



T.C. SAĞLIK BAKANLIĞI
ANTALYA
İL SAĞLIK MÜDÜRLÜĞÜ
Sağlık Bilimleri Üniversitesi
Antalya Eğitim ve Araştırma Hastanesi

T.C. SAĞLIK BİLİMLERİ ÜNİVERSİTESİ
ANTALYA SAĞLIK UYGULAMA VE ARAŞTIRMA MERKEZİ
ORTOPEDİ VE TRAVMATOLOJİ KLİNİĞİ

PATELLOFEMORAL İNSTABİLİTESİ MEVCUT DİSPLASTİK HASTA
GRUPLARI VE NORMAL POPÜLASYONDA SCHOTTLE TEKNİĞİ'NİN
DOĞRULUK ORANLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Dr. Yusuf ÇAKIR

TIPTA UZMANLIK TEZİ

ANTALYA 2025



T.C. SAğLIK BAKANLIğI
ANTALYA
İL SAğLIK MÜDÜRLÜğÜ
Sağlık Bilimleri Üniversitesi
Antalya Eğitim ve Araştırma Hastanesi

T.C. SAğLIK BİLİMLERİ ÜNİVERSİTESİ
ANTALYA SAğLIK UYGULAMA VE ARAşTIRMA MERKEZİ
ORTOPEDİ VE TRAVMATOLOJİ KLİNİğİ

PATELLOFEMORAL İNSTABİLİTESİ MEVCUT DİSPLASTİK HASTA
GRUPLARI VE NORMAL POPÜLASYONDA SCHOTTLE TEKNİğİ'NİN
DOğRULUK ORANLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Dr. Yusuf ÇAKIR

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Özkan KÖSE

TIPTA UZMANLIK TEZİ

ANTALYA 2025

TEŞEKKÜR

Uzmanlık eğitimim süresince mesleki deneyimlerini benimle paylaşan, yalnızca cerrahi becerileriyle değil, aynı zamanda bilimsel ve akademik duruşuyla da her zaman örnek aldığım; iyi bir hekim olmanın sorumluluk ve ilkelerini bana aktaran, tez çalışmamın her aşamasında değerli katkılarda bulunan hocam Prof. Dr. Özkan Köse'ye,

Cerrahi disiplini, tutarlı yaklaşımı ve mesleki rehberliğiyle gelişimimde önemli rol oynayan; her türlü zorlukta desteğini hissettiren, mesleki kararlılığımı sürdürmemde bana güç veren değerli hocam Doç. Dr. Ali Bülent Baz'a ,

Eğitim sürecim boyunca akademik ve cerrahi açıdan bilgi ve tecrübeleriyle her zaman desteklerini esirgemeyen Doç. Dr. Ömer Faruk Kılıçaslan ve Doç. Dr. Aliekber Yapar'a, ayrıca çalışma süresi boyunca etik değerlere bağlılığı, insan ilişkilerindeki tutumu ve mesleki titizliğiyle örnek aldığım başasistanımız Doç. Dr. Ömer Faruk Eğerci'ye,

Asistanlık sürecim boyunca bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, samimi ve yapıcı tutumlarıyla her zaman destek olan Op. Dr. İbrahim Etli, Op. Dr. Hasan Serdar Çelebi ve Op. Dr. Fırat Doğruöz'e teşekkür ederim.

Ayrıca yoğun çalışma temposunu birlikte paylaştığım, iş birliği ve dayanışmalarıyla bu zorlu süreci daha anlamlı hale getiren tüm asistan arkadaşlarıma içtenlikle teşekkür ederim.

Tıp ve uzmanlık eğitimim boyunca her koşulda yanımda olan, fedakârlıkları ve destekleriyle bu sürecin en büyük mimarlarından olan kıymetli aileme ve yoğun çalışma sürecimde sabrı, anlayışı ve desteğiyle her zaman yanımda olan sevgili eşim Aslı Çakır'a sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET.....	v
ABSTRACT	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
TABLOLAR DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1. PATELLOFEMORAL EKLEM ANATOMİSİ VE STABİLİZASYONU.....	4
2.1.1. Statik Stabilizatörler.....	4
2.1.1.1. Kemik Yapılar.....	4
2.1.1.2. Patellar Tendon	6
2.1.1.3. Lateral Retinakulum.....	6
2.1.1.4. Medial Retinakulum.....	7
2.1.2. Dinamik Stabilizatörler	8
2.1.3. Alt Ekstremitte Dizilimi	9
2.2. PATELLOFEMORAL EKLEM BİYOMEKANİĞİ	9
2.2.1. Patellanın Mekanik Rolü.....	10
2.2.2. Patellofemoral Temas Kuvveti ve Basıncı.....	10
2.2.3. Eklem İzlemi (Tracking).....	11
2.2.4. Q Açısı ve Kuvvet Vektörleri	11
2.2.5. Fleksiyon Açısı ile Temas Alanı İlişkisi	12
2.3. PATELLOFEMORAL İNSTABİLİTE	13
2.3.1. Etiyoloji ve Patogenez	14

2.3.2. Klinik Değerlendirme.....	15
2.3.3. Sınıflandırma ve Değerlendirme Sistemleri.....	15
2.3.4. Tedavi ve Yaklaşım	15
2.3.5. Uzun Dönem Sonuçlar ve Komplikasyonlar	16
2.4. PATELLOFEMORAL EKLEMDE GÖRÜNTÜLEME YÖNTEMLERİ	16
2.4.1. Direkt Grafiler.....	17
2.4.2. Bilgisayarlı Tomografi (BT)	17
2.4.3. Manyetik Rezonans Görüntüleme (MRG).....	18
2.4.4. Ultrasonografi	19
2.4.5. Dinamik ve Fonksiyonel Görüntüleme Yöntemleri.....	19
2.4.6. Ölçümler ve Klinik Rehberlik Açısından Önemi.....	19
2.5. PATELLOFEMORAL EKLEMDE ÖNEMLİ CERRAHİ YAPILAR	20
2.5.1. Patella.....	20
2.5.2. Femoral Troklea	20
2.5.3. Medial Patellofemoral Ligament (MPFL)	21
2.5.4. Lateral Retinakulum.....	21
2.5.5. Vastus Medialis Obliquus (VMO)	21
2.5.6. Tibial Tüberkül.....	22
2.5.7. Hoffa Yağ Yastığı (Infrapatellar Fat Pad).....	22
2.5.8. Nörovasküler Yapılar	22
2.6. MPFL REKONSTRÜKSİYONU	23
2.6.1. Endikasyonlar.....	23
2.6.2 Cerrahi Teknikler	23
2.6.3. Postoperatif Rehabilitasyon	25
2.6.4. Komplikasyonlar	25
2.6.5. Literatür Bilgisi ve Klinik Sonuçlar.....	25

3.GEREÇ VE YÖNTEM	26
3.1. HASTA GRUPLARI VE ÇALIŞMA TASARIMI.....	26
3.2. ÖRNEKLEM BÜYÜKLÜĞÜNÜN HESAPLANMASI.....	27
3.3. 3 BOYUTLU (3-D) BASKI MODEL ÜRETİMİ.....	27
3.4. 3-D BASKI MODELLERDE MPFL FEMORAL YAPIŞMA YERİNİN BELİRLENMESİ.....	30
3.5. FLOROSKOPİ TEKNİĞİ VE GÖRÜNTÜLEME	31
3.6. DİJİTAL FLOROSKOPİK GÖRÜNTÜLERDE RADYOLOJİK ÖLÇÜMLER	34
3.7. İSTATİSTİKSEL ANALİZ	36
4. BULGULAR.....	37
4.1 DEMOGRAFİK VE RADYOLOJİK ÖZELLİKLER.....	37
4.2. ÖLÇÜMLERİN GÜVENİLİRLİĞİ.....	39
4.3. SCHOTTLE TEKNİĞİ'NİN GÜVENİLİRLİĞİ.....	40
4.4. DEJOUR SINIFLAMASI VE SUPRAPATELLAR ÇIKINTI(BUMP) YÜKSEKLİĞİNE GÖRE SONUÇLAR.....	41
5. TARTIŞMA	44
6.LİMİTASYONLAR.....	47
7.SONUÇ	48
8.KAYNAKLAR	49

ÖZET

Amaç: 3D baskı ile hazırlanmış kemik modelleri kullanarak troklear displazisi mevcut ve normal morfolojik yapıdaki femurlarda medial patellofemoral ligamentin (MPFL) femoral yapışma yerini lokalize etmede Schöttle tekniğinin doğruluğunu değerlendirmek.

Gereç ve Yöntemler: Troklear displazisi mevcut (n = 21) ve normal morfolojide (n = 23) hastaların Bilgisayarlı Tomografi taramalarından üretilen 44 adet 3D yazdırılmış distal femur modeli analiz edildi. Anatomik MPFL yerleşimi *saddle sulcus* kullanılarak tanımlandı ve radyoopak bir referansla işaretlendi. Tam lateral floroskopik görüntüler elde edildi ve Schöttle noktası standart radyografik kriterler kullanılarak belirlendi. Schöttle noktası ile anatomik femoral yapışma yeri arasındaki mesafe ölçüldü. >5 mm ve >7 mm sapmalar klinik olarak kabul edilemez olarak tanımlandı. Alt grup analizi Dejour sınıflandırmasına göre yapıldı.

Bulgular: Displazik grupta Schöttle noktası ile anatomik yapışma yeri arasındaki ortalama mesafe $4,4 \pm 2,0$ mm ve kontrol (normal) grupta $4,2 \pm 2,4$ mm olarak görüldü (p = 0,862). Klinik olarak kabul edilebilir yerleşimlerin oranının 5 mm (66,7%- %60,9) veya 7 mm (85,7%- %82,6,) eşik değerlerinde önemli ölçüde farklılık göstermediği görüldü. Doğruluk ve sapma oranları Dejour sınıflamasına göre yapılan displazi dereceleri arasında benzer olarak görüldü (p = 0,477).

Sonuçlar: Schöttle tekniği hem displazik hem de displazik olmayan femurlarda MPFL femoral yapışma yerini belirlemede karşılaştırılabilir doğruluk oranlarını sağlar. Troklear displazinin varlığı veya boyutu lokalizasyon doğruluğunu önemli ölçüde etkilememiştir

Anahtar kelimeler: Medial Patellofemoral Ligament Rekonstrüksiyonu; Troklear Displazi, Schöttle Tekniği, Floroskopi, 3D Baskı

ABSTRACT

Purpose: To evaluate the accuracy of the Schöttle technique in localizing the femoral footprint of the medial patellofemoral ligament (MPFL) in femurs with and without trochlear dysplasia using 3D printed bone models and standardized fluoroscopic imaging. **Methods:** Forty-four 3D-printed femoral models derived from CT scans of patients with trochlear dysplasia (n = 21) and normal morphology (n = 23) were analyzed. The anatomic MPFL insertion was defined using the saddle sulcus and marked with a radiopaque reference. True lateral knee fluoroscopic images were obtained, and the Schöttle point was identified using standard radiographic criteria. The distance between the Schöttle point and the anatomic footprint was measured. Deviations >5 mm and >7 mm were defined as clinically unacceptable. Subgroup analysis was performed according to Dejour classification.

Results: The mean distance between the Schöttle point and the anatomic footprint was 4.4 ± 2.0 mm in the dysplasia group and 4.2 ± 2.4 mm in the control group ($p = 0.862$). The proportion of clinically acceptable placements did not differ significantly at the 5 mm (66.7% vs. 60.9%, $p = 0.467$) or 7 mm (85.7% vs. 82.6%, $p = 0.553$) thresholds. Accuracy was also similar across dysplasia grades ($p = 0.477$).

Conclusions: The Schöttle technique yields comparable accuracy in identifying the MPFL footprint in both dysplastic and non-dysplastic femora. Neither the presence nor the severity of trochlear dysplasia significantly affected localization accuracy.

Clinical Relevance: The Schöttle technique remains a reliable method for femoral tunnel placement in MPFL reconstruction, even in the presence of high-grade trochlear dysplasia.

Keywords: Medial Patellofemoral Ligament Reconstruction; Trochlear Dysplasia; Schöttle Technique; Fluoroscopy, 3D Printing

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

MPFL: Medial Patellofemoral Ligament

MPFLR: Medial Patellofemoral Ligament Rekonstrüksiyonu

MPTL: Medial Patellotibial ligament

MPML: Medial Patellomeniskal ligament

SS(SD): Standart Sapma(Standart Deviation)

BT: Bilgisayarlı Tomografi

3D: Üç Boyutlu

PLA: Polilaktik Asit

DICOM: Tıpta Dijital Görüntüleme ve Bağlantı

AT: Adduktor Tüberkülü

ME: Medial Epikondil

MGT: Medial Gastroknemius Tüberkülü

TT-TG: Tibial tüberkül -Troklear oluk mesafesi

TT-PCL: Tibial Tüberkülü-Arka Çapraz Bağ

ICC: Sınıf İçi Korelasyon Katsayısı

BMI: Vücut Kitle İnde

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Patellofemoral eklem diz fleksiyon derecelerinde temas eden Eklem yüzleri.....	5
Şekil 2.2. Dejour Displazi Sınıflaması	5
Şekil 2.3. Patellar Tendonun Lateralizasyonu	6
Şekil 2.4. MPFL Femoral Yapışma Noktası	7
Şekil 2.5 Medial Retinakulum Anatomisi.....	8
Şekil 2.6. Patellar Q açısının ölçümü	9
Şekil 2.7. Patellofemoral eklem temas alanının basınca göre değişimi.....	12-13
Şekil 3.1. 3D Baskı Modellerin Üretim Süreci	29
Şekil 3.2. MPFL Femoral Anatomik Yapışma Yerinin İşaretlenmesi.....	31
Şekil 3.3. Floroskopik Görüntüleme Sistemi	33
Şekil 3.4. Şekil 3.4-Fluroskopik görüntüler üzerinde Schottle noktaları ve MPFL anatomik yapışma noktaları arası mesafelerin hesaplanması...	35
Şekil 4.1. 3D Modellerde MPFL Yapışma Noktalarının Dağılımı	41
Şekil 4.2 Mid-sagittal kesitte suprapatellar çıkıntı(spur)ölçüm tekniği...	43

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1. Hastaların demografik ve radyolojik özellikleri.....38

**Tablo 2. Radyolojik Ölçümlerin Gözlemciler İçi ve Gözlemciler Arası
Güvenilirliği39**

**Tablo 3. Gruplar Arası Ölçümlerin ve Kabul Edilebilir Kriterlerin
Karşılaştırılması40**

**Tablo 4. Dejour Tiplerine Göre MPFL Yapışma yeri ile Schottle
Noktaları Arası Mesafenin Karşılaştırılması.....42**

**Tablo 5. İki farklı troklear çıkıntı kriterine (5 mm ve 7 mm) dayalı
kabul edilebilir ve kabul edilemez sonuçlar arasındaki supratroklear
çıkıntı yüksekliğinin karşılaştırılması.....43**

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Patella, diz eklemi mekanizmasında önemli bir rol oynayan ve femoral olukla eklem yapan sesamoid bir kemiktir. Kuadriseps (*Quadriceps*) kasının kuvvet kolunu uzatarak kasın mekanik etkinliğini artırır ve dizin ekstansiyon hareketine katkıda bulunur. Patellanın dizin fleksiyon ve ekstansiyon hareketleri esnasında anatomik pozisyonunu koruyabilmesi, dört temel faktöre bağlıdır: alt ekstremitenin genel mekaniği ve dizilimi, patellofemoral eklem yüzeylerinin morfolojisi, dinamik kas kuvvet dengesi ve çevresindeki statik yumuşak doku yapıları (özellikle bağ dokuları) (1).

Patellofemoral instabilite (PFİ), bu faktörlerin herhangi birindeki bozulmaya bağlı olarak gelişen ve sıklıkla genç, aktif bireylerde rastlanan bir klinik durumdur. İlk kez patella çıkığı yaşayan hastaların yaklaşık %69'unun adölesan dönem bireyleri olduğu gösterilmiştir; ayrıca kadınlarda bu durum erkeklere göre daha yaygın olarak gözlenmektedir. Genel popülasyonda primer PFİ insidansı 100.000 kişide yaklaşık 5,8 olarak bildirilmişken, bu oran 10-17 yaş arası bireylerde 100.000'de 29'a kadar çıkmaktadır (2).

Medial patellofemoral ligament (MPFL), patellanın lateral dislokasyonunu sınırlayan ve stabilitesini sağlayan en önemli yumuşak doku yapısıdır. Tekrarlayan patellar dislokasyonlarda en sık karşılaşılan yumuşak doku yaralanması MPFL'deki yapısal yetmezliktir (3). Literatürde, ilk çıkık sonrası uygulanan manyetik rezonans görüntüleme (MRG) ve cerrahi eksplorasyon bulgularına göre, MPFL lezyonları neredeyse tüm vakalarda rapor edilmiştir (4,5). 2020 yılında Kluczynski ve ekibi tarafından yayımlanan sistematik derleme ve meta-analizde 2.558 hastayı kapsayan 35 çalışmada, vakaların %94,7'sinde MPFL rüptürü tespit edilmiştir (6). Biyomekanik analizler de MPFL'nin patellanın lateral yöndeki aşırı hareketine karşı %53 ila %60 oranında sınırlayıcı güç sağladığını göstermektedir. Aynı zamanda biyomekanik çalışmalar, doğal MPFL'nin 0° ile 110° diz fleksiyon açısı arasında büyük oranda izometrik özellik gösterdiğini ortaya koymuştur (7-8)

İlk defa patella çıkığı yaşayan hastalarda ek yapısal hasar (örneğin kırıkda lezyonları, serbest intraartiküler cisimler) mevcut değilse, öncelikli olarak konservatif tedavi uygulanmaktadır (9-10). Ancak tekrarlayan çıkık öyküsü olanlar ya da ilk çıkık sonrası ileri kondral hasar veya yüksek risk faktörleri bulunan bireylerde cerrahi müdahale gündeme gelmektedir.

MPFL rekonstrüksiyonu (MPFLR), yetersiz kalan MPFL fonksiyonunu restore etmeye yönelik en sık tercih edilen cerrahi yaklaşımdır. Ancak tedavi planı bireyselleştirilmeli ve eşlik eden anatomik varyasyonlar ya da instabiliteye katkıda bulunan diğer risk faktörleri göz önünde bulundurulmalıdır.

Medial patellofemoral ligament (MPFL) rekonstrüksiyonu, bu bağ yapısının patellanın stabilitesini sağlamadaki temel biyomekanik işlevi nedeniyle, patellofemoral instabilite tedavisinde öncelikli cerrahi yöntem olarak yaygın şekilde tercih edilmektedir (11). Her ne kadar MPFL rekonstrüksiyonu teknik olarak görece basit bir prosedür gibi görünse de, cerrahi başarı için yüksek dikkat gerektiren pek çok önemli teknik ayrıntı barındırır. Özellikle femoral yerleşim bölgesinin anatomik olarak doğru şekilde tespit edilmesi, greftin uygun gerginlikte ve izometrik yerleşiminin sağlanması, başarılı sonuç elde edilmesinde belirleyici unsurlar arasında yer alır. Yapılan araştırmalar, femoral tünelin hatalı konumlandırılmasının; tekrarlayan instabiliteye, patellofemoral biyomekanikte bozulmalara, greftin başarısızlık riskinde artışa ve komplikasyon oranlarının yükselmesine neden olabileceğini ortaya koymuştur (12-13).

Bu cerrahide en sık kullanılan yöntemlerden biri olan Schöttle tekniği, intraoperatif olarak MPFL'nin femoral yerleşim noktasının tespitinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu teknik, floroskopik görüntüler üzerinde posterior kortikal çizgi, Blumensaat hattı ve medial epikondilin proksimal uzanımı gibi aksenal radyolojik referans noktalarının belirlenmesine dayanarak femoral tünelin yönlendirilmesini sağlar (14).

Her ne kadar Schottle tekniği klinik uygulamada yaygın şekilde kullanılmakta olsa da, bu yöntem esasen normal femoral anatomiye sahip yalnızca 8 adet kadavra modelinden elde edilen radyolojik belirleyici noktalar temel alınarak geliştirilmiştir

(15). Bu durum, özellikle patellofemoral instabilite ile sıkça ilişkili olan troklear displazisi bulunan bireylerde yöntemin güvenilirliği konusunda ciddi soru işaretleri doğurmaktadır. Troklear displazi; posterior femoral korteks, adduktor tüberkül gibi kritik kemik referans noktalarının yapısını bozabilen ya da bu yapıların görünürlüğünü azaltabilen morfolojik deformitelerle karakterizedir.

Bu yapısal değişiklikler, geleneksel floroskopik lokalizasyon yöntemlerinin doğruluğunu olumsuz yönde etkileyebilir.

Güncel araştırmalar, bu tür displazik olgularda Schottle yönteminin anatomik doğruluğunu sorgulamakta; özellikle ileri derecede displazi vakalarında, MPFL'nin gerçek femoral yerleşim noktasını yansıtmakta yetersiz kaldığını bildirmektedir (16-17). Söz konusu çalışmalar genellikle 3 boyutlu bilgisayarlı tomografi (3D-BT) verilerine dayalı sanal radyolojik modeller aracılığıyla gerçekleştirilmiş olup, invaziv girişimlere gerek kalmadan değerli anatomik veriler sunmaktadır. Ancak, bu çalışmaların çoğunda doğrudan diseksiyon veya intraoperatif doğrulama yapılmamış olması, elde edilen bulguların genel geçerliliğini sınırlamaktadır. Ayrıca, troklear displaziyi temsil eden kadavra örneklerinin teminindeki zorluklar, bu hasta grubuna yönelik yüksek kaliteli anatomik araştırmaların sınırlı kalmasına neden olmaktadır.

Bu bağlamda, sanal modelleme yöntemleri kontrollü ve tekrarlanabilir analizler için avantaj sunarken, klinik uygulamaya aktarılabilirliğin artırılması amacıyla daha kapsamlı validasyon çalışmalarına gereksinim duyulmaktadır. Mevcut sınırlamaları aşmak adına, bu çalışmada hem normal hem de displazik femur morfolojisini temsil eden 3D yazıcı ile oluşturulmuş femur modelleri kullanılmış ve Schottle tekniğinin farklı anatomik varyasyonlarda doğruluğu daha detaylı ve karşılaştırmalı biçimde değerlendirilmiştir. Çalışmanın temel amacı, Schottle tekniğinin normal femur yapısına kıyasla displazik femurlarda MPFL yerleşimini ne derece doğru belirleyebildiğini araştırmaktır. Bu kapsamda ortaya konan hipotez, söz konusu yöntemin troklear displazili femurlarda anatomik MPFL ataşman noktasını doğru bir şekilde saptamakta yetersiz kalacağı ve bu sapmanın displazinin ciddiyetiyle doğru orantılı olarak artacağı yönündedir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. PATELLOFEMORAL EKLEM ANATOMİSİ VE STABİLİZASYONU

Patellofemoral eklem, patella ile femur distal ucu arasındaki eklemleşmeyi ifade eder ve diz eklemi bütünlüğü içinde önemli bir yer tutar. Patella, kuadriseps femoris kas grubunun içerisinde gelişen susamsı (sesamoid) bir kemik olup, bu kasın tendonu aracılığıyla eklem mekaniğine doğrudan etki eder. Patellofemoral eklem, özgün bir eklem kapsülüne sahip olmaması nedeniyle bağımsız bir eklem olarak sınıflandırılmamakta, ancak fonksiyonel olarak diz eklemi biyomekaniğinde kritik bir rol oynamaktadır. Patella ve femur arasındaki uyum, özellikle diz fleksiyonu sırasında optimal yük aktarımı ve eklem stabilitesi açısından son derece önemlidir.

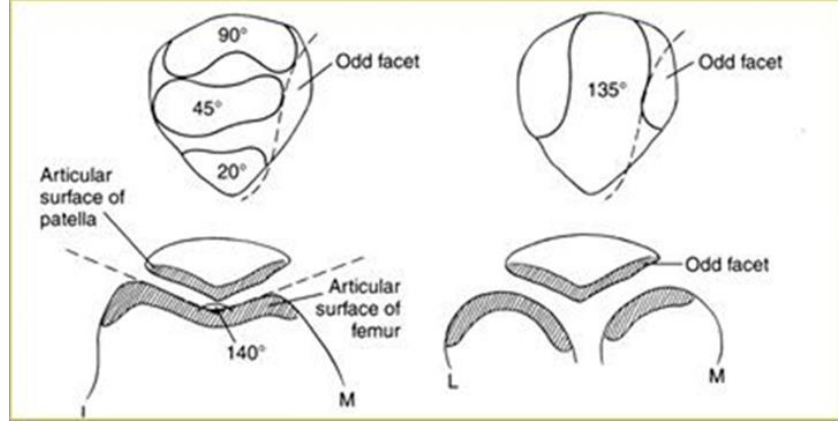
Patellofemoral stabilite, eklem yüzeylerinin morfolojik uyumuna, çevresel bağ yapılarının bütünlüğüne ve kuadriseps kas grubunun kontrolüne bağlı olarak şekillenir. Bu yapıların herhangi birinde ortaya çıkan bozulma veya anatomik varyasyon, patellar instabiliteye yol açabilir. Patellar instabilite, tekrarlayan subluksasyon ataklarından, tam dislokasyonlara kadar geniş bir yelpazede klinik bulgularla karşımıza çıkabilir.

2.1.1. Statik Stabilizatörler

Statik stabilizatörler, pasif direnç sağlayarak patellanın yerinde kalmasını destekleyen anatomik yapılardır. Bu yapılar aşağıdaki başlıklar altında incelenebilir:

2.1.1.1. Kemik Yapılar

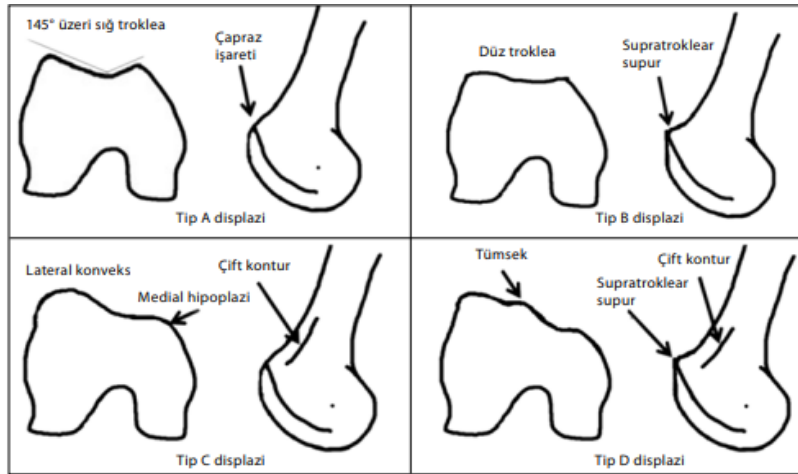
Patella, diz eklemde mekanik avantaj sağlayan bir kemiktir. Yapısal olarak spongiöz kemik dokusundan oluşmuş olup, yüzeyi kompakt kemikle örtülüdür. Patellanın arka yüzünde yer alan ve troklear olukla eklemleşen kıkırdak yüzey, vücuttaki en kalın eklem kıkırdağıdır.



Şekil 2.1. Patellofemoral eklem diz fleksiyon derecelerinde temas eden eklem yüzleri

Medial yüzey, lateral yüzeye göre daha kalın kıkırdak yapısına sahiptir(18). Patella arka yüzünde yer alan eklem yüzü, yedi farklı fasetten oluşur: medial, lateral ve odd fasetler bunların en bilinenleridir. Diz fleksiyonu sırasında farklı fasetlerin femur troklear oluşuyla temas etmesi, yük dağılımı açısından önemlidir. Patella *m. Quadriceps* kasının tendonunun kuvvet kolunu uzatarak ekstansiyon gücünü artırır. Patellanın bu anatomik detayları Şekil 2.1’de gösterilmiştir.

Femoral troklear oluk, patellanın oturduğu ve hareket ettiği ana kemik yapıdır. Trokleanın lateral faseti, medial fasete göre daha belirgin olup patellanın lateral yönde kaçmasını engelleyen doğal bir bariyer görevi görür. Troklear displazi gibi yapısal bozukluklarda, bu oluk yüzeyinin sığlaşması ya da düzleşmesi patellar instabilite riskini artırır(19) (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Dejour displazi sınıflandırması

2.1.1.2. Patellar Tendon

Patellar tendon, kuadriseps tendonu ile tibial tüberkül arasında uzanan güçlü fibröz bir yapıdır. Tendonun uzunluğu ve açılma derecesi, patellanın vertikal yerleşimini belirler. Patella baja (aşağı yerleşimli patella) ya da patella alta (yüksek yerleşimli patella) gibi varyasyonlar, patellanın troklear olukla temas aralığını etkileyerek instabiliteye katkıda bulunabilir(20). Ayrıca tibial tüberkülün lateral yerleşimi de, patella üzerindeki lateral çekme kuvvetini artırarak patellanın düzgün izleminden sapmasına neden olabilir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Patellar tendonun tibial yapışma yerinin lateralizasyonu

2.1.1.3. Lateral Retinakulum

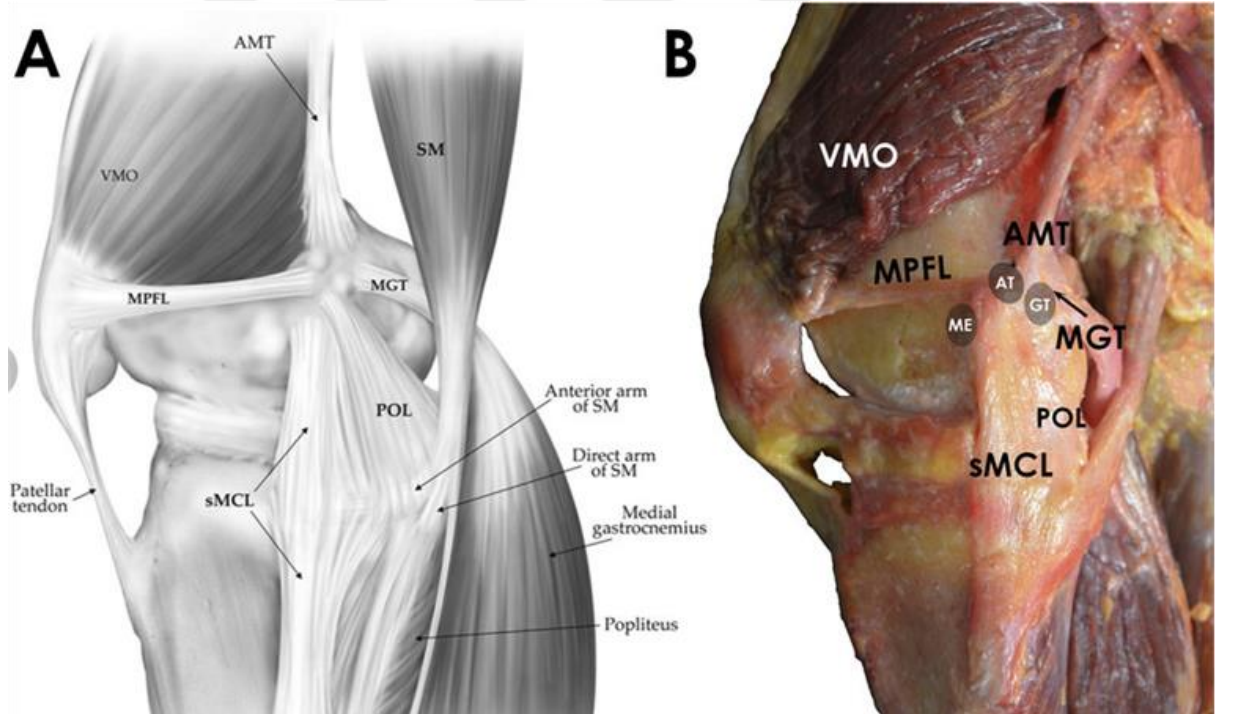
Lateral retinakulum, patellanın lateralinde yer alan ve onu destekleyen fibröz dokulardan oluşur. Bu yapı yüzeysel ve derin tabakaya ayrılır. Yüzeysel tabaka, iliotalban banttandan kaynaklanan ve patellanın lateral kenarına uzanan lifleri içerir. Derin tabaka ise lateral patellofemoral ligament, patellofibial ligament ve patellofemoral ligament gibi yapıları barındırır. Bu yapılar patellanın medial kaymasını sınırlayan pasif destek unsurlarıdır. Lateral retinakular yapıların yaklaşık %22 oranında patellofemoral stabilizasyona katkı sağladığı gösterilmiştir (21).

2.1.1.4. Medial Retinakulum

Patellanın medial stabilitesinden sorumlu olan bu yapı, özellikle lateral çıkıklara karşı koruyucu görev üstlenir. En önemli bileşeni Medial Patellofemoral Ligament (MPFL)'dir.

MPFL, patellanın medial üst kenarından çıkarak femurun medial epikondil çevresine tutunur. Yaklaşık 59 mm uzunluğunda olan bu yapı, dizin ilk 30° fleksiyonunda patellayı troklear oluk içinde tutan ana yumuşak doku stabilizatörüdür.

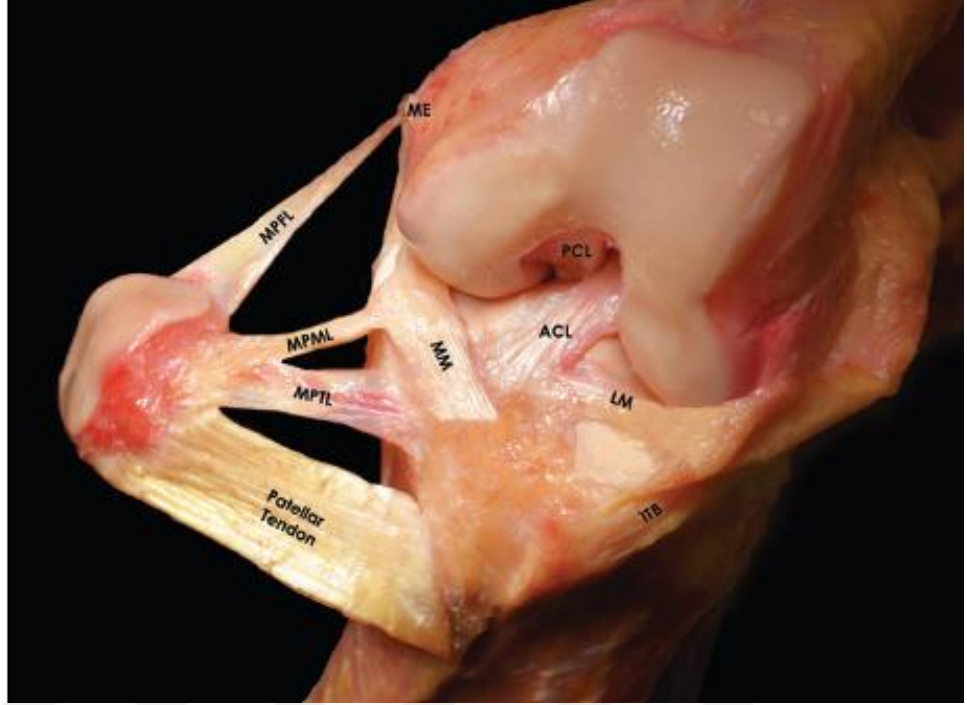
MPTL ve MPML gibi yapılar da MPFL'e destek verir. MPFL'nin femoral tutunma noktası, addüktör tüberkülün hemen distalinde ve medial femoral kondilin posteriorunda yer alır. (Şekil 2.4 ve Şekil 2.5)



Şekil 2.4. MPFL femoral yapışma yerinin anatomik komşulukları

VMO: Vastus medialis obliquus, AMT(AT): Addüktör tüberkül, MGT: Gastrokinemiusun medial başı, POL: Posterior oblik ligament, MCL: Medial koletaral ligament

(Bu resim LaPrade RF, Engebretsen AH, Ly TV, Johansen S, Wentorf FA, Engebretsen L. Dizin medial kısmının anatomisi. J Kemik Eklem Cerrahisi. 2007 Eylül; 89[9]:2000-10)



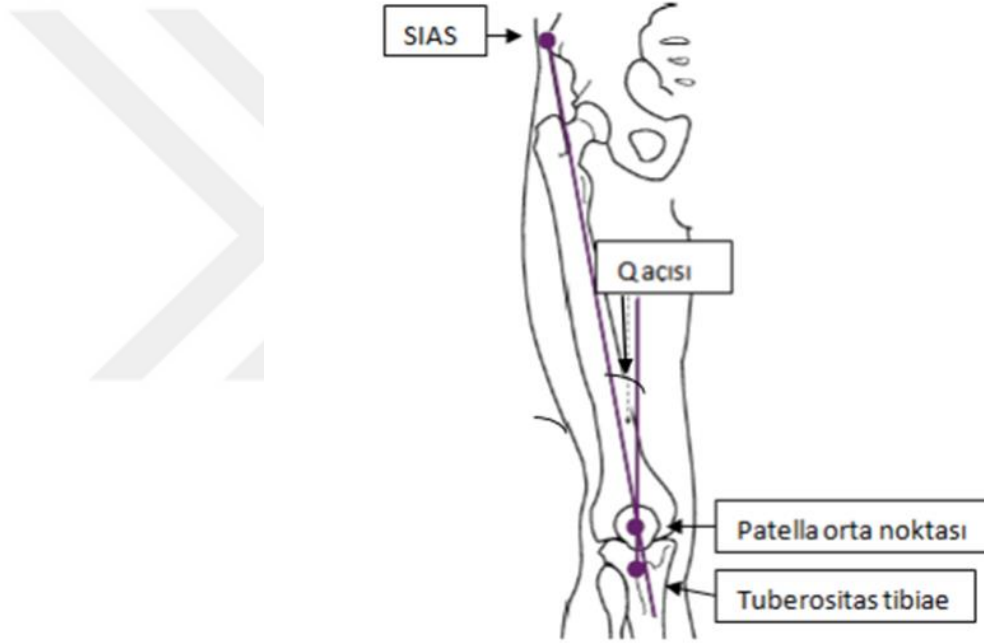
Şekil 2.5. Medial retinakulum anatomisi. ME: Medial epikondil, MCL: Medial kollateral, AT: Addüktör tüberkülüm, MPFC: Medial patellofemoral complex, MPML: Medial patellomeniskial ligament, MPTL: Medial patellotibial ligament (Bu resim Tanaka, M.J., Chahla, J.A. (2020). Medial Patellofemoral Anatomy: Surgical Implications in Patellofemoral Instability alıntılanmıştır)

2.1.2. Dinamik Stabilizatörler

Patellofemoral eklemden dinamik stabiliteyi sağlayan en önemli yapı kuadriseps kas grubudur. Bu kas grubunun özellikle vastus medialis obliquus (VMO) bölümü, patellanın medialine çekici kuvvet uygulayarak laterale kaçmayı önleyen temel dinamik stabilizatördür (22). VMO, kuadriseps kasının mediale yerleşmiş oblik liflerinden oluşur ve dizin ekstansiyonu sırasında patellanın hareket aksını yönlendirir.

2.1.3. Alt Ekstremitte Dizilimi

Patellar stabilite sadece lokal yapılarla sınırlı değildir; tüm alt ekstremitenin anatomik dizilimi de bu durumu etkiler. Femur anteversiyonunun artması, tibial eksternal rotasyon ya da genu valgum gibi eksen bozuklukları, patella üzerine lateral yönlü kuvvet artışına yol açarak instabiliteye zemin hazırlar. Bu ilişkiler klinik olarak *Q açısı* ile değerlendirilmektedir. *Q açısı*; spina iliaca anterior superior (SIAS) ile patella merkezi ve patella merkezi ile tibial tüberkül arasında kalan açıdır. Kadınlarda bu açının daha geniş olması (erkeklerde 8–14°, kadınlarda 11–20°) PFİ riskini artıran faktörlerdendir (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Patellar Q açısının ölçümü

2.2. PATELLOFEMORAL EKLEM BİYOMEKANİĞİ

Patellofemoral eklem, diz eklemi içerisinde kompleks ve dinamik bir biyomekanik düzen içinde çalışır. Bu sistemin temel amacı, kuadriseps kas grubunun oluşturduğu kuvvetin tibia üzerine etkili bir şekilde aktarılmasını sağlamak, aynı zamanda eklem yüzeyleri arasında yük dağılımını optimize etmektir. Patella, bu süreçte bir kaldıraç görevi görerek kuadrisepsin moment kolunu artırır ve diz

ekstansiyonunda mekanik avantaj oluşturur (23). Eklem yüzeyleri arasındaki temas yüzeyi, fleksiyon derecesine bağlı olarak değişkenlik gösterir; bu da hem yük dağılımını etkiler hem de patellar stabiliteye katkıda bulunur.

2.2.1. Patellanın Mekanik Rolü

Patella, kuadriseps kasının oluşturduğu çekme kuvvetini, patellar tendon üzerinden tibial tüberküle iletir. Bu iletim sırasında patella, kuadrisepsin tibia üzerindeki etkili moment kolunu artırarak daha az kas gücüyle dizin ekstansiyonunu sağlar. Bu özellik, patellayı dizin biyomekanik işlevselliği açısından vazgeçilmez bir yapı hâline getirir. Patella olmadığında, kuadrisepsin oluşturduğu tork %30–50 oranında azalır. Dolayısıyla patellanın mekanik kaldırıcı sadece hareket etkinliğini değil, aynı zamanda enerji verimliliğini de etkiler.

2.2.2. Patellofemoral Temas Kuvveti ve Basıncı

Diz fleksiyonu sırasında kuadriseps kas aktivitesi artar ve bu durum patella ile femur arasındaki temas kuvvetinde belirgin artışa yol açar. Özellikle derin fleksiyonlarda (örneğin çömelme, merdiven inip çıkma gibi hareketlerde) bu kuvvetler önemli düzeylere ulaşabilir. Literatürde, diz fleksiyonu sırasında oluşan patellofemoral eklem kuvvetlerinin vücut ağırlığının 3–7 katına kadar çıktığı bildirilmektedir. Bu nedenle, eklem yüzeyindeki temas alanının yeterli olması ve düzgün bir yük dağılımı büyük önem taşır.

Temas basıncı (yük/alan), patellanın trochlear oluk içindeki konumuna, patellar yüksekliğe, Q açısına ve kuadrisepsin aktivasyon dengesine bağlı olarak değişir.

Yüksek temas basıncı, özellikle medial veya lateral patellar fasetlerde kıkırdak dejenerasyonuna ve kronik anterior diz ağrısına yol açabilir. Bu mekanizmalar, patellofemoral ağrı sendromu ve kondromalazi patella gibi durumların temelinde yer almaktadır.

2.2.3. Eklem İzlemi (Tracking)

Patellanın fleksiyon ve ekstansiyon sırasında femoral troklear oluk içerisindeki hareketine “patellar izleme (tracking)” adı verilir. Normal izleme süreci, patellanın dizin fleksiyonu ile birlikte önce laterale, ardından trochlear olukta medial ve merkezi bir hatta kayarak aşağı doğru ilerlemesini içerir. Bu iz, kas kuvvet dengesi ve kemik yapıların morfolojisiyle doğrudan ilişkilidir.

İzlemedeki bozukluklar (maltracking), patellanın trochlear oluk içinde asimetrik ya da eksantrik hareket etmesine neden olur. En sık görülen formu lateral maltracking'dir ve bu durum sıklıkla MPFL yetersizliği, vastus medialis oblikus (VMO) zayıflığı ya da femur/tibia aksenal rotasyon bozuklukları ile ilişkilidir. Bu tür izleme bozuklukları, diz fleksiyonu sırasında eklem kıkırdağına binen yükü dengesiz hâle getirerek zamanla dejeneratif değişikliklerin gelişimine zemin hazırlar

2.2.4. Q Açısı ve Kuvvet Vektörleri

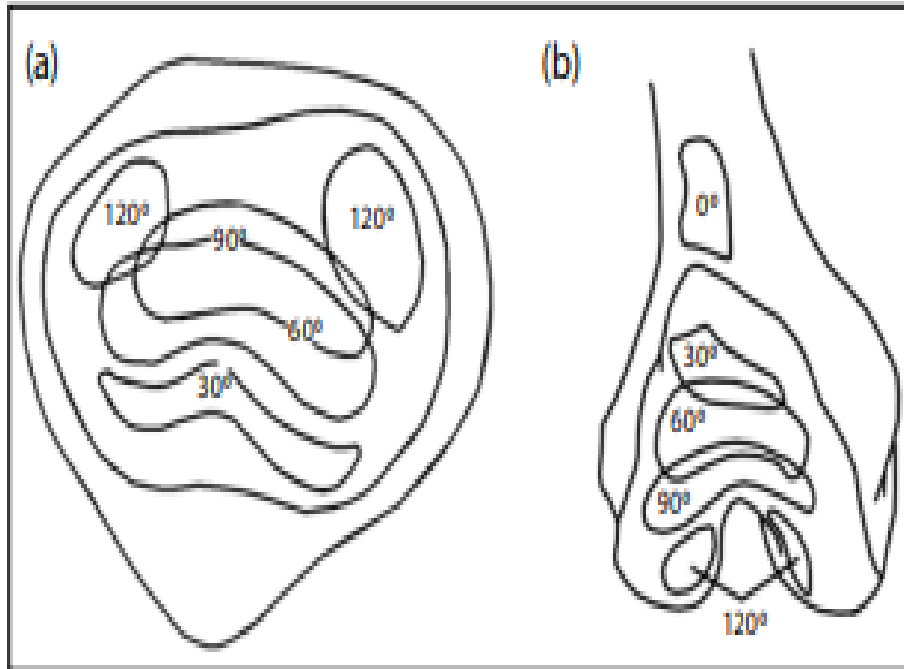
Q açısı, spina iliaca anterior superior (SIAS) ile patella merkezi arasındaki çizgi ile patella merkezi ve tibial tüberkül arasındaki çizgi arasında kalan açıdır. Bu açı, özellikle kuadriseps kasının patella üzerindeki çekme yönünü belirlemesi açısından önemli bir biyomekanik parametredir. Normalde erkeklerde yaklaşık 12° , kadınlarda ise $15-18^\circ$ arasında ölçülür. Q açısının artması, kuadriseps vektörünün daha lateral yönelmesine neden olur ve bu da patellanın dışa doğru yer değiştirme eğilimini artırır.

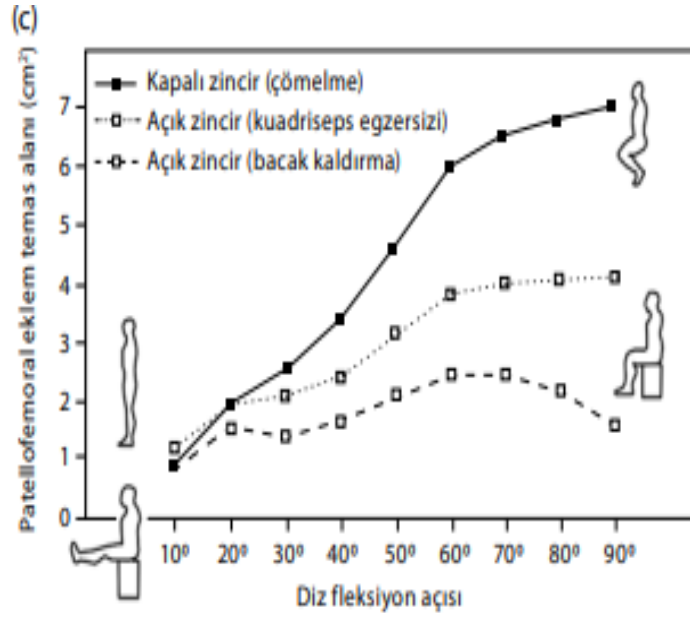
Ayrıca, kuadriseps kasının farklı komponentlerinin (özellikle VMO ve vastus lateralis) aktivasyon dengesizliği, bu kuvvet vektörlerinin patella üzerindeki etkisini doğrudan etkiler. VMO'nun zamanlamasında ya da kuvvetinde meydana gelen azalmalar, lateral çekici kuvvetin dominant hâle gelmesine yol açarak maltracking gelişimini kolaylaştırır.

2.2.5. Fleksiyon Açısı ile Temas Alanı İlişkisi

Patellofemoral temas alanı, diz fleksiyonu ile birlikte giderek artar. Eklem yaklaşık 10–20° fleksiyondayken temas minimal düzeydedir; 60°–90° arasında temas yüzeyi maksimuma ulaşır. Bu aşamada patellanın merkezi ve medial fasetleri femoral trochlea ile yoğun temas hâlinindedir. Derin fleksiyon (>90°) durumunda ise temas daha çok superior patellar bölgede yoğunlaşır (24).

Bu dinamik temas alanı değişiklikleri, patellofemoral ekleme binen stresin dağılımını doğrudan etkiler. Temas alanının artması, yükün daha geniş bir alana yayılmasını sağlayarak eklem kıkırdağını aşırı stresten korur. Buna karşın, temas alanının azalması durumunda (örneğin patella alta ya da trochlear displazide), mevcut yük daha küçük bir yüzeye biner ve basınç artışı meydana gelir.





Şekil 2.7. Patellofemoral eklem temas alanının basınca göre değişimi (a)patellar yüzey, (b) femoral yüzey, (c) yüzey büyüklüklerinin hareket ve fleksiyon ile değişimi (25)

2.3. PATELLOFEMORAL İNSTABİLİTE

Patellofemoral instabilite, patellanın femoral trochlear oluk içerisinde fizyolojik sınırlar içinde hareket edememesi ve femoral oluk ile olan ilişkisini sürdürmemesi durumunu tanımlar. Bu durum, tek seferlik (akut) bir travmatik dislokasyondan, kronik tekrarlayan subluksasyonlara kadar geniş bir klinik yelpazeyi kapsar. Patellanın bu normal olmayan hareketi, genellikle lateral yönde meydana gelir ve patellanın anormal bir şekilde dışa kaymasıyla karakterizedir. Lateral instabilite en yaygın formu olmakla birlikte, nadiren medial yönde instabilite veya multidireksiyonel instabilite formları da gözlenebilir.

Patellofemoral instabilite klinik olarak dizde "kayma" ya da "yerinden çıkma" hissi, özellikle merdiven inip çıkma, çömelme, koşma gibi aktivitelerde rahatsızlık, güvensizlik hissi, tekrarlayan dislokasyon atakları ve akut olay sonrası hemartroz gibi bulgularla kendini gösterebilir. Bazı hastalarda açıkça dislokasyon yaşanmasa bile dizde güvensizlik hissi ve tekrarlayan ağrı şikayetleri ön planda olabilir. Bu klinik tablo, hastaların fonksiyonel kapasitesini ciddi anlamda kısıtlayarak yaşam kalitesini düşürür.

2.3.1. Etiyoloji ve Patogenez

Patellofemoral instabilitenin gelişiminde çok sayıda yapısal, biyomekanik ve travmatik faktör rol oynar. Bu faktörler genellikle bir arada bulunur ve her bireyde farklı oranlarda etkili olabilir. İnstabilitenin oluşmasında rol alan başlıca risk faktörleri şunlardır:

- **Trochlear Displazi:** Trochlear oluk, patellanın stabilitesinde en önemli pasif yapısal unsurlardan biridir. Trochlear oluk normalde lateral kenarda daha belirgindir ve patellayı dışa kaymaktan korur. Ancak displazik bir oluk sığ, düz veya konveks olabilir ve bu durum patellanın dışa kaymasını kolaylaştırır. Trochlear displazi, patellofemoral instabilitesi olan bireylerde %85'e varan oranlarda saptanabilir.
- **Patella Alta:** Patellanın normalden daha yukarıda konumlandığı bu durum, patellanın femoral olukla temasını geç yapmasına neden olur. Bu gecikmiş temas, özellikle dizin erken fleksiyon fazlarında instabiliteye yol açabilir. Insall–Salvati, Caton–Deschamps gibi oranlarla radyolojik olarak değerlendirilir.
- **TT–TG Mesafesi:** Tibial tüberkül ile trochlear oluk arasındaki mesafenin artmış olması (genellikle >20 mm), patellanın lateralize hareket etmesine zemin hazırlar. Bu ölçüm BT ya da MRG ile yapılır.
- **Femoral Anteversiyon ve Torsiyonel Bozukluklar:** Femurun aşırı internal rotasyonu (artmış femoral anteversiyon), dizin iç rotasyonda kalmasına ve patellanın lateralize kuvvetler altında kalmasına neden olur.
- **Genu Valgum ve Pes Planus:** Alt ekstremitenin dizilimini bozan bu durumlar patella üzerine binen yük dağılımını değiştirerek lateral kuvvetlerin artmasına neden olur.
- **Bağ Gevşekliği (Laksisite):** Sistemik bağ dokusu hastalıkları ya da konjenital laksisite varlığı MPFL gibi stabilizatör yapıların fonksiyonunu zayıflatabilir.

- **MPFL Yırtığı veya Yetersizliği:** Akut dislokasyonlar sırasında MPFL'nin zedelenmesi ya da tamamen yırtılması, patellanın tekrarlayan dislokasyonlara açık hale gelmesine neden olur. MPFL, diz fleksiyonda 0–30 derece arasındayken patellanın en önemli medial stabilizatörüdür.

2.3.2. Klinik Değerlendirme

Patellofemoral instabilitesi olan hastalar sıklıkla tekrarlayan dislokasyon hikayesi ile başvurur. Bu dislokasyonlar genellikle dizin 20–30 derece fleksiyundayken ani yön değişikliği, pivot hareketi ya da direkt travma sonrası meydana gelir. Ancak bazı hastalarda açık dislokasyon gözlenmeden sadece instabilite hissi ya da ağrı şikâyeti olabilir. Klinik muayenede patellanın yerleşimi, hareket açıklığı, kas gücü ve özellikle apprehension testi dikkatle değerlendirilmelidir. Bu testte patella lateralize edilmeye çalışılırken hastada korku ya da kaçınma tepkisi oluşması pozitiflik olarak değerlendirilir.

2.3.3. Sınıflandırma ve Değerlendirme Sistemleri

Patellofemoral instabiliteyi değerlendirmek için çeşitli sınıflandırma sistemleri geliştirilmiştir. En yaygın kullanılanlardan biri Dejour sınıflamasıdır. Bu sınıflama, trochlear displaziyi dört tipe ayırır (A–D) ve cerrahi planlama açısından yol göstericidir. Ayrıca patellanın yüksekliği (patella alta), tilt miktarı ve tibial tüberkülün yerleşimi gibi parametrelerin birlikte değerlendirilmesiyle tedaviye yön verilir.

2.3.4. Tedavi ve Yaklaşım

Patellofemoral instabilite tedavisi, altta yatan nedenlere, hastanın yaşı ve aktivite düzeyine, dislokasyon sayısına ve eşlik eden patolojilere göre değişiklik gösterir.

- **Konservatif Tedavi:** İlk kez dislokasyon yaşayan, ciddi yapısal bozukluğu olmayan ve aktivite düzeyi düşük hastalarda tercih edilir. Dinlenme, buz uygulaması, dizlik kullanımı, kuadriseps kaslarını hedefleyen egzersiz programları ve özellikle *vastus medialis obliquus* kasını güçlendirmeye yönelik rehabilitasyon uygulanır.

- **Cerrahi Tedavi:** Tekrarlayan dislokasyonlar, anatomik risk faktörlerinin varlığı, konservatif tedaviye rağmen devam eden instabilite ya da kondral lezyonların eşlik ettiği durumlarda cerrahi müdahale gündeme gelir. Cerrahi yöntemler arasında MPFL rekonstrüksiyonu, trochleoplasti, tibial tüberkül medializasyonu (Fulkerson osteotomisi), lateral retinakulum gevşetilmesi ve patella alta varsa distalizasyon gibi prosedürler yer alır. Cerrahi tedavi, bireysel risk faktörlerine göre kişiselleştirilmelidir.

2.3.5. Uzun Dönem Sonuçlar ve Komplikasyonlar

Tedavi edilmemiş ya da yetersiz tedavi edilmiş patellofemoral instabilite zamanla eklemden dejeneratif değişikliklere yol açabilir. Özellikle tekrarlayan dislokasyonlar sonrası patellofemoral kıkırdak yüzeyinde aşınma ve ilerleyici kondromalazi gelişebilir. Bu da patellofemoral artroza neden olarak ağrı, fonksiyon kaybı ve cerrahi gereksinimi artırabilir. Bu nedenle özellikle rekürren instabilitesi olan genç aktif bireylerde erken cerrahi müdahale uzun dönem fonksiyonel sonuçları olumlu yönde etkileyebilir.

2.4. PATELLOFEMORAL EKLEMDE GÖRÜNTÜLEME YÖNTEMLERİ

Patellofemoral eklemde değerlendirilmesinde görüntüleme yöntemleri, hem anatomik varyasyonların hem de patolojik durumların tanısında vazgeçilmez bir rol oynar. Bu yöntemler sayesinde instabiliteye neden olan yapısal bozukluklar saptanabilir, tedavi planlaması yapılabilir ve cerrahi sonrası iyileşme süreci izlenebilir. Patellofemoral eklem anatomisi; kemik, kıkırdak ve yumuşak doku yapılarının kompleks ilişkisini içerdiğinden, bu bölgenin değerlendirilmesi çok boyutlu ve titiz bir yaklaşım gerektirir. Bu amaçla direkt radyografi, bilgisayarlı tomografi (BT), manyetik rezonans görüntüleme (MRG) ve bazı özel ölçüm teknikleri kullanılmaktadır.

2.4.1. Direkt Grafiler

Direkt radyografik inceleme, patellofemoral eklemde ilk değerlendirme basamağını oluşturur. Ucuz, kolay ulaşılabilir ve hızlı olması avantaj sağlarken, bazı patolojik bulguların saptanmasında sınırlı kalabilir. Bu nedenle uygun pozisyonlama ve özel açılı grafiler önem arz eder.

- **Lateral Diz Grafisi:** Patellanın yüksekliği (patella alta/baja), tilt miktarı ve trochlear oluk derinliği bu grafi ile değerlendirilebilir. Lateral grafide dizin yaklaşık 30 derece fleksiyonda olması önerilir. Trochlear displaziyi gösteren “*crossing sign*”, “*double contour sign*” ve “*supratrochlear spur*” gibi bulgular lateral grafide izlenebilir.
- **Merchant (Aksiyel) Grafi:** Patellanın femoral oluk içindeki pozisyonu, lateralizasyonu ve tilt miktarının değerlendirilmesi için kullanılır. Diz 45 derece fleksiyondayken çekilir. Patellanın trochlear olukla olan ilişkisi doğrudan gözlemlenir. Ayrıca, lateral patellar tilt veya subluksasyon gibi instabilite bulguları bu grafide belirgin hale gelir.
- **Ön-Arka Diz Grafisi:** Eklem aralığı değerlendirmesi için rutin olarak çekilir; ancak patellofemoral instabilite açısından sınırlı bilgi sunar.

2.4.2. Bilgisayarlı Tomografi (BT)

BT, patellofemoral eklem morfolojisinin üç boyutlu olarak değerlendirilmesinde oldukça değerlidir. Özellikle kemik yapılar ve morfolojik bozukluklar BT ile yüksek çözünürlükte görüntülenebilir. BT'nin avantajı, çeşitli ölçüm teknikleriyle kantitatif veri sağlayabilmesidir.

- **Trochlear Displazi Değerlendirmesi:** Trochlear oluğun derinliği, eğimi ve simetrisi BT kesitlerinde kolaylıkla ölçülebilir. Derinlik <3 mm olduğunda displazi lehine değerlendirilir. Ayrıca lateral trochlear inklinasyon açısı <11° ise patolojik olarak kabul edilir.

- **TT–TG (Tibial Tubercle–Trochlear Groove) Mesafesi:** Bu ölçüm BT'nin en yaygın kullanım alanlarından biridir. Femoral trochlear oluğun en derin noktası ile tibial tüberkülün orta noktası arasındaki mesafe ölçülür. 15–20 mm arası sınır değer, >20 mm ise patolojik kabul edilir. Bu mesafenin artmış olması patellanın lateralize hareketine katkı sağlar ve tibial tüberkül medializasyonu gibi cerrahi girişimler için endikasyon oluşturur.
- **Femoral Anteversiyon ve Torsiyonel Deformiteler:** Femurun rotasyonel anomalileri, özellikle artmış anteversiyon, patellanın lateral yönlü zorlanmasını artırır. BT ile femoral ve tibial torsiyon açıları doğru şekilde hesaplanabilir.

2.4.3. Manyetik Rezonans Görüntüleme (MRG)

MRG, yumuşak doku yapılarını, kıkırdak bütünlüğünü ve akut dislokasyon sonrası oluşan sekonder lezyonları değerlendirmek açısından en değerli yöntemdir. Ayrıca kemik kontüzyonları ve ödem alanları gibi akut bulgular MRG ile saptanabilir.

- **MPFL Değerlendirmesi:** MPFL (medial patellofemoral ligament) zedelenmeleri özellikle akut travma sonrası MRG ile görüntülenebilir. Yırtık veya ödemli görünüm saptandığında, bu bağın rekonstrüksiyonuna yönelik cerrahi planlama yapılabilir.
- **Kıkırdak Hasarları:** Patellofemoral dislokasyon sonrası medial patella faciesi ve lateral femoral kondilde sıkça görülen kondral hasarlar MRG ile detaylı olarak izlenebilir. Özellikle T2 ağırlıklı sekanslar, kıkırdak lezyonlarının değerlendirilmesinde kullanılır.
- **TT–TG Mesafesi:** BT'ye göre biraz daha az hassas olsa da, MRG ile de TT–TG mesafesi ölçülebilir ve radyasyon içermemesi avantaj sağlar.
- **Kemik Ödemi ve Kontüzyon:** Akut dislokasyon sonrası sıklıkla görülen kemik ödemi, özellikle patellanın medial kenarında ve lateral femoral kondilde saptanabilir.

- **Eklem İçi Yapılar:** Menisküs, bağ yapıları ve sinovyum gibi patellofemoral ekleme komşu yapıların da değerlendirilebilmesi, MRG'nin kapsamını genişletir.

2.4.4. Ultrasonografi

Ultrasonografi, özellikle dinamik muayene ile kombine edildiğinde, patellanın hareketi sırasında oluşan subluksasyonların değerlendirilmesinde yararlı olabilir. Bununla birlikte, kullanıcıya bağımlı olması, kemik yapılar ve derin dokuların sınırlı görüntülenmesi nedeniyle sınırlı kullanıma sahiptir. Yine de çocuk hastalarda ya da hamile bireylerde radyasyon içermemesi önemli bir avantajdır.

2.4.5. Dinamik ve Fonksiyonel Görüntüleme Yöntemleri

Fonksiyonel manyetik rezonans (kinematik MRG) gibi ileri yöntemlerle patellanın hareketi sırasında trochlear olukla olan ilişkisi dinamik olarak değerlendirilebilmektedir. Bu yöntem henüz yaygınlaşmamış olmakla birlikte, özellikle semptomların hareketle ortaya çıktığı hastalarda değerli bilgiler sunabilir. Ayrıca 3D gait analizi ve dizi simüle eden hareketli görüntüleme sistemleri ile biyomekanik veriler elde edilebilir.

2.4.6. Ölçümler ve Klinik Rehberlik Açısından Önemi

Patellofemoral instabilitenin tedavisinde, görüntüleme ile elde edilen kantitatif veriler cerrahi karar mekanizmasında belirleyicidir. Aşağıdaki parametreler sık kullanılan ölçümlerdir:

- **Insall–Salvati Oranı:** Patella uzunluğu/tendon uzunluğu oranı. >1.2 patella alta, <0.8 patella baja lehine değerlendirilir.
- **Caton–Deschamps Oranı:** Patellar alt polü ile tibial plato mesafesi/patella uzunluğu oranı.
- **Patellar Tilt Açısı:** Aksiyel grafide ya da BT'de ölçülür. >20° olması patolojik kabul edilir.
- **Lateral Patellar Deviation:** Patellanın femoral oluk içinde ne kadar lateralize olduğunu gösterir.

Görüntüleme yöntemleri, sadece tanı koymakla kalmaz; aynı zamanda konservatif ya da cerrahi tedavinin planlanmasında, postop dönemde takibinde ve olası nükslerin değerlendirilmesinde klinisyene yol gösterici olur. Bu nedenle patellofemoral instabilite şüphesi olan her hastada multidisipliner bir yaklaşımla uygun görüntüleme yöntemlerinin seçilmesi esastır.

2.5. PATELLOFEMORAL EKLEMDE ÖNEMLİ CERRAHİ YAPILAR

Patellofemoral instabilitenin cerrahi tedavisinde başarılı sonuçlar elde edebilmek için, bu eklemi oluşturan yapıların anatomisinin iyi anlaşılması zorunludur. Cerrahi anatomik yapılar; kemiksel elemanlar, statik ve dinamik stabilizatörler ile nörovasküler yapılardan oluşur. Anatomik yapıların varyasyonları, instabilite patogenezinde belirleyici olabilirken; cerrahi planlama ve tekniklerde de doğrudan etkili olur. Bu nedenle, patellofemoral eklemeye yönelik cerrahi girişimlerde, bölge anatomisinin detaylı bilinmesi komplikasyon riskini azaltır ve fonksiyonel sonuçları olumlu yönde etkiler.

2.5.1. Patella

Patella, diz eklemine en büyük sesamoid kemiği olup quadriceps kas grubunun ekstansiyon gücünü artırarak femur üzerinde bir kaldıraç görevi görür. Ön yüzü cilde yakın konumda olup subkutan bir yapıdır. Arka yüzünde, medial ve lateral faset olmak üzere iki ana artiküler yüzey bulunur. Trochlear olukla uyumlu hareket edebilmesi için bu yüzeylerin yapısı ve eğimi oldukça önemlidir.

Patellanın boyutu, tilt açısı ve lateralizasyonu cerrahi planlamada göz önünde bulundurulmalıdır. Patella alta veya patella alta varlığı, rekonstrüktif cerrahilerin başarısını etkiler. Cerrahi sırasında patellar lateral facies üzerindeki kırıldak kalınlığı ve hasar düzeyi değerlendirilerek uygun müdahale seçilmelidir.

2.5.2. Femoral Troklea

Femurun distalinde yer alan trochlear oluk, patellanın femur ile olan artikülasyon yüzeyini oluşturur. Normalde oluk şeklinde konkav yapı gösterirken, trochlear displazide düzleşmiş ya da konveks hale gelmiş olabilir.

Trochlear displazi, patellofemoral instabilitenin en önemli risk faktörlerinden biridir. Cerrahi girişimlerde, özellikle trochleoplasti uygulanacaksa bu yapının konfigürasyonu detaylı incelenmelidir. Oluk derinliği, lateral faset açısı ve simetrisi operasyon öncesi görüntüleme ile değerlendirilmeli ve planlama bu anatomik özelliklere göre yapılmalıdır.

2.5.3. Medial Patellofemoral Ligament (MPFL)

MPFL, patellanın medial üst kadranından başlayarak femurun medial epikondil çevresine uzanan bir yapıdır. Patellofemoral eklemin en önemli statik medial stabilizatörüdür. Patella lateralize olmaya başladığında ilk direnç gösteren yapıdır ve diz fleksiyondayken stabilitenin yaklaşık %50'sinden sorumludur.

MPFL, rekonstrüksiyon cerrahilerinin temel hedef yapılarından biridir. Anatomik yerleşiminin doğru tanımlanması, greft yerleşimi açısından kritiktir. Femoral tutunma yeri, adductor tüberkül ile medial epikondil arasındaki "Schöttle Point" olarak tanımlanır ve bu noktaya anatomik fiksasyon yapılmalıdır. Aksi halde greft istenmeyen gerilimlere maruz kalabilir ve diz biyomekaniğini bozabilir (41).

2.5.4. Lateral Retinakulum

Patellanın lateral kısmında yer alan bu fibröz doku, patellayı lateral yönde sınırlayan bir yapıdır. Özellikle patella instabilitesinde sıkça aşırı gerilmiş olabilir.

Lateral retinakulumun aşırı gergin olduğu durumlarda, lateral release uygulanabilir. Ancak bu işlem dikkatli yapılmalıdır çünkü aşırı gevşetme medial instabiliteye yol açabilir. Modern yaklaşımda selektif lateral gevşetme veya lateral lengthening tercih edilmektedir.

2.5.5. Vastus Medialis Obliquus (VMO)

Quadriceps kasının medial komponenti olan VMO, patellaya oblik olarak yapışarak dinamik medial stabilizatör rolü oynar. Özellikle 0–30 derece fleksiyonda patellayı trochlear oluk içinde tutmada etkilidir.

MPFL rekonstrüksiyonuna ek olarak, bazı olgularda VMO'nun yeniden yerleştirilmesi veya güçlendirilmesi gerekebilir. VMO'nun anatomik yerleşimi ve lif yönü, greft ile etkileşimini etkiler.

2.5.6. Tibial Tüberkül

Patellar tendona yapışma yeri olan tibial tüberkül, TT–TG mesafesinin ölçümünde referans noktasıdır. Lateral yerleşimi, patellanın dışa kaymasına katkı sağlar.

TT–TG mesafesi >20 mm olduğunda tibial tüberkül medializasyonu (Elmslie-Trillat, Fulkerson osteotomileri) planlanabilir. Cerrahi sırasında bu bölgenin kemik yapısı, tendon tutunması ve vasküler yapılar dikkate alınmalıdır. Osteotomi hattı dikkatli planlanmalı ve tespit materyalleri doğru pozisyonda yerleştirilmelidir.

2.5.7. Hoffa Yağ Yastığı (Infrapatellar Fat Pad)

Patella ile tibia arasında yer alan Hoffa yağ yastığı, sinovyal doku ile çevrili, vasküler bir yapıdır. Cerrahi esnasında sıklıkla karşılaşılan bu doku, hem koruyucu hem de inflamatuvar özellikler taşıyabilir.

Artroskopik veya açık cerrahilerde görüş alanını açmak amacıyla parsiyel rezeksiyonu yapılabilir. Ancak tam eksizyon, skar oluşumuna ve anterior diz ağrısına neden olabilir.

2.5.8. Nörovasküler Yapılar

Patellofemoral bölgeye yönelik cerrahilerde dikkat edilmesi gereken önemli nörovasküler yapılar mevcuttur. Medial tarafta saphen ven ve saphen siniri, lateral tarafta ise peroneal sinir dikkatle korunmalıdır.

Özellikle MPFL rekonstrüksiyonu sırasında medial cilt insizyonları yapılırken saphen sinir dalları zedelenebilir ve sonrasında parestezi gelişebilir. Tibial osteotomilerde ise peroneal sinirin seyri ve korunması hayati öneme sahiptir.

Genel Değerlendirme:

Patellofemoral cerrahiler, anatomik yapıların titizlikle analiz edilmesini gerektirir. Her bir yapının işlevi ve cerrahiye katkısı bilinmeden yapılan müdahaleler yetersiz stabilite, ağrı, yeniden dislokasyon ya da eklem sertliği gibi komplikasyonlara yol açabilir. Bu nedenle anatomik ve biyomekanik bilgiler, cerrahi planlama ve uygulama sürecinin temelini oluşturur

2.6. MPFL REKONSTRÜKSİYONU

Medial patellofemoral ligament (MPFL), patellofemoral eklemin en önemli statik medial stabilizatörüdür ve diz fleksiyundayken patellanın lateral yönde yer değiştirmesini önleyen temel yapıdır. MPFL, patella dislokasyonlarının büyük çoğunluğunda zedelenmekte veya kopmakta olup, tekrarlayan instabilite gelişiminde anahtar bir role sahiptir. Bu nedenle özellikle rekürren patella dislokasyonlarında, MPFL rekonstrüksiyonu cerrahi tedavinin temel basamaklarından biri olarak kabul edilmektedir.

2.6.1. Endikasyonlar

MPFL rekonstrüksiyonu, sıklıkla aşağıdaki klinik durumlarda uygulanır:

- Rekürren (tekrarlayan) lateral patella dislokasyonları
- İlk çıkık sonrası, belirgin MPFL yırtığı ve anatomik defekt saptanması
- Yapısal eşlik eden sorunların düzeltilmesine rağmen devam eden instabilite hissi
- Konservatif tedaviye rağmen fonksiyonel instabilite ve günlük yaşam aktivitelerinde zorluk

Ancak, rekonstrüksiyon öncesinde instabiliteye katkıda bulunan diğer faktörler (trochlear displazi, patella alta, TT–TG mesafe artışı, tibial torsiyon, genu valgum gibi) detaylı olarak değerlendirilmelidir. MPFL rekonstrüksiyonu, bu patolojilerden bağımsız olarak uygulandığında yetersiz sonuçlara neden olabilir.

2.6.2 Cerrahi Teknikler

MPFL rekonstrüksiyonu için çeşitli cerrahi teknikler geliştirilmiştir. Teknikler arasında temel fark, greftin tipi, fiksasyon yöntemi ve anatomik tutunma noktalarının sağlanma biçimidir. Başlıca uygulama aşamaları bir sonraki sayfada özetlenmiştir:

Greft Seçimi

En yaygın kullanılan greftler şunlardır:

- Hamstring tendonları (gracilis veya semitendinosus otogrefti)
- Quadriceps tendonunun medial parçası
- Allogreftler (özellikle çoklu cerrahi geçirmiş hastalarda)

Otogreft kullanımı daha yaygındır ve uzun dönem sonuçları olumlu bulunmuştur(40).

Femoral Tutunma Noktası

MPFL'in femoral tutunma noktası, adductor tüberkül ile medial epikondil arasında kalan "Schöttle noktası" olarak tanımlanır. Bu bölge, floroskopik görüntüleme eşliğinde doğru şekilde belirlenmelidir. Anotomik yerleşimin dışına yapılan fiksasyonlar, greftin istenmeyen şekilde gerginleşmesine veya gevşemesine yol açarak patellar hareketin fizyolojik sınırlarının dışına çıkmasına neden olabilir.

Patellar Tutunma Noktası

Patellanın medial üst 1/3'lük bölümüne yerleştirilir. Greftin burada düzgün dağılım göstermesi önemlidir. Çift tünel veya yumuşak doku içinden geçirme teknikleri kullanılabilir. Patellaya vida ile tespit ya da yumuşak doku sütürleri ile sabitleme tercih edilebilir.

Fiksasyon ve Gerilim Ayarı

Greft, genellikle diz 30° fleksiyondayken fizyolojik gerilim altında sabitlenir. Bu pozisyon, MPFL'in en aktif olduğu açı aralığıdır. Fazla gerginlik patellar medializasyon, yetersiz gerilim ise instabiliteye yol açabilir. Bu nedenle intraoperatif olarak patellanın mobilitesi ve patellofemoral eklem izlenmeli, pasif patella hareket açıklığı değerlendirilmeli ve greft gerginliği buna göre ayarlanmalıdır.

2.6.3. Postoperatif Rehabilitasyon

Cerrahi sonrası rehabilitasyon, tedavi başarısını doğrudan etkileyen önemli bir unsurdur. Genel prensipler şunlardır:

- İlk 2–3 hafta: Patella koruyucu ortez ile immobilizasyon (genellikle 0–30 derece diz hareketine izin verilir).
- 3–6 hafta: Kontrollü diz hareket açıklığı artırılır, kuadriseps kas güçlendirme egzersizleri başlatılır.
- 6.haftadan itibaren tam yük verilerek aktif hareket ve denge egzersizlerine geçilir.

2.6.4. Komplikasyonlar

MPFL rekonstrüksiyonu, doğru teknikle uygulandığında yüksek başarı oranlarına sahip olsa da bazı komplikasyonlar gelişebilir:

- Greftin aşırı gerginliği sonucu patella medializasyonu ve medial eklem ağrısı
- Femoral tünel yerleşim hatasına bağlı diz fleksiyon hareketinde kısıtlılık
- Patellada kırık (özellikle çift tünel tekniğinde)
- Saphen sinir dalı irritasyonu sonucu medial bacakta parestezi
- Enfeksiyon, hematoma veya greft yetmezliği

Bu komplikasyonların çoğu, cerrahi tekniğe ve dikkatli postoperatif takibe bağlı olarak önlenabilir niteliktedir.

2.6.5. Literatür Bilgisi ve Klinik Sonuçlar

Son yıllarda yapılan prospektif çalışmalar ve meta-analizler, MPFL rekonstrüksiyonunun rekürren patellar instabilite tedavisinde etkin ve güvenilir bir yöntem olduğunu ortaya koymuştur. Başarı oranları %85–95 arasında bildirilmektedir. Ancak başarının sürdürülebilirliği, uygun hasta seçimi, eşlik eden anatomik anomalilerin düzeltilmesi ve doğru cerrahi teknikle doğrudan ilişkilidir.

3.GEREÇ VE YÖNTEM

3.1. HASTA GRUPLARI VE ÇALIŞMA TASARIMI

Bu deneysel araştırma, troklear displazisi bulunan ve bulunmayan femur kemikleri arasında, MPFL'in (medial patellofemoral ligament) anatomik femoral yapışma yerinin konumunu belirlemede Schottle floroskopik tekniğinin doğruluğunu değerlendirmek amacıyla üç boyutlu baskı ile hazırlanmış femur modelleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. 2015-2024 yılları arasında kurumumuzda patellar instabilite nedeniyle tedavi görmüş bireylerin dijital hasta kayıtları retrospektif olarak incelenmiştir. Elde edilen 204 olguluk hasta havuzundan, daha önce bilgisayarlı tomografi (BT) ile değerlendirilmiş olanlar arasından rastgele bir örneklem seçilmiştir.

Kontrol grubunu oluşturan bireyler ise acil servise diz travması nedeniyle başvurmuş, olası kırık şüphesiyle BT taraması yapılmış hastalardan seçilmiştir. Bu bireylerin BT görüntüleri incelenmiş ve troklear displazi bulguları saptananlar çalışmadan dışlanmıştır. Ayrıca, kontrol grubundaki bireylerle telefon görüşmesi yapılarak patellofemoral instabiliteye ait klinik belirtiler sorgulanmış, semptom bildirilen hastalar çalışmaya dahil edilmemiştir.

Her iki grupta da daha önce diz cerrahisi geçirmiş olanlar, kırık, doğumsal deformite veya anatomik anormallik öyküsü bulunanlar ile BT görüntüleri 3 boyutlu modellemeye elverişli olmayanlar çalışmadan dışlanmıştır. Çalışma başlamadan önce ilgili Kurumsal Etik Kurul onayı alınmıştır (Onay Tarihi/Sayısı: 2025/2-18). Tüm katılımcılar, radyolojik verilerinin anonim olarak kullanılmasına yönelik bilgilendirilmiş onamlarını vermiştir. Araştırma, Helsinki Bildirgesi ve sonraki revizyonlarında belirtilen etik kurallar doğrultusunda yürütülmüştür.

3.2. ÖRNEKLEM BÜYÜKLÜĞÜNÜN HESAPLANMASI

Bu araştırma kapsamında örneklem büyüklüğü G*Power yazılımı (sürüm 3.1.9.7) ile hesaplanmıştır ve gruplar arasında eşit dağılım sağlanmıştır (26). Hesaplama, daha önce yapılan ve troklear displazili ile normal dizlerde MPFL ayak izi ile Schoettle noktasının konumsal ilişkisinin incelendiği bir çalışmadan elde edilen etki büyüklüğü (Cohen's $d = 1,33$) esas alınarak gerçekleştirilmiş olup, iki taraflı bağımsız örneklem t-testi üzerinden yapılmıştır (27).

İstatistiksel anlamlılık düzeyinin %5 ($\alpha = 0,05$), test gücünün ise %90 ($1 - \beta = 0,90$) olduğu varsayımıyla, iki grup arasında anlamlı bir farkın saptanabilmesi için toplamda en az 26 diz (her grup için 13) örnekleme dahil edilmesi gerektiği belirlenmiştir. Ancak modelleme sürecinde, anatomik belirteçlerin net biçimde tanımlanamaması gibi teknik sınırlamalar göz önünde bulundurularak, toplam 44 dizin (troklear displazi grubunda 21, kontrol grubunda 23) rastgele şekilde iki gruba dağıtılması uygun görülmüştür.

Bu genişletilmiş örneklem, ayrıca bazı dizlerde sulkus terminalisin net ayırt edilememesi gibi olası görüntüleme zorluklarını da hesaba katmak amacıyla planlanmıştır; bu durum, önceki literatürde de benzer şekilde vurgulanmıştır (28). Buna ek olarak, hatalı çekilen floroskopik görüntülerin ölçüm doğruluğunu olumsuz etkileyebileceği ve kullanılabilir veri sayısını azaltabileceği göz önünde bulundurulmuştur.

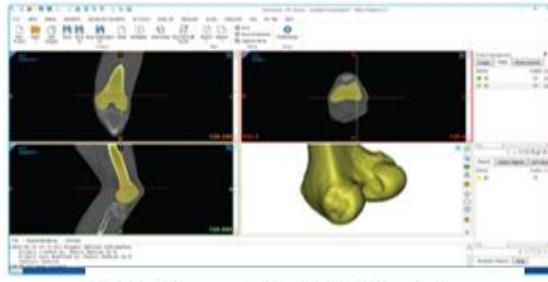
3.3. 3 BOYUTLU (3-D) BASKI MODEL ÜRETİMİ

Tüm katılımcıların görüntülemeleri, aynı marka ve modeldeki bilgisayarlı tomografi (BT) cihazı (Siemens go. up, Siemens, Münih, Almanya) kullanılarak gerçekleştirildi. Görüntüleme sırasında kullanılan tarama protokolü; 121 kV tüp voltajı (120–130 kV aralığında), 143 mA tüp akımı (61–200 mA aralığında), 0,6 mm dilim kalınlığı (0,2–0,8 mm aralığında) ve yaklaşık 200 mm'lik görüş alanı (FoV) (147–269 mm aralığında) içerecek şekilde standardize edildi. Bu protokol, femur morfolojisinin yüksek çözünürlükte elde edilmesini ve 3D modellemeye uygun verilerin sağlanmasını mümkün kıldı.

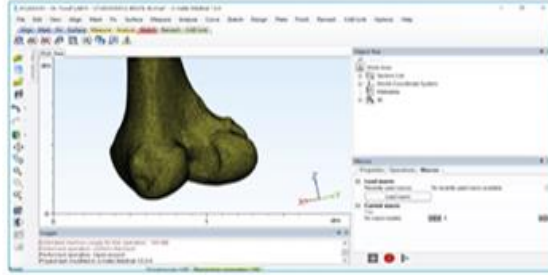
Her hastanın BT görüntüleri, DICOM formatında elde edildikten sonra, femoral anatomiyi yüksek doğrulukla üç boyutlu olarak yeniden oluşturmak amacıyla Materialise Mimics ve Materialise 3-Matic Medical yazılımları (Materialise NV, Leuven, Belçika) aracılığıyla işlenmiştir. Bu yazılımlar, karmaşık anatomik yapıların detaylı olarak modellenmesini sağlayan ileri düzey segmentasyon ve yüzey optimizasyon araçları içermektedir. Elde edilen STL formatındaki dijital modeller, baskıya hazırlık süreci için Ultimaker Cura yazılımı (Ultimaker B.V., Geldermalsen, Hollanda) ile dilimlenmiş ve baskı ayarları optimize edilmiştir.

Model üretimi, Ender-3 Pro (Creality, Shenzhen, Çin) model 3D yazıcı ile gerçekleştirilmiş olup, kullanılan baskı parametreleri; %3 ila %10 arasında değişen doluluk oranı ve 0,16–0,20 mm arasında katman kalınlığı şeklinde belirlenmiştir. Bu parametreler, hem yapısal bütünlüğü sağlayacak hem de ince anatomik detayların modellenmesini mümkün kılacak şekilde tasarlanmıştır. Malzeme olarak, baskı sırasında termal stabilitesi ve biyomekanik yeterliliği nedeniyle Polilaktik Asit (PLA) filament tercih edilmiştir. PLA, hem çevre dostu yapısı hem de medikal modellemelerde sağladığı boyutsal kararlılık nedeniyle tercih edilen bir materyaldir.

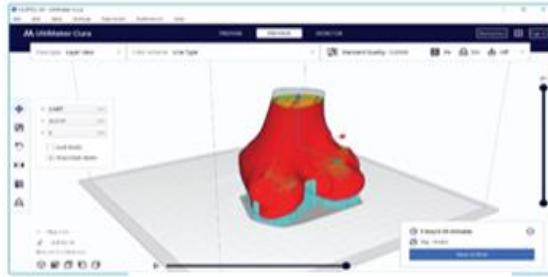
Baskı işlemi tamamlandıktan sonra, üretilen modeller detaylı bir kalite kontrol sürecinden geçirilmiştir. Bu süreçte, modellerin orijinal BT verileriyle karşılaştırmalı olarak analizi yapılmış ve özellikle medial patellofemoral ligamentin (MPFL) anatomik ayak izi ile ilgili tüm kritik yapılar açısından doğruluğu teyit edilmiştir. Bu doğrulama adımı, modellerin floroskopik incelemelerde referans alınabilir nitelikte olması ve yapılacak ölçümlerin güvenilirliğini artırması açısından büyük önem arz etmektedir (Şekil 3.1).



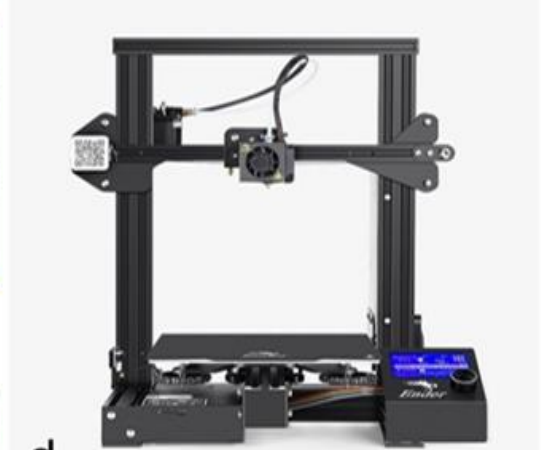
a Distal femur BT görüntülerinin kemik dozunda detaylandırılması



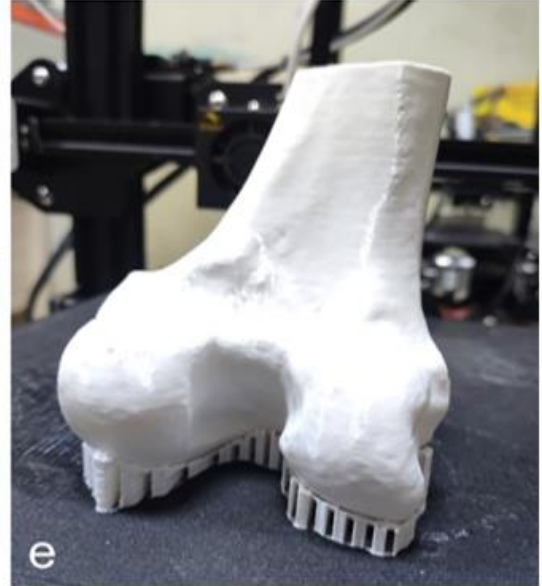
b Görüntü detaylarının somutlaştırılması



c 3D baskı planlaması



d



e

(Şekil 3.1 3D baskı modellerin üretim süreci)

3.4. 3-D BASKI MODELLERDE MPFL FEMORAL YAPIŞMA YERİNİN BELİRLENMESİ

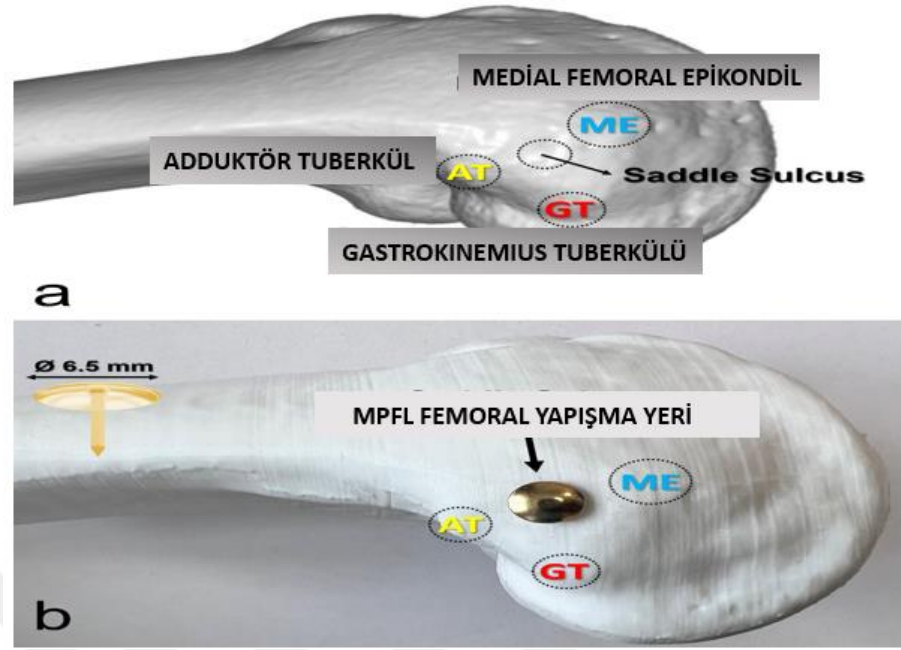
Çalışma kapsamında elde edilen üç boyutlu basılı femur modellerinde, medial patellofemoral ligamentin (MPFL) femoral yapışma yerinin belirlenmesi amacıyla multidisipliner bir değerlendirme paneli oluşturulmuştur. Bu panel; spor travmatolojisi ve diz cerrahisi konularında uzmanlaşmış, her biri alanda en az on yıllık klinik ve akademik deneyime sahip iki ortopedist ve bir asistan doktordan oluşmuştur. Panel üyeleri, her bir modeli bireysel olarak gözden geçirmiş, ardından ortak bir toplantı çerçevesinde, kolektif değerlendirme ve karşılıklı fikir alışverişi yoluyla net kararlarını vermiştir.

Anatomik yerleşimi belirlemek üzere femurun medial yüzeyinde yer alan üç temel kemiksel referans noktası esas alınmıştır: adduktor tüberkülü (AT), medial epikondil (ME) ve medial gastroknemius tüberkülü (MGT).

Bu işaret noktaları, literatürde MPFL'nin femoral yerleşiminin belirlenmesinde sıklıkla kullanılan, güvenilir anatomik referanslardır. Önceki kadavra çalışmalarından elde edilen bulgular doğrultusunda, bu üç yapı arasında yer alan ve belirgin bir eyer biçimini andıran sulkus, panel üyeleri tarafından oybirliğiyle MPFL'nin anatomik femoral ayak izi olarak kabul edilmiştir (28-29).

Bu anatomik konumun sonraki floroskopik görüntülemelerde net bir biçimde tanımlanmasını sağlamak amacıyla, belirlenen ayak izi merkezine 6,5 mm çapında metal bir raptiye yerleştirilmiştir. Bu metal işaretleyici, yüksek radyopak özelliği sayesinde floroskopik görüntülerde ayırt edici bir referans noktası sağlamış ve MPFL'nin anatomik yerleşiminin tekrarlanabilir bir şekilde görselleştirilmesine olanak tanımıştır. İşaretleyicinin sabit konumu, modeller arası ölçüm karşılaştırmalarında tutarlılığı artırmış, böylece değerlendirmelerin nesnelliği güvence altına alınmıştır (Şekil 3.2).

Bu yaklaşım sayesinde, MPFL ayak izinin hem üç boyutlu baskılı modelde hem de radyolojik projeksiyonda anatomik doğrulukla saptanabilmesi mümkün kılınmış ve çalışmanın metodolojik güvenilirliği artırılmıştır.



(Şekil3.2 Üretilen 3D baskı modeller üzerinde *saddle sulcus*un belirlenmesi)

3.5. FLOROSKOPİ TEKNİĞİ VE GÖRÜNTÜLEME

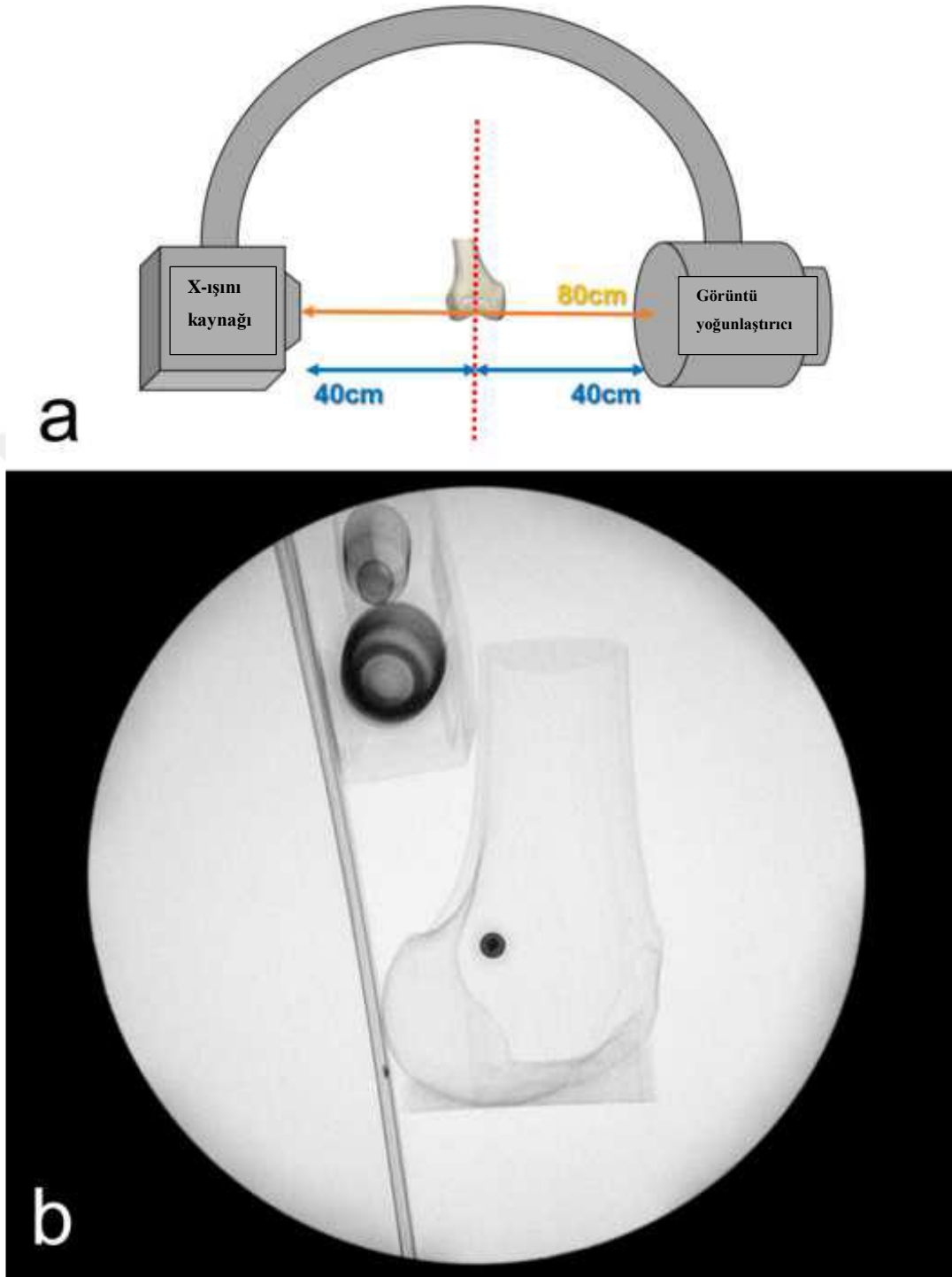
Bu çalışmada floroskopik görüntülemeler, steril ameliyathane ortamında, yüksek çözünürlüklü dijital C kollu bir floroskopi cihazı (Genoray, Floroskopik X-ışını Sistemi, Model: Zen-500, Gyeonggi-do, Kore) kullanılarak gerçekleştirildi. Üç boyutlu olarak basılmış femur modellerinin floroskopik analizleri sırasında, her model X-ışını kaynağı ile görüntü yoğunlaştırıcı arasındaki merkezi referans düzleme dikkatlice yerleştirildi.

Bu yerleşim, floroskopik doğruluğu en üst düzeye çıkarmak amacıyla, trokleanın en derin noktasının tam olarak bu santral eksenle hizalanması esas alınarak optimize edildi.

X-ışını kaynağı, görüntüleme sırasında modellerin lateral yönünden uygulandı. Bu teknik yerleşim, gerçek bir lateral projeksiyon elde etmek için kritik öneme sahiptir. Görüntü edinimi, 45 ila 52 kilovolt (kVp) aralığında bir X-ışını tüpü voltajı ve 0,4 ila 1,8 miliamper (mA) aralığında değişen bir tüp akımı kullanılarak gerçekleştirildi. Bu parametreler hem radyografik kontrastı sağlamak hem de anatomik detayların keskinliğini artırmak amacıyla özenle ayarlandı. Kullanılan floroskopik sistemin ayarlarına ilişkin görsel düzenleme Şekil 3.3'te sunulmuştur.

Modelin doğru pozisyonlandığından emin olmak için, femur her seferinde dikkatlice döndürüldü ve gerçek lateral görünüm elde edilene kadar hizalama süreci devam ettirildi. Özellikle medial ve lateral femoral kondillerin tamamen üst üste binmesi, optimal lateral görünüm kriteri olarak esas alındı. Literatürde de belirtildiği üzere, yalnızca 5°'lik küçük bir rotasyonel sapmanın bile MPFL femoral yerleşiminin floroskopik olarak yanlış yorumlanmasına neden olabileceği bilinmektedir (30-31). Bu nedenle, rotasyonel hataların etkisini minimize etmek amacıyla, yalnızca tamamen hizalanmış görüntümler analiz için dahil edildi.

Her femur modeli için en az beş ila on farklı floroskopik görüntü kaydedildi. Elde edilen bu görüntüler arasından, görüntü kalitesi ve anatomik yapıların netliği açısından en uygun olanı seçilerek analizlerde kullanıldı. Bu seçici yaklaşım hem ölçümsel doğruluğu artırmak hem de metodolojik tutarlılığı sağlamak adına kritik bir adım olarak değerlendirildi.



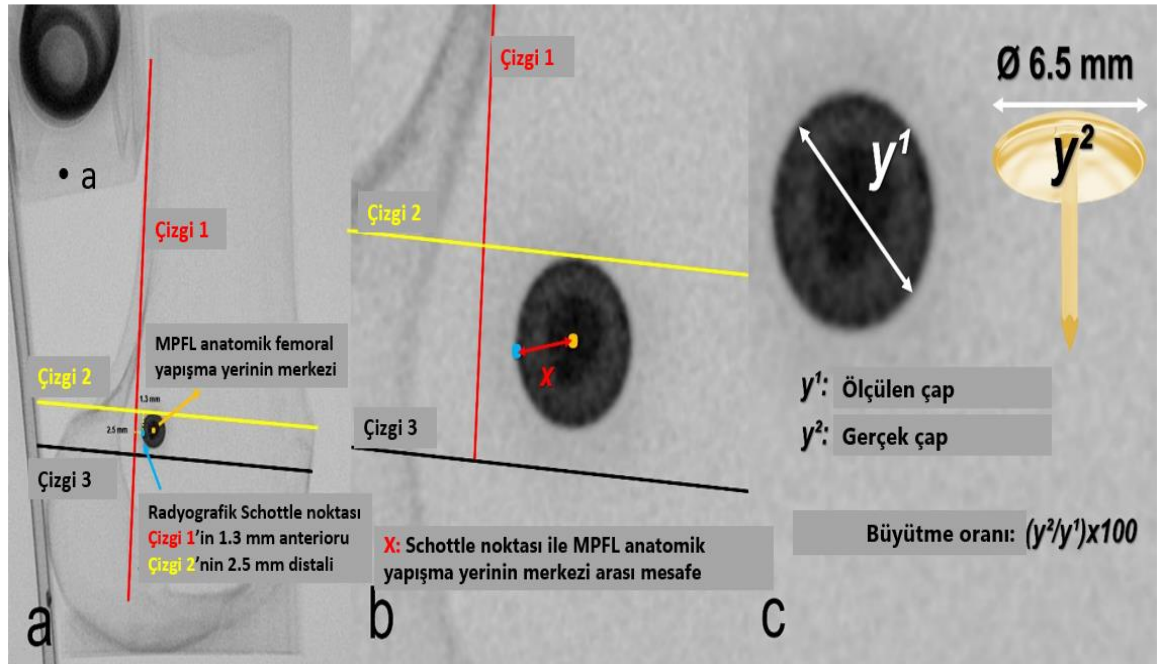
(Şekil 3.3- Floroskopi ve görüntüleme tekniği)

3.6. DİJİTAL FLOROSKOPİK GÖRÜNTÜLERDE RADYOLOJİK ÖLÇÜMLER

Floroskopik görüntüler, Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) formatında saklanarak analiz için RadiAnt DICOM Viewer yazılımına (Medixant Ltd., Polonya, sürüm 2023.1) aktarıldı. Görüntülerin değerlendirilmesi, bir tanesi Ortopedi ve Travmatoloji öğretim üyesi bir tanesi Ortopedi ve Travmatoloji asistan doktoru olmak üzere iki bağımsız gözlemci tarafından gerçekleştirildi. Her gözlemci, ölçümleri dijital iş istasyonu ortamında, birbirinden en az iki hafta arayla olmak üzere iki farklı zaman diliminde ve rastgele sıralama yöntemiyle gerçekleştirdi. Bu çift kör değerlendirme yöntemiyle, gözlemcilerin hem kendi önceki ölçümlerinden hem de diğer gözlemcinin sonuçlarından habersiz olmaları sağlandı; böylece ölçümlerin subjektif etkilerden arındırılması ve güvenilirliğin artırılması hedeflenmiştir.

Radyolojik ölçümlerde, Schottle ve arkadaşları tarafından tanımlanan teknik referans alınarak, anatomik MPFL femoral ayak izinin projeksiyonunu temsil eden metal raptiye ile radyografik Schottle noktası arasındaki mesafe ölçüldü (15). Ölçüm işlemleri sırasında, metal raptiyenin çapı olan 6,5 mm'lik sabit değer, görüntü büyütme oranının kalibrasyonunda referans olarak kullanıldı. Bu sayede elde edilen değerler, gerçek anatomik mesafeleri yansıtacak şekilde düzeltilmiştir. (Şekil 3.4).

Ölçümlere yönsel boyut kazandırmak amacıyla, standart radyografik referans çizgileri esas alınarak iki boyutlu bir koordinat sistemi oluşturuldu. Bu sistemde Schottle noktası, koordinat düzleminin orijini ($x: 0, y: 0$) olarak kabul edildi ve MPFL ayak izinin merkezi bu düzlemde konumlandırıldı. Böylece yalnızca mesafe değil, aynı zamanda aykırılığın yönü de değerlendirilebildi.



(Şekil 3.4-Fluoroskopik görüntüler üzerinde Schottle noktaları ve MPFL anatomik yapışma noktaları arası mesafelerin hesaplanması)

MPFL femoral yapışma yeri ile Schottle noktası arasında tespit edilen sapmaların klinik olarak anlamlı olup olmadığını belirlemek amacıyla iki farklı eşik değeri esas alındı. Bu eşik değerleri önceki çalışmalara dayanmaktadır: Schottle ve arkadaşları, MPFL'nin gerçek femoral yerleşiminin çoğunlukla 5 mm çapındaki daire içinde yer aldığını rapor etmiş, bu nedenle 5 mm'den fazla sapmayı anatomik olmayan yerleşim olarak tanımlamışlardır (15). Takip eden Servien ve arkadaşlarının çalışmasında ise, cerrahi uygulamalarda sıklıkla 7 mm çapında tünel açma frezlerinin kullanıldığı göz önünde bulundurularak bu hata sınırı 7 mm'ye kadar genişletilmiş ve bu sınırın da değerlendirilmesinin uygun olacağı belirtilmiştir (32). Bu bağlamda, çalışma kapsamında 5 mm (Kriter 1) ve 7 mm (Kriter 2) eşik değerlerinin her biri ayrı ayrı analiz edilerek sapmaların anatomik sınırların dışına çıkıp çıkmadığı değerlendirildi.

Elde edilen ölçümlerin istatistiksel güvenilirliği, sınıflar arası korelasyon katsayısı (Intraclass Correlation Coefficient- ICC) yöntemiyle analiz edildi. ICC analizleri hem gözlemciler arası hem de gözlemci içi değerlendirmelerde tüm parametrelerde 0,900'ün üzerinde değerler gösterdi; bu durum, ölçümlerin yüksek derecede güvenilir ve tekrarlanabilir olduğunu ortaya koydu. Nihai istatistiksel analizlerde her iki gözlemcinin ölçümlerinin ortalaması kullanılarak veri bütünlüğü sağlandı (Tablo 1).

3.7. İSTATİSTİKSEL ANALİZ

Tüm istatistiksel analizler WİNDOWS SPSS Statistics Base v.23 (IBM Corp., Armonk, NY, ABD) yazılımı kullanılarak gerçekleştirildi. Sürekli değişkenler ortalama, standart sapma ve minimum-maksimum değerlerle tanımlanırken, kategorik değişkenler frekans ve yüzde (%) cinsinden ifade edildi. Sürekli değişkenlerin normal dağılıma uygunluğu Kolmogorov-Smirnov testi ile değerlendirildi.

Verilerin normal dağılım gösterdiği durumlarda parametrik testler, normal dağılım göstermeyen durumlarda ise non-parametrik testler kullanıldı. Gruplar arası sürekli değişkenlerin karşılaştırılmasında bağımsız örneklem t testi ya da Mann-Whitney U testi tercih edildi. Kategorik verilerin karşılaştırılmasında ise Ki-kare testi (χ^2) uygulandı.

Radyolojik ölçümlerin güvenilirliği hem gözlemciler arası hem de gözlemci içi düzeyde Sınıf İçi Korelasyon Katsayısı (ICC) ile değerlendirildi. ICC hesaplamalarında hem mutlak uyum hem de tutarlılığı dikkate alan iki yönlü rastgele etkiler modeli kullanıldı. ICC değerleri aşağıdaki gibi sınıflandırıldı:

- < 0,50: zayıf güvenilirlik
- 0,50 – 0,75: orta düzeyde güvenilirlik
- 0,75 – 0,90: iyi düzeyde güvenilirlik
- > 0,90: mükemmel güvenilirlik

Tüm analizlerde $p < 0,05$ değeri istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi.

4. BULGULAR

4.1 DEMOGRAFİK VE RADYOLOJİK ÖZELLİKLER

Toplamda 44 femur modelinin analizi gerçekleştirildi. Bu modellerden 23'ü troklear displazi bulgusu göstermeyen femurlardan (Kontrol grubu), 21'i ise çeşitli derecelerde troklear displaziye sahip femurlardan (Displazi grubu) oluşmaktaydı. Kontrol grubunun ortalama yaşı $24,8 \pm 8,0$ yıl, displazi grubunun ise $22,1 \pm 7,4$ yıl olarak belirlendi; gruplar arasında yaş açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmadı ($p = 0,273$). Cinsiyet dağılımı ve taraf (lateralite) açısından da iki grup arasında anlamlı bir fark gözlenmedi (sırasıyla $p = 0,179$ ve $p = 0,107$).

Radyolojik parametreler karşılaştırıldığında, displazi grubunda anlamlı farklılıklar saptandı. Bu gruptaki olgular, kontrol grubuna kıyasla anlamlı düzeyde daha yüksek ortalama tibial tuberkül-troklear oluk (TT-TG) mesafelerine ($22,7 \pm 4,1$ mm'ye karşı $13,2 \pm 3,4$ mm; $p = 0,001$) ve tibial tuberositas-posterior çapraz bağ (TT-PCL) mesafelerine ($17,9 \pm 4,3$ mm'ye karşı $11,4 \pm 4,4$ mm; $p = 0,001$) sahipti. Ayrıca, displazi grubunda Caton-Deschamps İndeksi daha yüksek bulundu ($1,09 \pm 0,15 - 0,87 \pm 0,11$; $p = 0,001$). Patellar eğim açısı ($32,5^\circ \pm 11,2^\circ - 9,6^\circ \pm 4,6^\circ$; $p = 0,001$) ve tibiofemoral rotasyon ($8,9^\circ \pm 4,1^\circ - 6,0^\circ \pm 4,0^\circ$; $p = 0,018$) da displazi grubunda anlamlı olarak artmıştı (Tablo 1). Ek olarak supratroklear çıkıntı (bump) yüksekliği displazi grubunda kontrol grubuna kıyasla anlamlı derecede daha yüksekti ($4,2 \pm 1,7$ mm'ye karşı $1,9 \pm 1,1$ mm, $p = 0,001$)

Tablo 1. Hastaların demografik ve radyolojik özellikleri

Değişkenler	Troldear Displazi Grubu (n:21)	Kontrol Grup (n:23)	p-değeri
Yaş (yıl ±SD)	22.1±7.4	24.8±8.0	0.273 ¹
Cinsiyet (n, %)			
Erkek	8 (38.1%)	13 (56.5%)	0.179 ²
Kadın	13 (61.9%)	10 (43.5%)	
Etkilenen taraf (n, %)			
Sağ	7 (33.3%)	13 (56.5%)	0.107 ²
Sol	14 (66.7%)	10 (43.5%)	
Kilo (kg ±SD)	70.1±17.5	76.3±12.8	0.084 ³
Boy (cm ±SD)	168.3±12.1	174.0±8.5	0.196 ³
BMI (kg/m ² ±SD)	24.5±4.8	25.3±4.7	0.733 ¹
TT-TG Mesafesi (mm ±SD)	22.7±4.1	13.2±3.4	0.001 ³
TT-PCL Mesafesi (mm±SD)	17.9±4.3	11.4±4.4	0.001 ³
Dejour Sınıflaması (n, %)			
Tip A	5 (23.8%)	-	
Tip B	7 (33.3%)	-	
Tip C	4 (19.0%)	-	
Tip D	5 (23.8%)	-	
Caton - Deschamps İndeksi	1.09±0.15	0.87±0.11	0.001 ³
Patellar Tilt (°±SD)	32.5±11.2	9.6±4.6	0.001 ³
Tibiofemoral rotasyon (°±SD)	8.9±4.1	6.0±4.0	0.018 ¹

¹Mann-Whitney U test, ²Chi-Square Test, ³Student T-Test SD:Standart Sapma(Standart Deviation)

4.2. ÖLÇÜMLERİN GÜVENİLİRLİĞİ

Yapılan mesafe ölçümleri açısından gözlemci içi güvenilirlik düzeyi “iyi” ile “mükemmel” arasında değişmekteydi (ICC: 0,865–0,983). Gözlemciler arası güvenilirlik ise genel olarak iyi düzeydeydi (ICC: 0,773–0,820). X ve Y koordinatlarına ilişkin ölçümlerde ise gözlemci içi güvenilirlik mükemmel düzeyde (ICC: 0,921–0,995), gözlemciler arası güvenilirlik ise iyi ile mükemmel arasında (ICC: 0,876–0,938) olarak değerlendirildi (Tablo 2). Nihai analizlerde, bu ölçümlerin ortalamaları esas alındı.

Tablo 2. Floroskopik Ölçümlerin Gözlemciler İçi ve Gözlemciler Arası Güvenilirliği.

Değişken	Güvenilirlik	ICC	95% CI	Sonuç	
Mesafe	Gözlemci içi güvenilirlik				
	<i>Gözlemci A t₁</i>	<i>Gözlemci A t₂</i>	0.865	0.753-0.926	İyi
	<i>Gözlemci B t₁</i>	<i>Gözlemci B t₂</i>	0.983	0.969-0.991	Mükemmel
	Gözlemciler arası güvenilirlik				
	<i>Gözlemci A t₁</i>	<i>Gözlemci B t₁</i>	0.820	0.671-0.902	İyi
	<i>Gözlemci A t₂</i>	<i>Gözlemci t₂</i>	0.773	0.584-0.876	İyi
x Koordinatı	Gözlemci içi güvenilirlik				
	<i>Gözlemci A t₁</i>	<i>Gözlemci A t₂</i>	0.921	0.855-0.957	Mükemmel
	<i>Gözlemci B t₁</i>	<i>Gözlemci B t₂</i>	0.995	0.991-0.997	Mükemmel
	Gözlemciler arası güvenilirlik				
	<i>Gözlemci A t₁</i>	<i>Gözlemci B t₁</i>	0.887	0.792-0.938	İyi
	<i>Gözlemci A t₂</i>	<i>Gözlemci B t₂</i>	0.876	0.773-0.932	İyi
y Koordinatı	Gözlemci içi güvenilirlik				
	<i>Gözlemci A t₁</i>	<i>Gözlemci A t₂</i>	0.969	0.942-0.983	Mükemmel
	<i>Gözlemci B t₁</i>	<i>Gözlemci B t₂</i>	0.980	0.964-0.989	Mükemmel
	Gözlemciler arası güvenilirlik				
	<i>Gözlemci A t₁</i>	<i>Gözlemci B t₁</i>	0.938	0.887-0.966	Mükemmel
	<i>Gözlemci A t₂</i>	<i>Gözlemci B t₂</i>	0.882	0.784-0.936	İyi

Kısaltmalar, t1: İlk ölçüm, t2: İkinci ölçüm, ICC: Sınıflar arası korelasyon katsayısı(Interclass correlation coefficient), CI: Güven aralığı(Confidence interval)

4.3. SCHÖTTE TEKNİĞİ'NİN GÜVENİLİRLİĞİ

Anatomik MPFL ayak izi ile radyografik Schöttle noktası arasındaki ortalama mesafe, displazi grubunda $4,4 \pm 2,0$ mm, kontrol grubunda ise $4,2 \pm 2,4$ mm olarak hesaplandı ve bu değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmadı ($p = 0,862$). Schöttle tekniğinin doğruluğunu değerlendirmek amacıyla 5 mm'lik sapma kriteri uygulandığında, displazi grubundaki olguların %66,7'si ve kontrol grubundakilerin %60,9'u kabul edilebilir sınırlar içinde yer aldı; bu dağılım da gruplar arasında anlamlı fark göstermedi ($p = 0,467$). Benzer şekilde, 7 mm'lik kriter esas alındığında, displazi grubunun %85,7'si ve kontrol grubunun %82,6'sı anatomik sınırlar içinde kaldığı görüldü ($p = 0,553$) (Tablo 3).

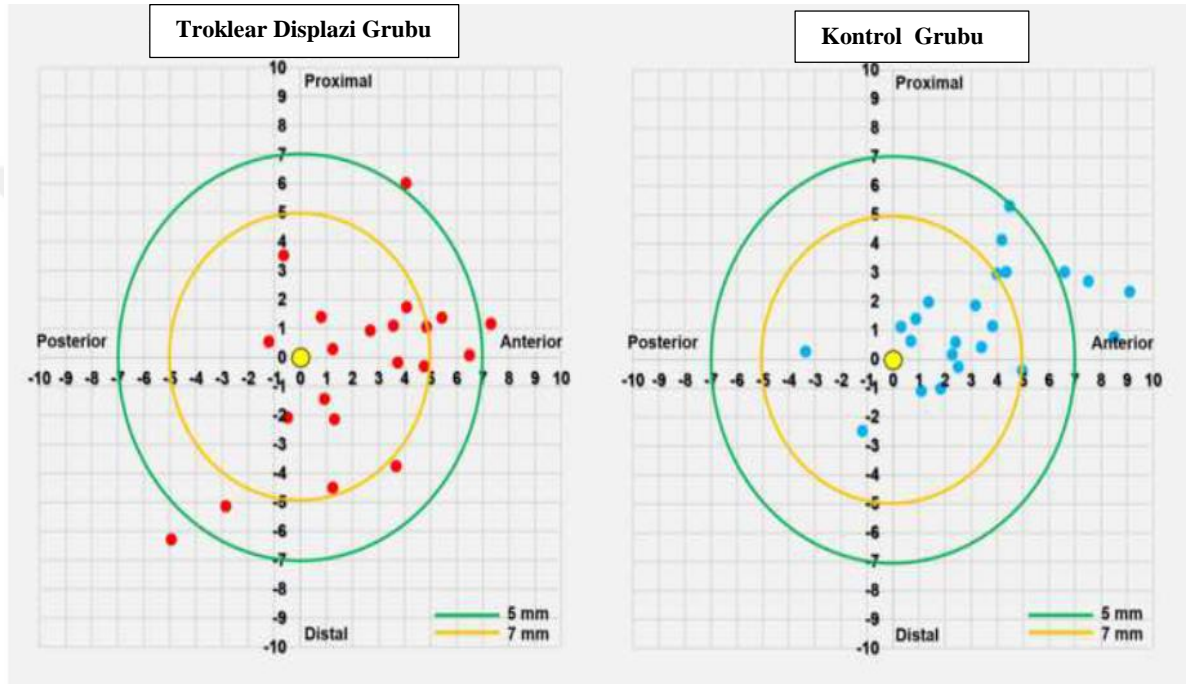
Tablo 3. Gruplar arası mesafe ölçümlerinin ve kabul edilebilir kriterlerin karşılaştırılması.

Değişkenler	Troklear	Kontrol	p-değeri
	Displazi Grubu	Grup	
MPFL anatomik yapışma yeri ile Schöttle noktası arasındaki mesafe, mm±SD (min-maks)	4.4±2.0 (1.5-8.0)	4.2±2.4 (1.0-9.4)	0.862 ¹
5 mm Kriteri			
Kabul edilebilir (n, %)	14 (66.7%)	14 (60.9%)	0.467 ²
Kabul edilemez (n, %)	7 (33.3%)	9 (39.1%)	
7 mm Kriteri			
Kabul edilebilir (n, %)	18 (85.7%)	19 (82.6%)	0.553 ²
Kabul edilemez (n, %)	3 (14.3%)	4 (17.4%)	

Kısaltmalar: MPFL: Medial patellofemoral ligament, SD: Standart Sapma (Standard deviation).

¹Student t-test, ²Chi-square test

Schöttle noktası ile gerçek anatomik MPFL anatomik yapışma yeri arasındaki sapmalara ait dağılım grafikleri, her iki grupta da benzer ve tutarlı görsel desenler ortaya koydu. Her iki grupta da sapmaların büyük kısmı, MPFL femoral yapışma yerinin anterosuperior kadranında yoğunlaştığı görüldü (Şekil 4.1).



(Şekil 4.1-3D maketler üzerinde işaretlenen MPFL anatomik yapışma noktalarının gruplara göre dağılımı)

4.4. DEJOUR SINIFLAMASI VE SUPRAPATELLAR ÇIKINTI(BUMP) YÜKSEKLİĞİNE GÖRE SONUÇLAR

Troklear displazisi olan olgular, Dejour sınıflamasına göre alt gruplara ayrıldığında, MPFL femoral yapışma yeri ile Schöttle noktası arasındaki ortalama mesafe Tip A için $3,3 \pm 1,7$ mm, Tip B için $5,1 \pm 1,5$ mm, Tip C için $3,9 \pm 2,5$ mm ve Tip D için $4,7 \pm 2,4$ mm olarak belirlendi. Bu değerler arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlenmedi ($p = 0,477$).

Schöttle tekniğinin doğruluğunu değerlendirmek amacıyla uygulanan 5 mm'lik hata payı kriterine göre, Tip A grubunun %80'i, Tip B grubunun %57,1'i, Tip C grubunun %75'i ve Tip D grubunun %60'ı kabul edilebilir sınırlar içinde yer aldı (p = 0,823). Daha geniş hata payı olan 7 mm'lik kriter esas alındığında ise sırasıyla Tip A'nın %100'ü, Tip B'nin %85,7'si, Tip C'nin %75'i ve Tip D'nin %80'i anatomik sınırlara uygun kabul edildi (p = 0,719) (Tablo 4).

Tablo 4. Dejour tiplerine göre MPFL anatomik yapışma yeri ile Schottle noktası arasındaki mesafenin karşılaştırılması

Değişkenler	Tip A (n:5)	Tip B (n:7)	Tip C (n:4)	Tip D (n:5)	p-değeri
MPFL anatomik yapışma					
yeri ile Schottle noktası arasındaki mesafe (mm±SD)	3.3±1.7	5.1±1.5	3.9±2.5	4.7±2.4	0.477 ¹
5 mm Kriteri (n, %)					
Kabul edilemez (n, %)	1 (20%)	3 (42.9%)	1 (25%)	2 (40%)	0.823 ²
Kabul edilebilir (n, %)	4 (80%)	4 (57.1%)	3 (75%)	3 (60%)	
7 mm Kriteri					
Kabul edilemez (n, %)	0 (0%)	1 (14.3%)	1 (25%)	1 (20%)	0.719 ²
Kabul edilebilir (n, %)	5 (100%)	6 (85.7%)	3 (75%)	4 (80%)	

Kısaltmalar: MPFL: Medial patellofemoral ligament, SD:Standart Sapma(Standard deviation).

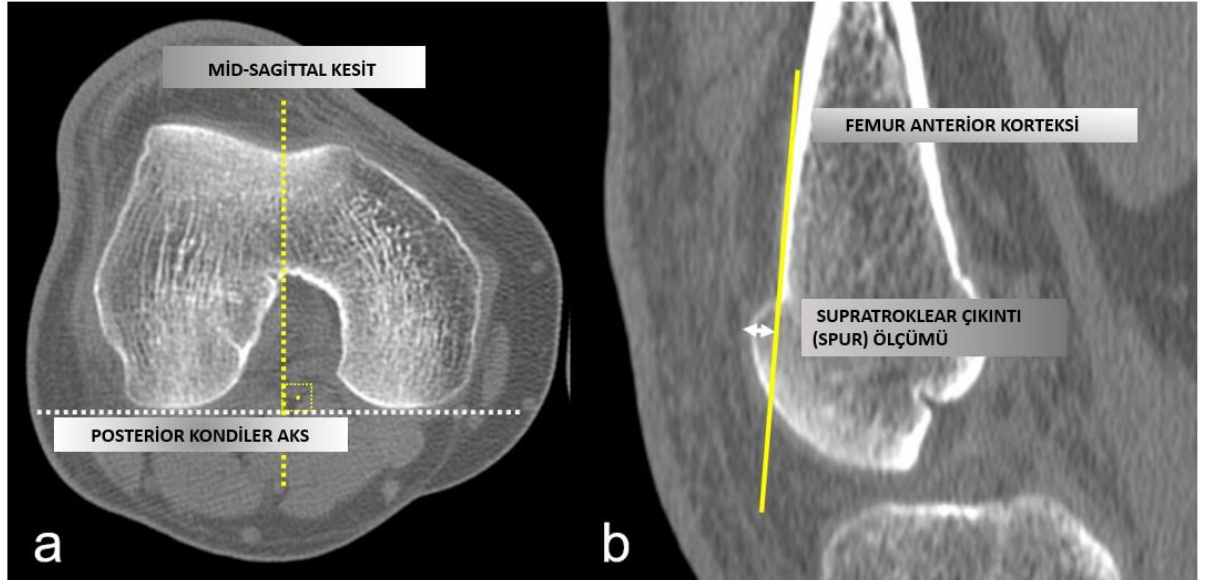
¹ ANOVA, ² Chi-Square Testi

5 mm kriteri kullanıldığında, supratroklear çıkıntı(bump) yüksekliği kabul edilemez grupta (2,7 ± 1,3 mm) kabul edilebilir gruba (3,2 ± 2,0 mm) kıyasla biraz daha düşük olarak görüldü ancak bu fark istatistiksel olarak anlamlı değildi (p = 0,386). Benzer şekilde, 7 mm kriterine göre, kabul edilemez (2,9 ± 1,0 mm) ve kabul edilebilir (3,0 ± 1,9 mm) gruplar arasında çıkıntı yüksekliğinde anlamlı bir fark yoktu (p = 0,889). Pearson korelasyon analizi, supratroklear çıkıntı yüksekliği ile MPFL ayak izi ile Schöttle noktası arasındaki mesafe arasında anlamlı bir ilişki göstermedi (r = -0,044, p = 0,776).(Tablo 5)

Tablo 5. İki farklı troklear çıkıntı(bump) kriterine (5 mm ve 7 mm) dayalı kabul edilebilir ve kabul edilemez sonuçlar arasındaki supratroklear çıkıntı yüksekliğinin karşılaştırılması

Değişkenler	5 mm Kriteri		p-değeri
	Kabul edilemez (n:16)	Kabul edilebilir (n:28)	
Supratroklear Çıkıntı (Bump)Yüksekliği (mm±SD)	2.7±1.3	3.2±2.0	0.386 ¹
Değişkenler	7 mm Kriteri		p-değeri
	Kabul edilemez (n:7)	Kabul edilebilir (n:37)	
Supratroklear Çıkıntı (Bump)Yüksekliği (mm±SD)	2.9±1.0	3.0±1.9	0.889 ¹

¹Student T-Test SD: Standart Sapma(Standart Deviation)



(Şekil 4.2 Mid-sagittal kesitte suprapatellar çıkıntı(spur)ölçüm tekniği)

5. TARTIŞMA

Bu deneysel çalışma, 3D yazıcıyla oluşturulmuş femur modelleri ve floroskopik görüntüleme kullanarak, Schöttle tekniğinin displazik ve normal femurlarda MPFL femoral yerleşim noktasını belirlemedeki doğruluğunu değerlendirmeyi amaçlamıştır.

İlk hipotezimizin aksine, bulgular Schöttle noktasının her iki grupta da ortalama sapma açısından anlamlı bir farklılık göstermediğini ve yöntemin genel olarak güvenilir kabul edilebilecek doğruluk seviyeleri sunduğunu ortaya koymuştur. Özellikle, displazik grubun %66,7'si ve kontrol grubunun %60,9'u anatomik yerleşimden 5 mm'den daha az sapma gösterirken, her iki grubun %80'den fazlası 7 mm sınırının altında kalmıştır.

Dejour sınıflamasına göre yapılan alt grup analizlerinde de doğrulukta anlamlı farklar gözlenmemiştir. Bu bulgular, gerçek lateral floroskopik görüntüleme ve standart bir uygulama protokolü ile Schöttle tekniğinin, ileri derecede displazi durumlarında dahi güvenilir sonuçlar verebileceğini göstermektedir.

Literatürde Schöttle tekniğinin doğruluğunun displazi varlığında azaldığını öne süren çalışmalar mevcuttur. Örneğin, Campos ve arkadaşları, teorik izometrik noktaları değerlendirerek, Schöttle noktasının displazik dizlerde MPFL greftinde diz fleksiyonu sırasında belirgin bir uzamaya yol açtığını, bu durumun ise greftin fazla gerilmesi ya da gevşemesiyle sonuçlanabileceğini bildirmiştir (33).

Benzer şekilde, Izadpanah ve ark. tarafından yapılan 3D-BT simülasyon çalışmasında, Schöttle tekniğiyle yapılan tünel yerleşimlerinin özellikle tip C ve D displazi vakalarında 5 mm'den büyük sapma gösterdiği saptanmıştır (27).

Ishikawa ve ark. da benzer şekilde, displazik dizlerde Schöttle noktasının gerçek MPFL yerleşimine göre daha posterior ve distal yer aldığını belirtmiştir (34).

Chen ve arkadaşlarının 1094 diz üzerinden gerçekleştirdiği geniş ölçekli BT analizinde, Schöttle noktasının her iki grupta da gerçek MPFL yerleşimine göre yaklaşık 5 mm daha proksimal ve anteriorda bulunduğu bildirilmiştir (28).

Bu çalışmalar, displazi varlığında radyografik belirleme tekniklerinin anatomik yerleşimle örtüşmeyebileceğini öne sürmektedir.

Ancak bu çalışmaların genellenebilirliğini sınırlayan bazı metodolojik zayıflıkları vardır. Özellikle, pek çoğu anatomik referans noktalarının doğrudan doğrulanmadığı sanal modellemelere dayanmaktadır.

Örneğin, Campos ve Izadpanah'ın çalışmaları doğrudan anatomik doğrulama içermeyen simülasyonlara dayanırken, birçok çalışmada net olarak tanımlanmış bir kontrol grubunun bulunmaması, doğruluk karşılaştırmalarını zorlaştırmaktadır (33-27). Bu eksiklikler göz önüne alındığında, çalışmamızın anatomik olarak doğrulanmış modeller ve standart floroskopik protokollerle gerçekleştirilmiş olması, metodolojik anlamda güçlü yönlerinden biridir.

Gerçek hasta BT verilerinden üretilen 3D modeller ve *saddle sulcus* gibi tekrarlanabilir kemik işaretleyicilerin kullanımı, yerleşim noktasının güvenilir şekilde tanımlanmasına olanak tanımıştır (29-35). Ayrıca hem displazik hem de kontrol gruplarının dahil edilmesi ve kör ölçümlerle sağlanan iç güvenilirlik, bu çalışmayı klinik olarak anlamlı karşılaştırmalar sunan bir model haline getirmiştir.

Bazı araştırmacılar ise MPFL femoral yerleşiminde gözlenen değişkenliğin yalnızca displazi ile açıklanamayabileceğini, bireyler arası doğal anatomik farklılıkların da sebep olabileceğini belirtmiştir. Örneğin, Sanchis-Alfonso ve arkadaşları, Schöttle tekniğiyle oluşturulan tünelin anatomik yerleşimle yalnızca %36,7 oranında örtüştüğünü ve bu uyumsuzluğun displaziden çok kemik işaretleyicilerinin tutarsız tanımlanmasına bağlı olabileceğini belirtmiştir (17). Bu bulgu, takip çalışmalarında da desteklenmiş ve doğruluk oranlarının çoğunlukla displazi derecesinden bağımsız olduğu gözlemlenmiştir (16). Ek olarak, Aframian ve

Huber gibi araştırmacıların sistematik anatomik incelemeleri de MPFL'nin femoral yerleşiminde doğal bireyler arası farklılıkların belirgin olduğunu göstermiştir (36-37). Placella'nın çalışması ise bu varyasyonların ırk, cinsiyet ya da iskelet tipinden bağımsız olduğunu ortaya koymuştur (38).

Balcarek ve arkadaşları(43), medial patellofemoral ligament (MPFL) rekonstrüksiyonunda sıklıkla kullanılan femoral tünel yerleşim noktalarının izometrik özelliklerini incelemiş, özellikle Schöttle noktasına odaklanmışlardır. %3'lk dar bir standart sapma toleransı içerisinde değerlendirildiğinde, Schöttle noktası hem normal hem de troklear displazili dizlerde sagittal troklear oluk eğriliğiyle en yüksek uyumu göstermiştir. Bu noktayı sırasıyla Fujino, Stephen ve Oka noktaları takip etmiştir. Troklear oluk eğriliğinin yarıçapı arttıkça, özellikle displazik dizlerde, tüm referans noktalarında negatif sapma gözlenmiş; bu durum, diz fleksiyonu sırasında MPFL greftinin izometrik olmadığı ve nispi gevşeme eğiliminde olduğunu göstermiştir. Söz konusu sapma Schöttle noktasında en az düzeyde bulunmuş ve bu noktanın cerrahi müdahale öncesi anatomik güvenilirliğini desteklemiştir.

Bu bağlamda, çalışmamızda displazik ve normal femurlar arasında benzer sapma oranlarının bulunması, radyografik yerleştirme yöntemlerinde gözlenen tutarsızlıkların esasen doğal anatomik çeşitliliğe bağlı olabileceği fikrini desteklemektedir.

6.LİMİTASYONLAR

Çalışmanın bazı sınırlamaları da göz önünde bulundurulmalıdır. Öncelikle, 3D yazdırılmış modellerin kuru kemik ya da kadavra örnekleri kadar anatomik ayrıntı sunamayabileceği düşünülmelidir. Dijital modelleme ve baskı sürecinde bazı detayların kaybolması mümkündür. Ancak bu modeller, BT görüntüleme istasyonunda oluşturulan 3D rekonstrüksiyonlarla doğrulanmış ve *saddle sulcus* konumlandırılması bu yapı üzerinden gerçekleştirilmiştir. MPFL yerleşimi yalnızca kemik referans noktalarına dayanarak belirlenmiştir; bu da başka bir sınırlamadır. Nitekim literatürde, *saddle sulcus*'un bazı vakalarda saptanamayabileceği belirtilmiştir (28). Bizim çalışmamızda da iki model bu nedenle analiz dışı bırakılmıştır. Ayrıca çalışmada gerçek zamanlı floroskopik görüntüleme kullanılması ve ölçümlerin iki gözlemci tarafından çift olarak yapılması, verilerin güvenilirliğini artıran unsurlar olmuştur.

Ek olarak, displazik kadavra teminindeki zorluk göz önünde bulundurulduğunda, bu metodoloji, gelecekteki araştırmalara temel oluşturabilecek alternatif bir deneysel yaklaşım sunmaktadır.

7.SONUÇ

Bu çalışma, Schöttle tekniğinin hem troklear displazili hem de normal femurlarda, gerçek lateral floroskopi eşliğinde uygulandığında, MPFL femoral yerleşiminde karşılaştırılabilir doğruluk sağladığını ortaya koymuştur. Gruplar arasında ortalama sapma farkı istatistiksel olarak anlamlı bulunmamış ve her iki grupta da klinik olarak kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalmıştır. Ayrıca, displazinin şiddeti arttıkça doğruluğun azaldığına dair sistematik bir desen gözlenmemiştir. Bu bulgular, Schöttle tekniğinin displaziden bağımsız olarak güvenilir bir intraoperatif kılavuz olabileceğini göstermekte ve bu yöntemin, bireysel anatomik değişkenlikler göz önünde bulundurularak geniş bir klinik yelpazede kullanılabilirliğini desteklemektedir.

8.KAYNAKLAR

- 1.Greiwe RM, Saifi C, Ahmad CS, Gardner TR. Anatomy and biomechanics of patellofemoral - instability. Oper Tech Sports Med 2010;18(2):62-7. Crossref
- 2.Wolfe S, Varacallo M, Thomas JD, Carroll JJ, Kahwaji CI. Patellar Instability. In Treasure Island (FL); 2021.
- 3.J. Andrish, "The management of recurrent patellar dislocation," Orthop. Clin. vol. 39, no. 3, pp. 313–327, 2008 4.C. S. Ahmad, B. E. Stein, D. Matuz, and J. H. Henry, "Immediate surgical repair of the medial patellar stabilizers for acute patellar dislocation. A review of eight cases." Am. J. Sports Med., vol. 28, no. 6, pp. 804–10, 2000
- 5.C. E. Spritzer, D. L. Courneya, D. L. Burk Jr, W. E. Garrett, and J. A. Strong, "Medial retinacular complex injury in acute patellar dislocation: MR findings and surgical implications.," AJR. Am. J. Roentgenol., vol. 168, no. 1, pp. 117– 122, 1997.
- 6.Kluczynski MA, Miranda L, Marzo JM. Prevalence and Site of Medial Patellofemoral Ligament Injuries in Patients With Acute Lateral Patellar Dislocations: A Systematic Review and Meta-analysis. Orthop J Sports Med. 2020 Dec 16;8(12):2325967120967338. doi: 10.1177/2325967120967338.
- 7.Conlan T, Garth WP Jr, Lemons JE. Evaluation of the medial soft-tissue restraints of the extensor mechanism of the knee. J Bone Joint Surg Am. 1993;75:682–693.
- 8.Hautamaa PV, Fithian DC, Kaufman KR, et al. Medial soft tissue restraints in lateral patellar instability and repair. Clin Orthop. 1998;174–182.
- 9.Sinikumpu J, Nicolaou N. Current concepts in the treatment of first-time patella dislocation in children and adolescents. J Child Orthop. 2023;17(1):28-33. doi: 10.1177/18632521221149060.
- 10.Bailey MEA, Metcalfe A, Hing CB, Eldridge J; BASK Patellofemoral Working Group. Consensus guidelines for management of patellofemoral instability. Knee. 2021 Mar;29:305-312. doi: 10.1016/j.knee.2021.02.018.
- 11.Bernstein M, Bozzo I, Patrick Park J, Pauyo T. Patellofemoral Instability Part II: Surgical Treatment. J Am Acad Orthop Surg. 2024;32(20):e1035-e1046. doi: 10.5435/JAAOS-D-23-00650.
12. Stephen JM, Lumpaopong P, Deehan DJ, Kader D, Amis AA. The medial patellofemoral ligament: location of femoral attachment and length change patterns resulting from anatomic and nonanatomic attachments. Am J Sports Med. 2012;40(8):1871-9. doi: 10.1177/0363546512449998.
- 13.Bedard TA, Johnson CK, Amendola RL et al. A biomechanical analysis of 367 four medial patellofemoral Ligamentreconstructiontechniques. ClinBiomech (Bristol).2025;122:106401.doi: 10.1016/j.clinbiomech.2024.106401
14. Walker M, Maini L, Kay J, Siddiqui A, Almasri M, de Sa D. Femoral tunnel malposition is the most common indication for revision medial patellofemoral ligament reconstruction with promising early outcomes following revision reconstruction: a systematic review. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.

- 2022;30(4):1352-1361. doi: 10.1007/s00167-021-06603-x.
15. Schöttle PB, Schmeling A, Rosenstiel N, Weiler A. Radiographic landmarks for femoral tunnel placement in medial patellofemoral ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 2007;35(5):801-4. doi: 10.1177/0363546506296415.
16. Sanchis-Alfonso V, Ramirez-Fuentes C, Montesinos-Berry E, Elia I, Martí-Bonmatí L. Radiographic Location Does Not Ensure a Precise Anatomic Location of the Femoral Fixation Site in Medial Patellofemoral Ligament Reconstruction. *Orthop J Sports Med.* 2017;5(11):2325967117739252. doi: 10.1177/2325967117739252.
- 17.. Sanchis-Alfonso V, Ramirez-Fuentes C, Montesinos-Berry E, Aparisi-Rodriguez F, Martí-Bonmatí L. Does radiographic location ensure precise anatomic location of the femoral fixation site in medial patellofemoral ligament surgery? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2016;24(9):2838-2844. doi: 10.1007/s00167-015-3523-x.
- 18.O'Brien M. Clinical anatomy of the patellofemoral joint. *Int Sport Med J* 2001;2:1-8
- 19.Golant A, Quach T, Rose J. Patellofemoral Instability: Diagnosis and Management. In 2013.)
20. B. Reider, J. L. Marshall, B. Koslin, B. Ring, and F. G. Girgis, "The anterior aspect of the knee joint.," *J. Bone Joint Surg. Am.*, vol. 63, no. 3, pp. 351–356, 1981.
- 21.Koh JL, Stewart C. Patellar instability. *Orthop Clin North Am.* 2015 Jan;46(1):147–57.).
- 22.Sakai N, Luo ZP, Rand JA, An KN. The influence of weakness in the vastus medialis oblique muscle on the patellofemoral joint: an in vitro biomechanical study. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2000 Jun;15(5):335–9
- 23.J. P. Fulkerson and D. S. Hungerford, "Biomechanics of the patellofemoral joint," *Disord. patellofemoral Jt.*, pp. 25–41, 1990.
- 24.Longo UG, Ciuffreda M, Locher J, Berton A, Salvatore G, Denaro V. Treatment of Primary Acute Patellar Dislocation: Systematic Review and Quantitative Synthesis of the Literature. *Clin J Sport Med Off J Can Acad Sport Med.* 2017 Nov;27(6):511–23.
- 25.Kuru İ,Haberal B AÇ. Patellofemoral biyomekanik. *TOTBİD Derg.* 2012;11(4):274–80
- 26.Faul F, Erdfelder E, Lang AG, Buchner A. G*Power 3: a flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behav Res Methods.* 2007;39(2):175-91. doi:10.3758/bf03193146.
- 27.Izadpanah K, Meine H, Kubosch J et al. Fluoroscopic guided tunnel placement during medial patellofemoral ligament reconstruction is not accurate in patients with severe trochlear dysplasia. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2020;28(3):759-766. doi: 10.1007/s00167-019-05413-6.
28. Chen J, Xiong Y, Han K et al. Computed Tomography Imaging Analysis of the MPFL Femoral Footprint Morphology and the Saddle Sulcus: Evaluation of 1094 Knees. *Orthop J Sports Med.* 2022;10(2):23259671211073608.
29. Zhang X, Xie G, Zhang C, Fang Z, Zhao J, Huangfu X. Comparison and evaluation of the accuracy of the sulcus localization method to establish the medial patellofemoral ligament femoral tunnel: a cadaveric and clinical study. *BMC Musculoskelet Disord.* 2019;20(1):53. doi: 10.1186/s12891-019-2439-x.
30. Servien E, Fritsch B, Lustig S et al. In vivo positioning analysis of medial patellofemoral ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 2011;39(1):134-9. doi: 10.1177/0363546510381362.

31. Ziegler CG, Fulkerson JP, Edgar C. Radiographic Reference Points Are Inaccurate With and Without a True Lateral Radiograph: The Importance of Anatomy in Medial Patellofemoral Ligament Reconstruction. *Am J Sports Med.* 2016;44(1):133-42. doi: 10.1177/0363546515611652
32. Servien E, Fritsch B, Lustig S et al. In vivo positioning analysis of medial patellofemoral ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 2011;39(1):134-9. doi: 10.1177/0363546510381362.
33. Campos T, Soogumbur A, McNamara IR, Donell ST. The trochlear isometric point is different in patients with recurrent patellar instability compared to controls: a radiographical study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2018;26(9):2797-2803. doi: 10.1007/s00167-017-4740-2.
34. Ishikawa M, Hoo C, Ishifuro M et al. Application of a true lateral virtual radiograph from 3D-CT to identify the femoral reference point of the medial patellofemoral ligament. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2021;29(11):3809-3817. doi: 10.1007/s00167-020-06403-
35. Chen J, Han K, Jiang J et al. Radiographic Reference Points Do Not Ensure Anatomic Femoral Fixation Sites in Medial Patellofemoral Ligament Reconstruction: A Quantified Anatomic Localization Method Based on the Saddle Sulcus. *Am J Sports Med.* 2021;49(2):435-441. doi:10.1177/0363546520972420.
36. Aframian A, Smith TO, Tennent TD, Cobb JP, Hing CB. Origin 417 and insertion of the medial patellofemoral ligament: a systematic review of anatomy. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2017;25(12):3755-3772. doi: 10.1007/s00167-016-4272-1.
37. Huber C, Zhang Q, Taylor WR, Amis AA, Smith C, Hosseini Nasab SH. Properties and Function of the Medial Patellofemoral Ligament: A Systematic Review. *Am J Sports Med.* 2020;48(3):754-766. doi: 10.1177/0363546519841304.
38. Placella G, Tei M, Sebastiani E et al. Anatomy of the Medial Patello-Femoral Ligament: a systematic review of the last 20 years literature. *Musculoskelet Surg.* 2015;99(2):93-103. doi: 10.1007/s12306-014-0335-y
39. Heindel K, Smoak J, Kocan J et al. (2023) Stiffness and Instability After MPFL Reconstruction Using a Fluoroscopic Versus Open Technique to Localize the Femoral Attachment Site: A Systematic Review and Meta-analysis. *Orthop J Sports Med.* 11(6):23259671221148482.
40. Siebold R, Borbon CA (2012) Arthroscopic extraarticular reconstruction of the medial patellofemoral ligament with gracilis tendon autograft-surgical technique. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 20(7):1245–1251
41. Aframian A, Smith TO, Tennent TD, Cobb JP, Hing CB. Origin and insertion of the medial patellofemoral ligament: a systematic review of anatomy. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2017 Dec;25(12):3755-3772. doi: 10.1007/s00167-016-4272-1.
42. Akgün Işık, Kuru İlhami AM. Patellofemoral instabilite ve tedavisi. *TOTBİD (Türk Ortop ve travmatoloji birliği derneği).* 2012;11(4):325–34.
43. Balcarek P, Zimmerer A, Wassilew GI, Gebhardt S. Implications for Femoral Tunnel Placement in Medial Patellofemoral Ligament Reconstruction Considering the Sagittal Trochlear Groove Curvature in Severe Trochlear Dysplasia Before and After Deepening Trochleoplasty. *Am J Sports Med.* 2024;52(11):2799-2806. doi: 10.1177/03635465241271900.