendonun tuberositas tibiaya yapıştığı düzeydeki orta noktasını içeren aksiyal MRG kesitleri süperpoze edilerek bu iki nokta arasında femoral kondillerin posterioruna teğet geçen çizgiye paralel yapılan mediolateral mesafe ölçümü TT – TO mesafesini verir (Resim 11). Diz 30° fleksiyonda elde edilen patella aksiyal grafisinde açı ölçümü hatalara neden olduğu için kesitsel yöntemler tercih edilmektedir. Bu mesafenin ölçümü iki aksiyal görüntünün süperpozisyonu ile elde edilir (46). 15 mm üzerindeki değerler patolojik olarak değerlendirilir.

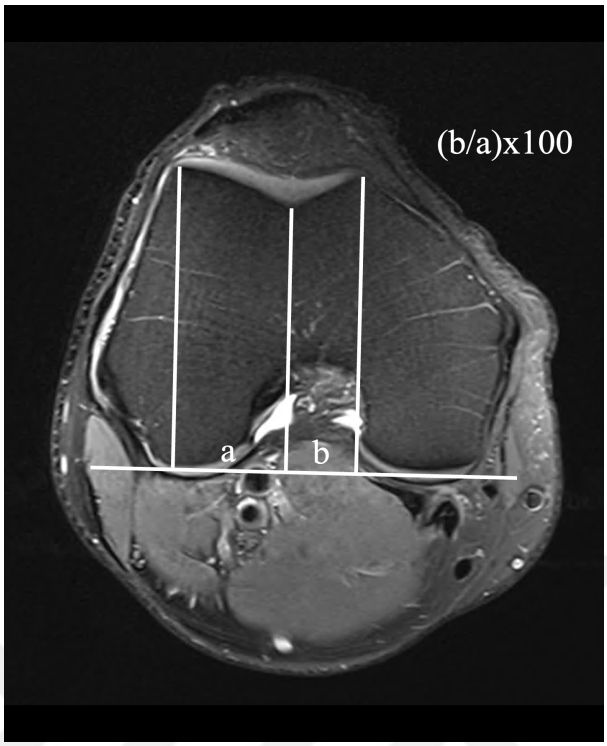
Resim 11: Tuberositas tibia – Troklear oluk mesafesi ölçümü



Medial Troklea / Lateral Troklea Uzunluğu Oranı

Medial troklea faset uzunluğunun lateral troklea faset uzunluğuna oranının 100 ile çarpılması sonrası bulunur (Resim 12). Tibiofemoral eklem mesafesinin 3 cm proksimalinde ölçülür. %40'ın altındaki değerler patolojik olarak değerlendirilir.

Resim 12: Medial troklea / lateral troklea uzunluğu oranı ölçümü



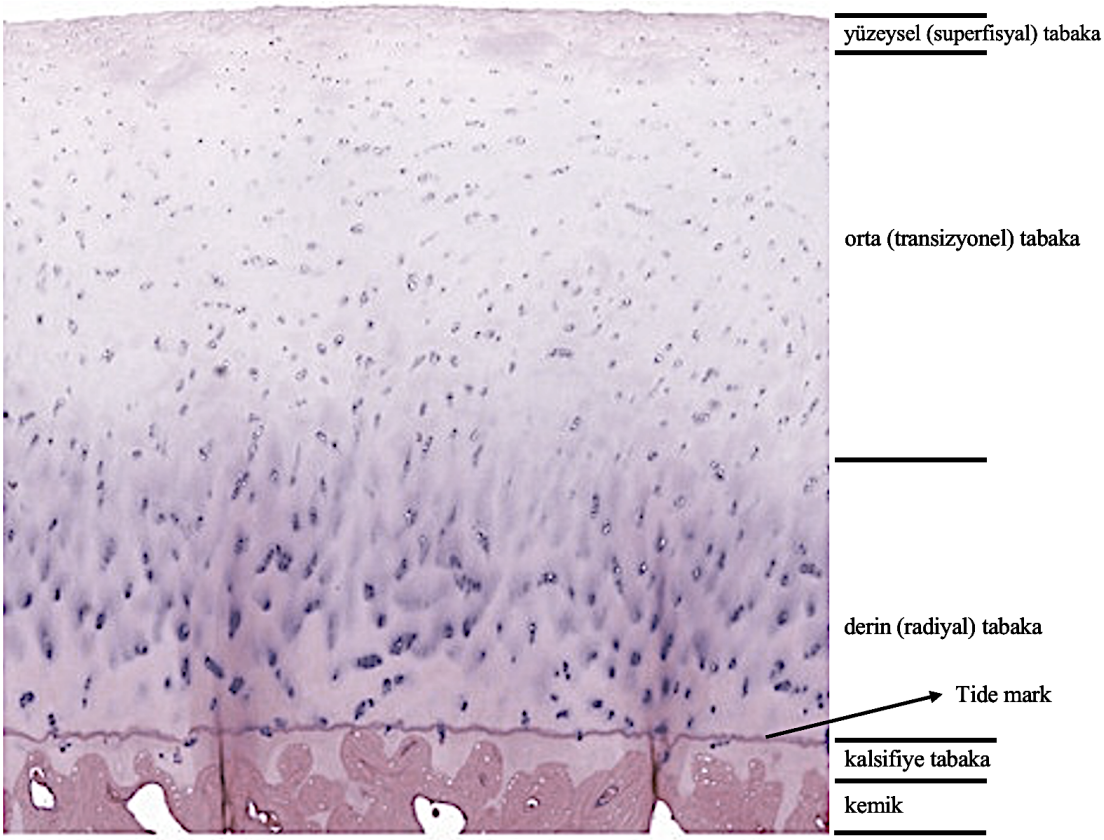
2.4. Kıkırdak Fizyolojisi

Hiyalin kıkırdak vücutta en fazla bulunan kıkırdak türüdür. Embriyoda enkondral ossifikasyonla kemik oluşumundan sorumludur ve eklem kıkırdağının başlıca kıkırdak türüdür. Olgunlaşmamış eklem kıkırdağının rengi mavimsidir ve geriatrik popülasyonda sarımtırak renge dönüşür.

Eklem kıkırdağı dört bölgeden oluşan son derece organize bir yapıya sahiptir (Resim 13).

1. Yüzeysel (süperfisyal) tabaka
2. Orta (transizyonel) tabaka
3. Derin (radiyal) tabaka
4. Kalsifiye tabaka

Resim 13: Eklem kıkırdağı histolojik tabakaları



Kondrosit fenotipi, hücre şekli, ECM içeriği bölgeler arası farklılıklar içerir. ECM'nin %75'i kollajen, geri kalan içeriğinin en büyük yüzdeli kısmı proteoglikan yapısındadır. Kollajen içeriği yüzeysel bölgede en yüksek, derin bölgede en düşüktür. Proteoglikan içeriği ise kollajen oranı ile korele olarak yüzeysel bölgede en düşük, derin bölgede en yüksektir.

Osteoartrit kıkırdağın yapısının ve işlevinin bozulmasıyla karakterize bir patolojik durumdur. Bu süreçte kıkırdak incelirken yapısı da bozulmaktadır.

Hastalığın ilk evresinde hücrelerarası ağın makromoleküler çatısı bozulur ve su içeriği artar. Bu dejenerasyondaki ilk basamak hücre membranında araşidonik asit üzerinden prostaglandinlerin inflamatuar yanıtı başlatmasıdır. Yolağın sonunda proteoglikan yıkımı ve sinovit gelişir. Gelişen sinovit kapalı bir zincir oluşturarak proteoglikan yıkımını daha da artırır. Su içeriğinin azalmasına proteoglikan ve agrekan miktarının azalması eşlik eder. Bu evrede kollajen miktarı değişmez. Glikozaminoglikan zincirinin boyu kısalır. Bu değişiklik agrekanın daha fazla su tutmasına neden olur. Doku içinde sıvının artması kıkırdağın mekanik dayanıklılığını azaltır. Gitgide kondrositlerin işlevini yerine getirememesi ile uyarılma sonucu

kondrositler çoğalır ve aktivite artışına bağlı olarak nitrik oksit sentezlenir. Nitrik oksit IL-1 yapımını ve metaloproteaz aktivitesini artırarak makromoleküllerin yıkımını tetikler. Oluşan fibronektin parçacıkları IL-1 salgısını artırıp proteazların ortaya çıkararak kollajen yapısının bozulmasına neden olur.

2.4.1. Patellofemoral Kondromalazi

Eklem kıkırdağının değerlendirilmesinde altın standart artroskopik incelemedir. Kıkırdak patolojilerinin sınıflamasında ise artroskopik inceleme esasına dayanan Outerbridge evreleme sistemi kullanılmaktadır (Tablo 1).

Tablo 1: Kıkırdak Patolojilerinin Diz Artroskopik İnceleme Esasına Göre Outerbridge Sınıflaması

Evre 0	İntakt yüzey
Evre 1	Kıkırdakta yumuşama
Evre 2	Kıkırdakta fragmantasyon ve 0,5 inçten küçük alanlı çatlak oluşumu
Evre 3	0,5 inçten geniş alanlı kıkırdakta kayıp
Evre 4	Açığa çıkmış subkondral kemik

Outerbridge'in evreleme sistemini esas alan modifiye MR evreleme sistemi de klinik pratikte kullanılmaktadır (Tablo 2).

Tablo 2: Kıkırdak Patolojilerinin Modifiye MRG Evreleme Sistemi

Evre 0	Normal
Evre 1	Kıkırdakta yumuşama veya ödem
Evre 2	Kıkırdakta genişliği %50'yi geçmeyecek şekilde fokal defekt veya fragmantasyon
Evre 3	Kıkırdakta %50'nin üzerinde genişlikte fokal defekt ya da fragmantasyon
Evre 4	Kıkırdakta tam kat defekt

Kantitatif T2 haritalama, kıkırdağın kompozisyonel bütünlüğünü incelemek için bir teknik olarak bildirilmiştir. Artan kıkırdak T2 relaksasyon süreleri, özellikle kollajen bütünlüğünün kaybı ve su içeriğinin artması sonrası matriks hasarı ile ilişkilendirilmiştir. Bununla birlikte, kıkırdak dejenerasyonunun farklı aşamalarında T2 haritalamanın rolü iyi tanımlanmamıştır.

T2 haritalamasının, normal kıkırdaktan daha yüksek T2 relaksasyon süresi ölçülen kıkırdak alanlarında erken evre dejenerasyon (kollajen matriksinin erken bozulması) bölgelerini tanımlamak için yararlı olduğuna dair kanıtlar vardır. Bu, matrisin artan geçirgenliğinden kaynaklanmakta olup suyun artan içeriğine ve hareketine yol açar.

Hafif ve daha şiddetli hastalık arasındaki farklılaşmaya yardımcı olabilecek T2 relaksasyon değerleri ile osteoartrit dereceleri arasında herhangi bir doğrusal ilişki tespit edilmemiştir (47). Önceki bir çalışmada, tibial ve femoral kıkırdakların T2 relaksasyon sürelerinin artmasının osteoartritin şiddeti ile ilişkili olduğu, ancak orta ve şiddetli osteoartritli denekler için benzer T2 değerlerinin bulunduğu gösterilmiştir (27). Dejenere kıkırdakta su hareketliliğinin arttığı, relaksasyon sürelerinin uzadığı varsayılmıştır.

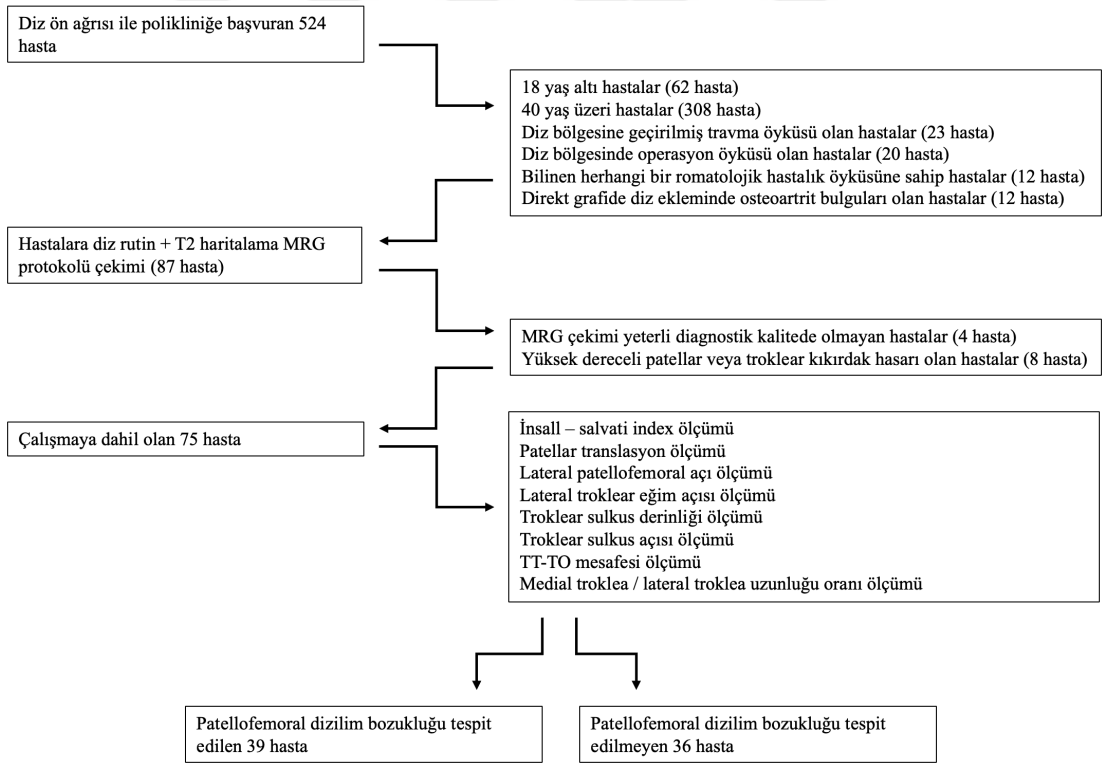
3. GEREÇ VE YÖNTEM

Bu çalışma için İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulu'ndan onay alınmıştır (IRB#40).

Ocak 2023 - Ocak 2024 tarihleri arasında İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Atatürk Eğitim ve Araştırma Hastanesi Ortopedi ve Travmatoloji Polikliniği'ne diz ön ağrısı şikayetiyle başvuran ve fizik muayene bulgularına göre patellar dizilim bozukluğu şüphesi olan 524 hasta prospektif olarak değerlendirildi (Resim 14).

Çalışmada 18 yaş altı veya 40 yaş üzeri olmak, diz bölgesinden geçirilmiş travma veya operasyon öyküsü olmak, bilinen herhangi bir romatolojik hastalık öyküsü olmak ve direkt grafilerde diz ekleminde osteoartrit bulguları olmak dışlanma kriterleri olarak belirlendi. Örneklem sayısını belirlemek için güç analizi yapılarak her iki grup için en az 36 toplamda 72 hasta sayısı olması gerektiği hesaplandı. Buna göre iki grupta da en az 36 hasta sayısına ulaşılınca çalışmanın sonlandırılması planlandı.

Resim 14: İş akış diyagramı



Prospektif olarak incelenen 524 hastadan 18 yaş altı olan 62 hasta, 40 yaş üzeri olan 308 hasta, diz bölgesine geçirilmiş travma öyküsü olan 23 hasta, diz bölgesinde operasyon öyküsü olan 20 hasta, bilinen bir romatolojik hastalık öyküsüne sahip olan

12 hasta ve direkt grafide diz ekleminde osteoartrit bulguları olan 12 hasta çalışma dışı bırakıldı. Bu çalışmada yaş aralığının 18 – 40 olarak belirlenmesinin nedeni pediatrik kıkırdağın ve yaşa bağlı oluşan dejeneratif kıkırdak değişikliklerinin sonuçlara etkisini ortadan kaldırmaktır. Bunun yanında travmatik, operatif, romatolojik ve osteoartritik kıkırdak değişikliklerinin de sonuçları etkilememesi adına bu olgular da dışlandı. Çalışmaya dahil olma kriterlerini taşıyan 87 hastaya diz rutin + T2 haritalama MRG protokolü çekimi gerçekleştirildi (Tablo 3). Çekim sonrası tarafımızca yapılan değerlendirme sonucu, MRG çekimi yeterli diagnostik kalitede olmayan 4 hasta çalışma dışı bırakıldı. Ayrıca 8 hastada yüksek dereceli (evre 4) kondromalazi, yani tam kat kıkırdak hasarı vardı. Kıkırdakta tam kat kayıp varlığında T2 relaksasyon süresinin ölçülebileceği bir kıkırdağın bulunmaması nedeniyle yüksek dereceli kıkırdak hasarı olan bu 8 hasta da çalışma dışı bırakıldı.

Tablo 3: Diz rutin + T2 haritalama MRG protokolü

	T1A Koronal	PD YB Koronal	PD YB Sagittal	PD YB Aksiyel	Sagittal T2 Haritalama
TR (ms)	390	3180	4250	3490	1220
TE (ms)	12	35	36	35	4.36, 11.9 19.44, 26.98 34.52
NEX	1	1	1	1	1
Flip Açısı	150	150	180	129	60
Kesit kalınlığı (mm)	3	3	3	3	3
Matriks	324×432	300×400	300×400	288×384	384×384
FOV (mm)	160	160	160	160	160

NEX: uyarı sayısı, PD: proton dansite, T1A: T1 ağırlıklı, TE: eko zamanı, TR: tekrarlama zamanı, YB: yağ baskılı, FOV: field of view

Çalışmaya dahil edilen 75 hasta standart MRG sekansları üzerinden morfolojik değerlendirmeye alındı. Patellofemoral dizilim bozukluğu tanısı için literatürde belirlenen parametreler üzerinden ölçümler yapıldı (Tablo 4). Hastalar bu ölçümlerin her biri için literatürde belirtilen cut-off değer (eşik değer) referans kabul edilerek patellofemoral dizilim bozukluğu olan (hasta grubu) ve patellofemoral dizilim bozukluğu olmayan (kontrol grubu) 2 gruba ayrıldı.

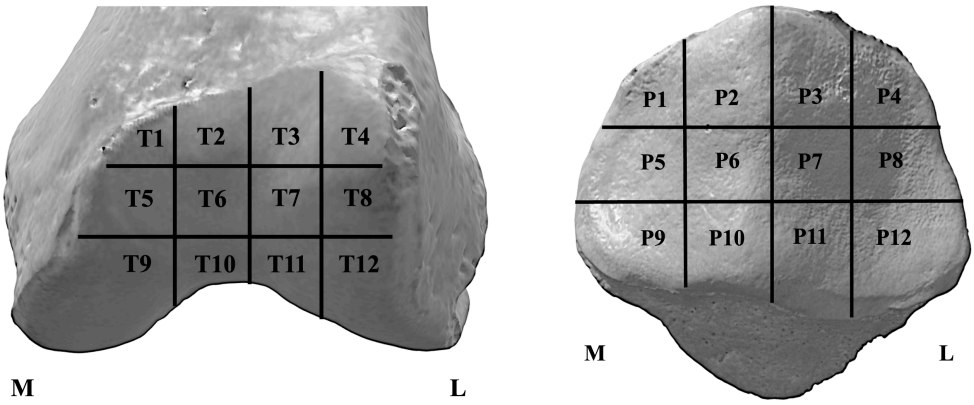
Tablo 4: Patellofemoral dizilim bozukluğu tanısı için kullanılan referans ölçümler ve bu ölçümlerle ilişkili değerler

Patellofemoral dizilim bozukluğu referans ölçümleri	Patellofemoral dizilim bozukluğu ile ilişkili değerler
Insall – Salvati indeksi	> 1,2
Patellar translasyon	> 20 mm
Lateral patellofemoral açı ölçümü	< 8°
Lateral troklear eğim açısı ölçümü	< 11°
Troklear sulkus derinliği ölçümü	< 3 mm
Troklear sulkus açısı ölçümü	> 144°
TT-TO mesafesi ölçümü	> 15mm
Medial troklea / lateral troklea uzunluğu oranı	< %40

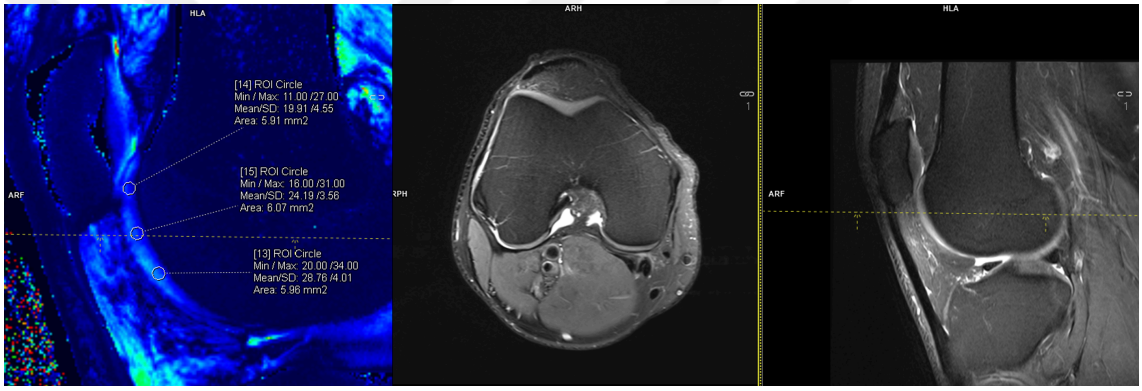
TT-TO: Tüberositas tibia – Troklear oluk

Çalışmaya dahil edilen hasta ve kontrol grubundaki tüm hastalarda troklear ve patellar kıkırdak 12 kadrana ayrıldı (Resim 15). T2 haritalama sekanslarında sagittal kesit üzerinde troklear ve patellar kıkırdak vertikal eksende proksimal 1/3, orta 1/3, distal 1/3, horizontal eksende medial-medial, medial-lateral, lateral-medial, lateral-lateral olacak şekilde toplamda 12 kadrana ayrılarak her kadran için sagittal düzlemde T2 relaksasyon değerleri ölçüldü (Tablo 5). T2 relaksasyon değerleri ölçümleri MRG cihazı iş istasyonunda Siemens syngo.via (Siemens Healthcare, Erlangen, Almanya) programı ile gerçekleştirildi. Ayrılan her 12 kadrana manuel olarak "region of interest" (ROI) yerleştirilerek T2 relaksasyon değerleri ölçüldü (Resim 16 ve 17). Her bir ölçüm için 2 grup arasında (hasta ve kontrol grubu) istatistiksel anlamlı fark olup olmadığı değerlendirildi. Ölçümler kas iskelet radyolojisinde 10 senelik deneyime sahip radyolog tarafından gerçekleştirildi. Yanlılık olasılığını ortadan kaldırmak için morfolojik ölçümler ve T2 relaksasyon değerleri ölçümleri 1 aylık ara ile farklı oturumlarda gerçekleştirildi.

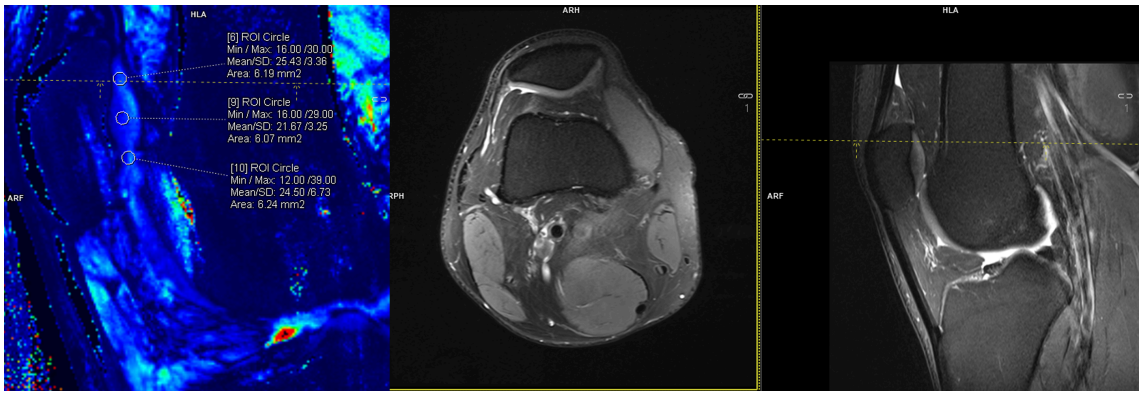
Resim 15: Troklear ve patellar kıkırdakların T2 relaksasyon ölçüm alanları



Resim 16: Sagittal düzlemde troklear kıkırdak T2 relaksasyon değerleri ölçümü



Resim 17: Sagittal düzlemde patellar kıkırdak T2 relaksasyon değerleri ölçümü



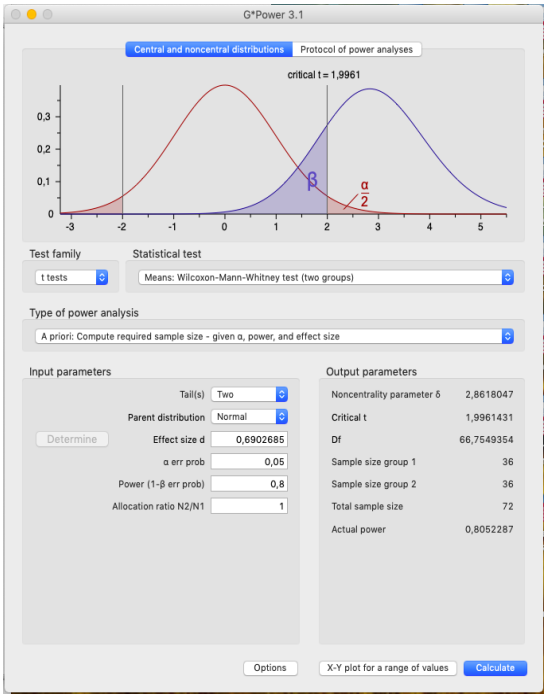
Tablo 5: Troklear ve patellar kıkırdakların T2 relaksasyon ölçüm alanları

T1	Troklea üst – dış – dış kadran		P1	Patella üst – dış – dış kadran
T2	Troklea üst – dış – iç kadran		P2	Patella üst – dış – iç kadran
T3	Troklea üst – iç – dış kadran		P3	Patella üst – iç – dış kadran
T4	Troklea üst – iç – iç kadran		P4	Patella üst – iç – iç kadran
T5	Troklea orta – dış – dış kadran		P5	Patella orta – dış – dış kadran
T6	Troklea orta – dış – iç kadran		P6	Patella orta – dış – iç kadran
T7	Troklea orta – iç – dış kadran		P7	Patella orta – iç – dış kadran
T8	Troklea orta – iç – iç kadran		P8	Patella orta – iç – iç kadran
T9	Troklea alt – dış – dış kadran		P9	Patella alt – dış – dış kadran
T10	Troklea alt – dış – iç kadran		P10	Patella alt – dış – iç kadran
T11	Troklea alt – iç – dış kadran		P11	Patella alt – iç – dış kadran
T12	Troklea alt – iç – iç kadran		P12	Patella alt – iç – iç kadran

3.1. İstatistiksel Analiz

Bu çalışmada örneklem büyüklüğü hesabı için G-Power 3.1 programı kullanıldı. Örneklem büyüklüğünün belirlenmesinde Subhawong TK ve arkadaşlarının çalışması baz alındı. (48). Tablo 3'te belirtilen hasta ve kontrol ortalama sonuçlarına göre α değeri 0,05 ve güç 0,8 olarak alındığında toplam örneklem sayısı, her bir grupta 36 olmak üzere toplam 72 olarak hesaplandı (Resim 18).

Resim 18: Güç analiz testi



İstatistiksel analizler IBM SPSS Statistics Standard Concurrent User V 27 (IBM Corp., Armonk, New York, ABD) istatistik paket programında gerçekleştirildi. Tanımlayıcı istatistikler birim sayısı (n), yüzde (%), ortalama ± standart sapma, medyan (M), minimum (min), maksimum (max) değerleri olarak verildi. Sayısal değişkenlere ait verilerin normal dağılımı Shapiro Wilk normallik testi ile değerlendirildi. Varyansların homojenliği Levene testi ile değerlendirildi. Gruplar arsındaki karşılaştırmalar veriler parametrik test ön şartlarını sağladığından "Bağımsız iki örneklem t testi" ile değerlendirildi. Eğri altında kalan alanların analizinde "ROC (Receiver operating characteristic - Alıcı işlem karakteristikleri) Analizi" yöntemi kullanıldı. Ölçüm değerlerinin karşılaştırılmasında "Tekrarlı Ölçümler Varyans Analizi" yöntemi kullanıldı. Ölçümlerin gruplara göre karşılaştırılmasında "Karışık Düzen ANOVA" analizinden yararlanıldı. Karışık Düzen ANOVA analizlerinde ana etkilerin karşılaştırılmasında "Bonferroni" düzeltmesi uygulandı. $p<0,05$ değeri istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi.

4. BULGULAR

Çalışmaya dahil edilen 75 hastanın 39'unda patellofemoral dizilim bozukluğu MRG bulguları mevcuttu (hasta grubu). Geri kalan 36 hastada patellofemoral dizilim bozukluğu MRG bulguları izlenmedi (kontrol grubu). Hasta grubunda 17 erkek, 22 kadın; kontrol grubunda 16 erkek, 20 kadın mevcuttu. Hasta grubunun yaş ortalaması 27,69 yıl iken kontrol grubunda 28,17 yıldı. Hasta grubunun vücut kitle indeksi ortalama 24,38 iken kontrol grubunun vücut kitle indeksi ortalama 24,68 idi. Gruplar arasında yaş, cinsiyet ve vücut kitle indeksi değerleri açısından istatistiksel fark saptanmadı (p>0,05) (Tablo 6).

T2 relaksasyon değerleri sagittal düzlemde troklea ve patella 12 kadrana ayrılarak hesaplandı. 12 kadrandan elde edilen ayrıntılı T2 relaksasyon değerlerinin ortalaması hesaplanarak hem troklea hem de patella için tek bir ortalama T2 relaksasyon değeri elde olundu. Buna göre; troklea ve patellada kadran ayrımı yapmaksızın ortalama T2 relaksasyon değerleri karşılaştırıldığında; gruplar arasında istatistiksel anlamda fark saptanmadı (Tablo 7).

Tablo 6: Gruplar arasında tanımlayıcı özelliklerin karşılaştırılması

	Patellofemoral Dizilim Bozukluğu		**Test İstatistikleri**	
	Yok (Kontrol)	Var (Hasta)	Test değeri	*p* değeri
Yaş				
$\underline{x}$±*ss*	28,17±6,58	27,69±6,39	*z*=0,413	0,680
M (*min-max*)	26 (19-39)	25 (19-40)		
Cinsiyet, *n* (%)				
Kadın	20 (55,6)	22 (56,4)	χ^2=0,004	0,949
Erkek	16 (44,4)	17 (43,6)		
VKI				
$\underline{x}$±*ss*	24,68±3,73	24,38±3,01	*z*=0,352	0,725
M (*min-max*)	23,87(19,26-29,89)	24,60(19,03-29,76)		

$\underline{x}$: Ortalama, *ss*: Standart sapma, *M*: Medyan, χ^2: Kikare test istatistiği, z: Mann-Whitney *U* testi, VKI: Vücut-kitle indeksi

Tablo 7: Gruplar arasında troklea ve patella ortalama T2 relaksasyon değerlerinin karşılaştırılması

	Patellofemoral Dizilim Bozukluğu		**Test İstatistikleri**	
	Yok	Var	*t* değeri	*p* değeri
Troklea Ortalama	20,78±3,47	22,18±3,59	1,696	0,094
Patella Ortalama	21,63±2,06	22,52±3,15	1,411	0,163

Değerler ortalama±standart sapma olarak verilmiştir. *t*: Bağımsız iki örneklem t testi

Bir sonraki aşamada troklear ve patellar kıkırdağın sagittal düzlemde 12 kadrana bölünerek elde olunan T2 relaksasyon ölçümleri karşılaştırıldı. Ölçüm sonuçlarına göre hem troklear hem de patellar kıkırdakta üst-dış-dış kadran (T1, P1) ve üst-dış-iç kadranda (T2, P2) T2 relaksasyon değerleri hasta grubunda istatistiksel anlamlı oranda yüksekti (sırasıyla p=0,013, p=0,001, p=0,017, p=0,044) (Tablo 8,9).

Ayrıca tanımlanan 12 kadranda T2 relaksasyon değeri için bir cut-off belirleyebilmek amacıyla ROC analizi gerçekleştirildi (Tablo 10,11). Yapılan değerlendirmede; P1, P2 ve T1 kadranlarında eğri altında kalan alan istatistiksel olarak anlamlıydı. Kadranlardan yapılan T2 relaksasyon değeri ölçümleri ile değerlendirildiğinde; sagittal düzlemde yapılan troklear ve patellar kıkırdak T1, P1 ve P2 kadranlarında hem T2 relaksasyon değerleri hasta grubunda istatistiksel anlamlı yüksekti hem de bu alanlardan cut-off değer belirlemenin mümkün olduğu görüldü. T1 için ayırıcı tanı değeri 21,7'in üzeri, P1 için 24,1'ün üzeri ve P2 için 24,3'nin üzeri olarak hesaplandı (Tablo 12).

Tablo 8: Troklear kıkırdak T2 relaksasyon değerlerinin gruplar arasında karşılaştırılması

	Patellofemoral Dizilim Bozukluğu		**Test İstatistikleri**	
	Yok	Var	*t* değeri	*p* değeri
T1	17,60±4,17	20,53±5,54	2,552	**0,013**
T2	19,38±5,99	22,60±6,04	2,470	**0,017**
T3	23,31±6,18	25,60±6,68	1,523	0,132
T4	16,25±4,92	18,54±5,86	1,180	0,074
T5	24,88±4,72	26,52±6,91	1,179	0,242
T6	25,59±5,34	25,88±5,38	0,231	0,818
T7	24,80±7,92	27,31±5,77	1,566	0,122
T8	20,73±5,47	22,20±5,32	1,166	0,247
T9	18,18±5,96	19,89±6,88	1,136	0,260
T10	19,94±6,46	19,09±5,66	0,603	0,548
T11	18,36±5,54	19,23±5,41	0,684	0,496
T12	18,38±5,94	18,77±5,16	0,304	0,762

Değerler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir. *t*: Bağımsız iki örneklem t testi
Koyu renkte yazılanlar istatistiksel olarak anlamlıdır

Tablo 9: Patellar kıkırdak T2 relaksasyon değerlerinin gruplar arasında karşılaştırılması

	Patellofemoral Dizilim Bozukluğu		**Test İstatistikleri**	
	Yok	Var	*t* değeri	*p* değeri
P1	23,22±4,37	27,03±4,91	3,510	**0,001**
P2	23,96±4,51	26,49±5,92	2,052	**0,044**
P3	23,11±5,32	23,34±4,30	0,203	0,840
P4	19,46±3,04	20,32±4,37	0,997	0,322
P5	22,52±5,02	23,14±7,27	0,423	0,674
P6	23,33±6,10	24,28±5,89	0,682	0,498
P7	22,31±4,12	21,83±4,42	0,485	0,629
P8	19,64±4,1	19,98±5,87	0,287	0,775
P9	20,29±3,68	19,58±5,12	0,680	0,499
P10	22,14±3,39	23,22±5,57	0,994	0,323
P11	20,40±4,04	21,91±4,74	1,458	0,149
P12	19,29±4,16	19,20±4,89	0,089	0,930

Değerler ortalama±standart sapma olarak verilmiştir. *t*: Bağımsız iki örneklem t testi
Koyu renkte yazılanlar istatistiksel olarak anlamlıdır

Tablo 10: Troklear kıkırdak ROC analizi

	AUC	*se*	*p*	Asemptomatik 95% Güven Aralığı	
				Alt Sınır	Üst Sınır
T1	0,644	0,064	**0,024**	0,524	0,752
T2	0,554	0,067	0,425	0,422	0,686
T3	0,592	0,067	0,169	0,461	0,722
T4	0,610	0,066	0,097	0,480	0,739
T5	0,585	0,067	0,207	0,453	0,717
T6	0,495	0,068	0,935	0,361	0,628
T7	0,580	0,069	0,245	0,445	0,714
T8	0,586	0,069	0,215	0,450	0,722
T9	0,616	0,067	0,081	0,485	0,747
T10	0,451	0,068	0,469	0,318	0,584
T11	0,532	0,068	0,635	0,399	0,665
T12	0,551	0,068	0,457	0,417	0,684

AUC: Area under the curve, se: Standard error
Koyu renkte yazılanlar istatistiksel olarak anlamlıdır

Tablo 11: Patellar kıkırdak ROC analizi

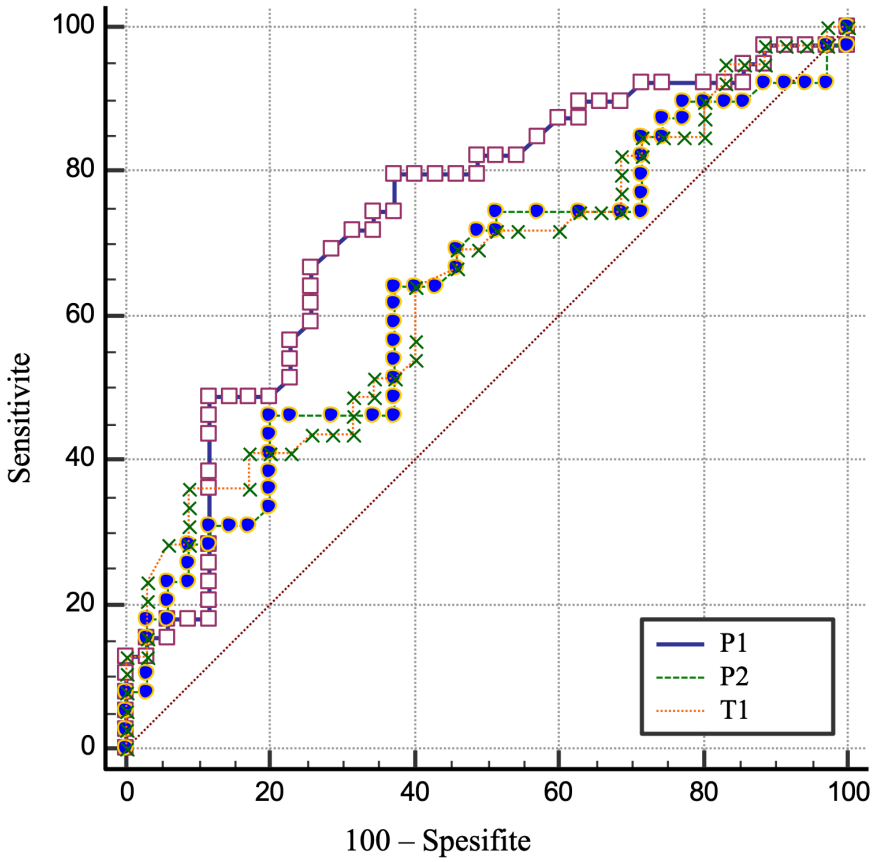
	AUC	*se*	*p*	Asemptomatik 95% Güven Aralığı	
				Alt Sınır	Üst Sınır
P1	0,731	0,060	**<0,001**	0,615	0,827
P2	0,632	0,065	**0,044**	0,511	0,741
P3	0,521	0,068	0,756	0,387	0,655
P4	0,547	0,069	0,494	0,413	0,681
P5	0,535	0,068	0,606	0,402	0,669
P6	0,574	0,068	0,272	0,442	0,707
P7	0,481	0,068	0,778	0,348	0,614
P8	0,519	0,068	0,783	0,386	0,651
P9	0,447	0,067	0,428	0,314	0,579
P10	0,565	0,067	0,336	0,433	0,697
P11	0,578	0,067	0,239	0,448	0,709
P12	0,480	0,068	0,771	0,347	0,613

AUC: Area under the curve, se: Standard error
Koyu renkte yazılanlar istatistiksel olarak anlamlıdır

Tablo 12: Anlamlı ROC tablosu ve grafiği

Değişkenler	Cut-off	AUC	se	p	Asemptomatik 95% Güven Aralığı		Sensitivite	Spesifite
					Alt Sınır	Üst Sınır		
T1	>21,7	0,644	0,064	**0,024**	0,524	0,752	35,90	91,43
P1	>24,1	0,731	0,060	**<0,001**	0,615	0,827	79,49	62,86
P2	>24,3	0,632	0,065	**0,044**	0,511	0,741	64,10	62,86

AUC: Area under the curve, se: Standard error,
Koyu renkte yazılanlar istatistiksel olarak anlamlıdır



5. TARTIŞMA

Bu çalışmada T2 haritalama yöntemi kullanarak patellofemoral dizilim bozukluğunun erken evre troklear ve patellar kondromalazi ile ilişkisini değerlendirdik. Bu amaçla patellofemoral dizilim bozukluğu olan ve olmayan iki grubun, MRG sagittal kesit görüntülerinde troklear ve patellar kıkırdak yüzeyleri 12 kadrana bölünerek T2 relaksasyon değerleri belirlendi. Gruplar arasında troklear ve patellar kıkırdak ortalama T2 relaksasyon değerleri açısından fark yoktu. Ancak 12 kadrandaki T2 relaksasyon değerleri ayrı ayrı karşılaştırıldığında hem troklear hem de patellar kıkırdakta üst-dış-dış kadran (P1, T1) ve üst-dış-iç kadranda (P2, T2) T2 relaksasyon değerleri hasta grubunda istatistiksel anlamlı oranda yüksekti. Cut-off değer belirlemek amacıyla yapılan ROC analizinde de benzer kadranlarda (T1, P1, P2) istatistiksel anlamlı sonuçlar elde edildi. Bu sonuçlar patellofemoral dizilim bozukluğunun sebep olduğu kondromalazinin asimetrik bir başlangıç gösterebileceğini ve ilk başladığı alanın hem troklear hem de patellar kıkırdakta üst-dış kadran olabileceğini göstermiştir.

Diz ön ağrısı, günlük yaşam aktivitesini olumsuz etkileyen ve özellikle genç erişkinlerde klinik pratikte oldukça sık rastlanan önemli bir semptomdur (49). Patellanın olağan lokalizasyonu dışında konumlanması anlamına gelen patellofemoral dizilim bozukluğu ise diz ön ağrısının önde gelen sebeplerinden birisidir (9). Troklear oluk ile patellanın normal dizilimi yük taşımada önemli etkilere sahip olduğundan uygun olmayan dizilim; kondromalazi, erken osteoartrit, sinovyal proliferasyon ve subkondral kemik değişikliklerine yol açabilmektedir (50).

Erken evrede saptanabilen kıkırdak değişiklikleri patofizyolojik düzeyde kollajen – proteoglikan matriksindeki hasar ve dejenere kıkırdaktaki su içeriğinin artmasıdır. Geç evrelerde meydana gelen değişiklikler ise, dehidrasyona, yoğun fibrilasyona, kıkırdak kaybına ve nihayetinde subkondral kemiğin bozulmasına neden olur.

Günümüzde erken evre kıkırdak dejenerasyonunun, önleyici müdahaleler (farmakoterapi, yaşam tarzı değişikliği veya eksen değiştirme ameliyatı) ile geriye döndürülebilir ya da ilerlemesi durdurulabilir olduğu kabul edilmektedir (2). Ayrıca erken osteoartriti yavaşlatma ve hatta durdurma ihtimalinin hastalığın daha ileri formlarını yavaşlatma ihtimalinden daha güçlü olduğu düşünülmektedir (51). Bu nedenle, başarılı bir tedavi için kıkırdak dejenerasyonunun en erken aşamada güvenilir

bir şekilde tespit edilmesi gerekmektedir. Gelişen teknolojiye rağmen günümüzde erken evre osteoartriti rutin MRG yöntemleri kullanarak tespit etmek mümkün değildir. Standart sekanslar (T1, T2, proton dansite) kullanılarak yalnızca kıkırdak morfolojisi hakkında bilgi sahibi olunabilir ki bu da kıkırdak dejenerasyonunun erken tespitinde göreceli düşük duyarlılığa sahiptir (4). Çünkü erken dönemde osteoartritik kıkırdakta su içeriği küçük değişimler gösterir ve bunu saptamada standart sekansların duyarlılığı sınırlıdır. Bu nedenle ekstraselüler matriks içerisindeki proteoglikan ve kollajen içeriğini belirlemeye yönelik tetkikler geliştirilmeye çalışılmıştır (5). Bununla birlikte hem proteoglikan hem de kollajen protonları, makromoleküler yapılarından dolayı çok kısa T2 relaksasyon süresine sahiptir ve bunları doğrudan MRG ile ölçmek zordur (6,7). Bu nedenle, T2 haritalama gibi kantitatif MRG teknikleri bu alanda önemli yer edinmiştir. T2 haritalama, ekstraselüler matriks bileşenlerinin değişimlerini değerlendirerek kıkırdak kompozisyonu hakkında nicel bilgi sağlar. T2 relaksasyon süresi, serbest su proton moleküllerinin hareket etme ve ekstraselüler matriks içinde enerji alışverişi yapma yeteneğini yansıtır. Kollajen-proteoglikan matriksindeki hasar ve dejenere kıkırdaktaki su içeriğinin artması T2 relaksasyon süresini arttırır.

Kijowski ve arkadaşları rutin MRG protokolüne eklenen T2 haritalama sekansının kıkırdak hasarının tespitinde MRG'nin duyarlılığını %74,6'den %88,9'a yükselttiğini göstermiştir (52). Son yıllarda yapılmış patellofemoral dizilim bozukluğu ile kıkırdak hasarının ilişkisini inceleyen çok sayıda çalışma bulunmaktadır (53-55). Bu çalışmalar irdelendiğinde büyük çoğunluğunun patellar kıkırdağa odaklanmış olduğu ve troklear kıkırdak hasarının ise göz ardı edildiği anlaşılmaktadır. Oysaki patellofemoral dizilim bozukluğu durumunda troklear kıkırdak da etkilenebilmekte ve patellar kıkırdak hasarı olmadan da anterior diz ağrısına yol açabilmektedir. Ayrıca ilgili kaynakçada mevcut olan bu çalışmalarda patellofemoral dizilim bozukluğu ile patellofemoral eklem kıkırdağı hasarı arasındaki ilişki incelenirken kıkırdak hasarı çoğunlukla standart diz MR görüntüleri üzerinde morfolojik olarak değerlendirilmiştir (53-55). Bizim bilgimiz sınırlarında literatürde patellofemoral dizilim bozukluğu ile kıkırdak hasarı ilişkisini T2 haritalama yöntemi kullanarak inceleyen çalışma sayısı oldukça sınırlıdır (56-57).

Türkmen ve arkadaşları diz ön ağrısı olan 54 hasta (hasta grubu) ve olmayan 50 hastayı (kontrol grubu) dahil ettikleri çalışmalarında hastalara T2 haritalamalı MRG tetkiki uygulanmıştır. Bu hastalardan diz ön ağrısı olanlarda düşük Insall Salvati

indeksi, düşük lateral troklear eğim açısı ve yüksek patellar eğim açısı varlığında T2 relaksasyon değerlerinin kontrol grubuna göre yüksek olduğu saptanmıştır. Bu sonuçlar ışığında T2 haritalama MRG tekniğinin, diz ön ağrısı olan hastalarda erken kıkırdak hasarını teşhis etmek için kullanılabilecek güvenilir bir test olduğunu ve standart diz MRG protokolüne T2 haritalama sekansı eklenmesini önermişlerdir (58).

Kim ve arkadaşları patellofemoral dizilim bozukluğu ve Hoffa yağ yastığı ödemi bulunan 23 hasta ve kontrol grubunda bulunan 45 hastayı dahil ettikleri çalışmalarında patellofemoral dizilim bozukluğu bulunan olguların patellar kıkırdak T2 relaksasyon süreleri ile normal popülasyondaki hastaların T2 relaksasyon sürelerini karşılaştırmışlardır. Çalışmada yazarlar patellar dizilim bozukluğu bulunan grupta, lateral patellar fasette daha yüksek kıkırdak T2 relaksasyon değeri saptamıştır. Bu sonuçlara göre Hoffa yağ yastığı ödemi, lateral patellar fasette kıkırdak dejenerasyonu ile ilişkili görünmektedir. Buna göre yazarlar patellofemoral dizilim bozukluğu ve Hoffa yağ yastığı ödeminin lateral patellar fasetteki erken kıkırdak hasarı için bir risk faktörü olabileceğini vurgulamışlardır (59). Kim ve arkadaşlarının yaptığı çalışma ile bizim çalışmamızın en önemli farkı çalışmamızda heterojen değişikliklerin tespiti amacıyla troklear ve patellar kıkırdağın 12 kadrana bölünerek ayrıntılı ölçümlerin yapılmasıdır. Literatürdeki diğer çalışmalar ile kıyaslandığında bu durum çalışmamızın en üstün yanlarından biridir. Bizim çalışmamızda sagittal düzlemde troklea ve patella ortalama T2 relaksasyon değerlerinin hasta ve kontrol gruplarında karşılaştırılması yapıldığında; gruplar arasında istatistiksel anlamlı fark saptanmadı. Ancak troklea ve patella 12 kadrana bölünerek ayrıntılı T2 relaksasyon ölçümleri yapıldığında belirli kadranlarda istatistiksel anlamlı sonuçlar elde olundu. Kim ve arkadaşları çalışması ile uyumlu olarak bizim çalışmamızda da lateral patellar faset kıkırdağının etkilenimi istatistiksel olarak anlamlı biçimde patellofemoral dizilim bozukluğu grubunda daha fazla idi. Benzer şekilde bizim çalışmamızda da patellar kıkırdağın lateral kadranlarındaki (P1, P2,) T2 relaksasyon değerleri patellofemoral dizilim bozukluğu grubunda yüksekti. Bunun yanında Kim ve arkadaşlarının çalışmasından farklı olarak bizim çalışmamızda patella ile benzer şekilde troklear kıkırdağın lateral kadranlarında da (T1, T2) T2 relaksasyon değerleri anlamlı düzeyde yüksek bulundu. Bu durumu açıklayacak çeşitli mekanizmalar bulunmaktadır. Bunlardan biri patellofemoral dizilim bozukluğu bulunan hastalarda fleksiyon sırasında patella ile troklear oluk arasındaki temas alanının azalmasına bağlı olarak maksimum patellofemoral temas basıncın artmasıdır (60). Ayrıca benzer şekilde TT-

TO mesafesi arttığında patella laterale doğru yer değiştirmekte ve bu durum özellikle lateralde patellofemoral eklem stresini arttırmaktadır (61). Patellofemoral yük/stres aktarımındaki bu değişiklikler kondromalazinin/kıkırdak hasarının lateralde daha fazla olmasını açıklamaktadır. Bu mekanizmalar ile uyumlu olarak bizim çalışmamızda da lateral kadranlarda T2 relaksasyon değerleri ve ROC analizinde istatistiksel anlamlı sonuçlar bulunmuştur. Bu sonuçlar bize patellofemoral dizilim bozukluğunun neden olacağı kondromalazinin; asimetrik bir başlangıç göstereceğini ve hem patella hem de troklea eklem yüzünün lateralinde daha yoğun olarak görüleceğini göstermiştir. Patellofemoral dizilim bozukluğuna bağlı meydana gelebilecek olan bu asimetrik hasarı çok daha erken yaşlarda ve erken evrede saptayabilmek için kadranlara bölerek yapılacak olan T2 haritalama incelemelerinin ne kadar kritik bir öneme sahip olduğu açıktır. Bu nedenle T2 haritalama yöntemi ile erken evre kondromalaziyi değerlendirmek için troklear ve patellar kıkırdak alanlarının ortalama değerlerini kullanmak yerine kadranlara bölerek yapılacak olan değerlendirme daha hassas ve daha anlamlı bir değerlendirme yöntemi olacaktır.

Çalışmamızdaki bir diğer istatistiksel analizde hem troklea hem de patella için tüm kadranlarda kondromalazi varlığı açısından cut-off belirlenmesine yönelik ROC analizi yapıldı. Buna göre sagittal düzlemde troklea ve patellanın belli kadranları için cut-off değer belirlenebileceği istatistiksel olarak saptandı. Ancak özellikle T1, P1 ve P2 kadranlarında yapılan T2 haritalama ölçümlerinde hem relaksasyon değerlerinin karşılaştırılmasında istatistiksel anlamlı sonuç bulunmuş hem de yapılan ROC analizinde cut-off değer belirlenebilmiştir. Bu nedenle özellikle T1, P1 kadranları üzerinden değerlendirme ve ölçüm yapma ile bu bölgelerden elde edilen sonuçların göz önüne alınmasının anlamlı olacağı kanaatindeyiz. P2 kadranında yapılan ölçümlerde ROC analizinde bir cut-off değer belirlenebilmiş olmakla birlikte özellikle T1 ve P1 alanlarında hem T2 relaksasyon değerlerinde anlamlı sonuç bulunması hem de ROC analizinde bir cut-off belirlenmesi ölçüm pratikliği ve akılda kalıcılığı açısından kolaylık sağlayacaktır.

Patellofemoral dizilim bozukluğunun sebep olduğu kondromalazinin hem troklear hem de patellar kıkırdakta lateralde (T1 ve P1) diğer kadranlardan daha hassas ve anlamlı sonuçlar vermesi ve anlamlı cut-off değerler sunması sebebiyle kondromalazinin ilk başladığı alanın hem troklear hem de patellar kıkırdak için üst - dış alan olabileceği kanaatindeyiz. Bu sonucu çıkarmamızda şu etkenler rol almıştır.

Bunlardan en önemlisi çalışmamızda hem 40 yaş üstü hastaları hem de evre 4 kondromalaziyi dışlamamızdır. Böylelikle orta-geç dönem kıkırdak hasarı büyük oranda elendi ve kıkırdaktaki değişikliklerin henüz erken dönemde olduğu bir popülasyon oluştu. Ayrıca üst - dış kadran haricinde diğer bölgelerde de kıkırdak T2 relaksasyon süreleri arasında anlamlı farklılık yoktu, yani diğer bölgeler için benzer kıkırdak değişiklikleri saptanmıştı. Haritalama yapmadan görsel morfolojik değerlendirme ile T1 ve P1 alanlarındaki minör erken değişiklikler gözden kaçabilmekte olup T2 haritalama ile bu farklılık kantitatif olarak kanıtlanabilmektedir. Bu nedenle muayene ve rutin MRG ile nedeni ortaya konamayan diz önü ağrısının araştırılmasında T2 haritalama yapılarak hem patellar hem de troklear kıkırdakta üst dış kadranlara dikkat edilmesi gerektiğini savunuyoruz. Bu kadranlardan yapılacak olan ölçümlerin patellofemoral dizilim bozukluğu olan hastalardaki olası troklear ve patellar kondromalazinin erken teşhisinde kullanılabilir. Bu bilgi klinisyenleri hem hangi alana yönlenmeleri konusundan uyaracak hem de takip açısından fayda sağlayabilecektir. Benzer şekilde Fulkerson da kondromalaziye bağlı olarak patellar kıkırdağın her bölgesinin eşit şekilde etkilenmediğini ve farklı mekanizmaların farklı bölgelerde hasara neden olduğunu belirtmektedir. Lateral patellar faset kıkırdak hasarının kronik patellar tilt, medial faset kıkırdak hasarının ise patellar dislokasyon ile ilişkili olduğunu belirtmiştir (62). Bu nedenle bir değerlendirme yapılacağı zaman T2 relaksasyon değerleri hastanın morfolojik bulguları ve anamnezi ile değerlendirilmelidir.

Bu çalışmanın birtakım kısıtlıkları mevcuttur. Bu kısıtlılıklardan en önemlisi troklea ve patelladaki heterojen dağılımı ortaya koymak için 12 kadrana bölerek her kadran için tam orta noktadan ölçüm yapsak da her hasta için ölçüm lokalizasyonu açısından tam olarak standardizasyonun sağlanamayabilmesidir. Her kadrandaki kondromalazi o kadranın tam ortasında meydana gelmemiş, kadranın uç kesimlerinde gelişmiş olabilir. Ayrıca T2 haritalama için kesit kalınlığı literatürde kabul edilen değer olan 3 mm olarak belirlendi ancak daha küçük kesit kalınlığı daha doğru sonuçlar elde edilmesini sağlayabilir. Çalışmamızın bir diğer kısıtlılığı ise kondromalazi tanısının altın standart yöntem olan artroskopi ile doğrulanamamış olmasıdır. Bir diğer kısıtlılık ise T2 haritalama yanında kondromalazinin erken teşhisinde kullanılan dGEMRIC, T1ρ haritalama gibi farklı görüntüleme tekniklerinin kullanılmamasıdır. Kıkırdak hasarının erken tespitinde kullanılan farklı görüntüleme tekniklerinin sonuçlarının değerlendirilmesi bu alana önemli katkı sağlayacaktır.

Ayrıca çalışmamızda T2 relaksasyon değeri ölçümleri hem patella hem de troklea için yalnızca sagittal kesitler üzerinden gerçekleştirilmiş, aksiyel ve koronal kesitler çalışmaya dahil edilmemiştir. Görüntüleme düzlemleri göz önüne alındığında hem troklear hem de patellar kondromalazi için T2 relaksasyon değeri ölçümlerinin sagittal düzlemde yapılmasının sebebi T2 relaksasyon değerlerinin özellikle trokleada daha dik, paralel ve usulüne uygun ölçülmesidir. Anatomisi gereği trokleada diğer planlarda yapılan ölçümlerde doğru sonuçlar elde edilemeyebilir. Ayrıca, diğer düzlemlerde T2 haritalama kesit kalınlığının kıkırdak kalınlığına göre nispeten fazla oluşu da buna etken olabilir. Tüm bu durumlar kıkırdak harici yapıların kısmi hacim etkisi ile kıkırdağa ait T2 relaksasyon değerlerinin yanlış hesaplanmasına neden olabilir (63). Kısmi hacim etkisi görüntüdeki en küçük birim olan bir voksel içinde farklı anatomik yapıların yer almasıdır. Örneğin bir vokselde hem kıkırdak hem de eklem sıvısı var ise o vokselin T2 relaksasyon değeri hem kıkırdaktan hem de eklem sıvısından etkilenecektir. Bir diğer etki ise troklear oluk kıkırdağında "sihirli açı fenomeni" nedeniyle ölçüm sonuçları hatalı olabilmesidir (64). Tüm bu sebepler neticesinde özellikle trokleada sagittal düzlemde alınan ölçümlerin aksiyel ve koronal düzlemde alınan ölçümlere göre daha güvenilir olacağı kanaatindeyiz. Ancak yine de aksiyel ve koronal düzlemler üzerinden yapılacak bir değerlendirme ve kesitler arası karşılaştırma, ölçümlerin hangi düzlem üzerinde yapılmasının uygun olacağı konusunda standardizasyon sağlanmasına katkı sağlayabilir.

6. SONUÇ

Patellofemoral dizilim bozukluğu hem troklear hem de patellar kondromalaziye sebep olabilen, erken tespit edilebilir ve gerekli tedavi protokolleri uygulandığı taktirde neden olduğu patoloji önlenebilir bir bozukluktur.

Yaptığımız çalışmada bu dizilim bozukluğunun sebep olduğu kondromalazinin patofizyolojik mekanizmasını ve erken teşhisinde kullanabileceğimiz tetkiklerden MRG T2 haritalama yöntemini inceledik. Diz ön ağrısı ile gelen ve patellofemoral dizilim bozukluğu şüphesi olan hastalara tetkik isteme aşamasında rutin MRG tetkikine T2 haritalama da eklenebilir ve radyoloji kliniğine bu yöne odaklanma önerisinde bulunabilir.

Patellofemoral dizilim bozukluğu varlığında hem patellar hem de troklear kıkırdağın üst - dış kesimi kantitatif T2 haritalamada ayrıntılı değerlendirilerek erken dönem kondromalazi saptanabilir. Elde ettiğimiz T2 relaksasyon cut-off değerleri ile T2 haritalamalı MRG görüntüsü bulunan hastada troklear veya patellar kondromalazi için var - yok olarak sınıflandırılıp erken dönemde önleyici ya da tedavi edici yöntemlerin başarısı artırılabilir.

Patellar ve troklear kıkırdağın üst - dış kesimlerinde yüksek T2 relaksasyon değerleri tespit edilen hastada kondromalazinin etiyolojisine yönelik patellofemoral dizilim bozukluğu ön planda düşünülebilir.

REFERANSLAR

1. Dijkgraaf LC, de Bont LG, Boering G, Liem RS. The structure, biochemistry, and metabolism of osteoarthritic cartilage: a review of the literature. J Oral Maxillofac Surg. 1995 Oct;53(10):1182-92.
2. Feucht MJ, Izadpanah K, Vogt S, Mehl J. Cartilage repair procedures for early osteoarthritis. Orthopade. 2021 May;50(5):356-365.
3. Quatman CE, Hettrich CM, Schmitt LC, Spindler KP. The clinical utility and diagnostic performance of magnetic resonance imaging for identification of early and advanced knee osteoarthritis: a systematic review. Am J Sports Med. 2011 Jul;39(7):1557-68.
4. Zibetti MVW, Menon RG, de Moura HL, Zhang X, Kijowski R, Regatte RR. Updates on Compositional MRI Mapping of the Cartilage: Emerging Techniques and Applications. J Magn Reson Imaging. 2023 Jul;58(1):44-60.
5. Hafner T, Schock J, Post M, Abrar DB, Sewerin P, Linka K, et al. A serial multiparametric quantitative magnetic resonance imaging study to assess proteoglycan depletion of human articular cartilage and its effects on functionality. Sci Rep. 2020 Sep 15;10(1):15106.
6. Truhn D, Sondern B, Oehrl S, Tingart M, Knobe M, Merhof D, et al. Differentiation of human cartilage degeneration by functional MRI mapping—an ex vivo study. Eur Radiol. 2019 Dec;29(12):6671-6681.
7. Souza RB, Kumar D, Calixto N, Singh J, Schooler J, Subburaj K, et al. Response of knee cartilage T1rho and T2 relaxation times to in vivo mechanical loading in individuals with and without knee osteoarthritis. Osteoarthritis Cartilage. 2014 Oct;22(10):1367-76.
8. Kijowski R, Blankenbaker DG, Munoz Del Rio A, Baer GS, Graf BK. Evaluation ofthe articular cartilage ofthe knee joint: value of adding a T2 map ping sequencetoa routine MR imaging protocol. Radiology. 2013 May;267(2):503-13.
9. Tsavalas N, Katonis P, Karantanas AH. Knee joint anterior malalignment and patellofemoral osteoarthritis: an MRI study. Eur Radiol. 2012 Feb;22(2):418-28.
10. Flandry F, Hommel G. Normal anatomy and biomechanics of the knee. Sports Med Arthrosc Rev. 2011 Jun:19(2):82-92.
11. Sanders TG, Medynski MA, Feller JF, Lawhorn KW. Bone contusion patterns of the knee at MR imaging: footprint of the mechanism of injury. Radiographics. 2000 Oct:20 Spec No:S135-51.
12. de Maeseneer M, Roy FV, Lenchik L, Barbaix E, de Ridder F, Osteaux M. Three layers of the medial capsular and supporting structures of the knee: MR imaging-anatomic correlation. Radiographics. 2000 Oct:20 Spec No:S83-9.
13. de Maeseneer M, Lenchik L, Starok M, Pedowitz R, Trudell D, Resnick D. Normal and abnormal medial meniscocapsular structures: MR imaging and sonography in cadavers. AJR Am J Roentgenol. 1998 Oct;171(4):969-76.
14. James EW, LaPrade CM, LaPrade RF. Anatomy and biomechanics of the lateral side of the knee and surgical implications. Sports Med Arthrosc Rev. 2015 Mar;23(1):2-9.
15. Hidenori O, Konsei S, Daisuke S, Tomoaki K, Tomoyuki S, Kota W et al. The arrangement and the attachment areas of three ACL bundles. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2012 Jan;20(1):127-34.

16. Avalos RM, Gonzalez EMT, Medina JRP, Monllau JC. ACL anatomy: Is there still something to learn?. Rev Esp Cir Ortop Traumatol. 2023 Feb 12:S1888-4415(23)00070-X.
17. Kim HY, Kim KJ, Yang DS, Jeung SW, Choi HG, Choy WS. Screw-home movement of the tibiofemoral joint during normal gait: Three dimensional analysis. Clinics In Orthopedic Surgery. 2015 Sep; 7(3): 303–309.
18. Gee SM, Posner M. Meniscus Anatomy and Basic Science. Sports Med Arthrosc ReV. 2021 Sep 1;29(3):e18-e23.
19. Staeubli HU, Bollmann C, Kreutz R, Becker W, Rauschning W. Quantification of intact quadriceps tendon, quadriceps tendon insertion, and suprapatellar fat pad: MR arthrography, anatomy, and cryosections in the sagittal plane. AJR Am J Roentgenol. 1999 Sep;173(3):691-8.
20. Gupton M, Terreberry RR. Anatomy, Bony pelvis and lower limb, Knee. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 Jan. 2023 Nov 5.
21. Sadowska A, Spodnik JH, Wójcik S. Variations in popliteal fossa venous anatomy: implications for diagnosis of deep-vein thrombosis. Folia Morphol (Warsz) 2013 Feb;72(1):51-6.
22. Mercant AC. Patellofemoral imaging. Clin Orthop Relat Res. 2001 Aug:(389):15-21.
23. Vohra S, Arnold G, Doshi S, Marcantonio D. Normal MR imaging anatomy of the knee. Magn Reson Imaging Clin N Am. 2011 Aug;19(3):637-53, ix-x.
24. Brossmann J, Muhle C, Schröder C, Melchert UH, Büll CC, Spielmann RP, et al. Patellar tracking patterns during active and passive knee extension: evaluation with motion-triggered cine MR imaging. Radiology. 1993 Apr;187(1):205-12.
25. Brossmann J, Muhle C, Büll CC, Zieplies J, Melchert UH, Brinkmann G, el al. Cine MR imaging before and after realignment surgery for patellar maltracking - comparison with axial radiographs. Skeletal Radiol. 1995 Apr;24(3):191-6.
26. Ankur JS, Drushi P. Imaging update on cartilage. J Clin Orthop Trauma. 2021 Sep 25:22:101610.
27. Hongjiang W, Huimin L, Le Q, Steven C, Yuyao Z, Naying H et al. Quantitative susceptibility mapping of articular cartilage in patients with osteoarthritis at 3T. J Magn Reson Imaging. 2019 Jun;49(6):1665-1675.
28. Bredella MA, Tirman PFJ, Peterfy CG, Zarlingo M, Feller JF, Bost FW, et al. Accuracy of T2- weighted FSE MR imaging with fat saturation in detecting cartilage defects in the knee: comparison with arthroscopy in 130 patients. AJR Am J Roentgenol. 1999 Apr;172(4):1073-80.
29. Crema MD, Roemer FW, Marra MD, Burstein D, Gold GE, Eckstein F, et al. Articular cartilage in the knee: current MR imaging techniques and applications in clinical practice and research. Radiographics. 2011 Jan-Feb;31(1):37-61.
30. Vallotton JA, Meuli RA, Leyvraz PF, Landry M. Comparison between magnetic resonance imaging and arthroscopy in the diagnosis of patellar cartilage lesions: a prospective study. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 1995;3(3):157-62.
31. Freeman DM, Bergman G, Glover G. Short TE MR microscopy: Accurate measurement and zonal differentiation of normal hyaline cartilage. Magn Reson Med. 1997 Jul;38(1):72-81.

32. Dunn TC, Lu Y, Jin H, Ries MD, Majumdar S. T2 relaxation time of cartilage at MR imaging: comparison with severity of knee osteoarthritis. Radiology. 2004 Aug;232(2):592-8.
33. Amis AA, Oguz C, Bull AM, Senavongse W, Dejour D. The effect of trochleoplasty on patellar stability and kinematics: a biomechanical study in vitro. J Bone Joint Surg Br. 2008 Jul;90(7):864-9.
34. Rhee SJ, Pavlou G, Oakley J, Barlow D, Haddad F. Modern management of patellar instability. Int Orthop. 2012 Dec;36(12):2447-56.
35. Desio SM, Burks RT, Bachus KN. Soft tissue restraints to lateral patellar translation in the human knee. Am J Sports Med. 1998 Jan-Feb;26(1):59-65.
36. Amis AA, Firer P, Mountney J, Senavongse W, Thomas NP. Anatomy and biomechanics of the medial patellofemoral ligament. Knee. 2003 Sep;10(3):215-20.
37. Wilson PL, Black SR, Ellis HB, Podeszwa DA. Distal femoral valgus and recurrent traumatic patellar instability: Is an isolated varus producing distal femoral osteotomy a treatment option? J Pediatr Orthop. 2018 Mar;38(3):e162-e167.
38. Weber AE, Nathani A, Dines JS, Allen AA, Shubin-Stein BE, Arendt EA, et al. An algorithmic approach to the management of recurrent lateral patellar dislocation. J Bone Joint Surg Am. 2016 Mar 2;98(5):417-27.
39. Elsheikh AA, Cross GWV, Wright J, Goodier WD, Calder P. Miserable malalignment syndrome associated knee pain: a case for infra-tubercle tibial de-rotation osteotomy using an external fixator. J Orthop Surg Res. 2023 Oct 11;18(1):768.
40. Giovagnorio F, Olive M, Casinelli A, Maggini E, Presicci C, Tominaj C, Ricci P. Comparative US-MRI evaluation of the Insall–Salvati index. Radiol Med. 2017. Oct;122(10):761-765.
41. Frings J, Dust T, Krause M, Frosch KH, Adam G, Warncke M, et al. Dynamic mediolateral patellar translation is a sex and size independent parameter of adult proximal patellar tracking using dynamic 3 tesla magnetic resonance imaging. Arthroscopy. 2022 May;38(5):1571-1780.
42. Jibri Z, Jamieson P, Rakhra K, Sampaio M, Dervin G. Patellar maltracking: an update on the diagnosis and treatment strategies. Insights Imaging. 2019 Jun 14;10(1):65.
43. Carrillon Y, Abidi H, Dejour D, Fantino O, Moyen B, Tran-Minh VA. Patellar instability: assessment on MR images by measuring the lateral trochlear inclination-initial experience. Radiology. 2000 Aug;216(2):582-5.
44. Walker C, Cassar-Pullicino VN, Vaisha R, McCall IW. The patello-femoral joint a critical appraisal of its geometric assessment utilizing conventional axial radiography and computed arthro-tomography. Br J Radiol. 1993 Sep;66(789):755-61.
45. Jibri Z, Martin D, Mansour R, Kamath S. The association of infrapatellar fat pad oedema with patellar maltracking: a case-control study. Skeletal Radiol. 2012 Aug;41(8):925-31.
46. Wolfe S, Varacallo M, Thomas JD, Carroll JJ, Kahwaji CI. Patellar instability. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 Jan. 2023 Sep 4.
47. Santiago FR, Calvo RP, Lopez JA, Alvarez LG, Garcia MdMC. T2 mapping in patellar chondromalacia. Eur J Radiol. 2014 Jun;83(6):984-988.

48. Subhawong TK, Thakkar RS, Padua A, Flammang A, Chhabra A, Carrino JA. Patellofemoral friction syndrome: MRI correlation of morphologic and T2 cartilage imaging. J Comput Assist Tomogr. 2014 Mar-Apr;38(2):308-12.
49. Waryasz GR, McDermott AY. Patellofemoral pain syndrome (PFPS): a systematic review of anatomy and potential risk factors. Dyn Med. 2008 Jun 26:7:9.
50. Kalichman L, Zhang Y, Niu J, Goggins J, Gale D, Felson DT, et al. The association between patellar alignment and patellofemoral joint osteoarthritis features-an MRI study. Rheumatology (Oxford). 2007 Aug;46(8):1303-8.
51. Roos EM, Arden NK, Strategies for the prevention of knee osteoarthritis. Nat Rev Rheumatol. 2016 Feb;12(2):92-101.
52. Kijowski R, Blankenbaker DG, Munoz Del Rio A, Baer GS, Graf BK. Evaluation of the articular cartilage of the knee joint: value of adding a T2 mapping sequence to a routine MR imaging protocol. Radiology. 2013 May;267(2):503-13.
53. van Middelkoop M, Macri EM, Eijkenboom JF, et al. Are patellofemoral joint alignment and shape associated with structural magnetic resonance imaging abnormalities and symptoms among people with patellofemoral pain?. Am J Sports Med. 2018 Nov; 46(13): 3217–3226.
54. Gürsoy M, Dirim Mete B, Oyar O, Erdoğan N, Uluç ME, Bulut T, et al. The association of patellar maltracking with infrapatellar fat pad edema and chondromalacia patella: A quantitative morphological magnetic resonance imaging analysis. Turk J Phys Med Rehab. 2018 Sep; 64(3): 246–252.
55. Li J, Sheng B, Yu F, Guo C, Lv F, Lv F, et al. Quantitative magnetic resonance imaging in patellar tendon-lateral femoral condyle friction syndrome: relationship with subtle patellofemoral instability. Skeletal Radiol. 2019 Aug;48(8):1251-1259.
56. Liao TC, Pedoia V, Link TM, Majumbar S, Souza RB. Association of patella alignment with cartilage relaxation times and self-reported symptoms in individuals with patellofemoral degeneration. J Orthop Res. 2023 Mar;41(3):562-569.
57. Kim HK, Shiraj S, Kang CH, Anton C, Kim DH, Horn PS. Patellofemoral instability in children: Correlation between risk factors, injury patterns, and severity of cartilage damage. AJR Am J Roentgenol. 2016 Jun;206(6):1321-8.
58. Türkmen İ, Işık Y. Association between patellofemoral congruence and patellofemoral chondropathy in patients with anterior knee pain: A T2 mapping knee MRI study. Eklem Hastalik Cerrahisi. 2018 Aug;29(2):93-9.
59. Kim JH, Lee SK, Jung JY. Superolateral Hoffa's fat pad oedema: Relationship with cartilage T2* value and patellofemoral maltracking. Eur J Radiol. 2019 Sep:118:122-129.
60. Elias JJ, Jones KC, Lalonde MK, Gabra JN, Rezvanifar SC, Cosgarea AJ. Allowing one quadrant of patellar lateral translation during medial patellofemoral ligament reconstruction successfully limits maltracking without overconstraining the patella. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2018 Oct;26(10):2883-2890.
61. Ghany JF, Kamel S, Zoga A, Farrell T, Morrison W, Belair J, et al. Extensor mechanism tendinopathy in patients with lateral patellar maltracking. Skeletal Radiol. 2021 Nov;50(11):2205-2212.
62. Fulkerson JP. Disorders of the patellofemoral joint. 4th ed. Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins; 2004. p. 239–53.

63. Liu F, Chaundhary R, Block WF, Samsonov A, Kijowski R. Multicomponent T_2 analysis of articular cartilage with synovial fluid partial volume correction. J Magn Reson Imaging. 2016 May; 43(5): 1140–1147.
64. Bydder M, Rahal A, Fullerton GD, Bydder GM, The magic angle effect: a source of artifact, determinant of image contrast, and technique for imaging. J Magn Reson Imaging. 2007 Feb;25(2):290-300.