



## Alt ekstremite diziliminin ekstansör mekanizma ve patellofemoral eklem biyomekaniğine etkisi

### The effect of lower extremity alignment on the extensor mechanism and biomechanics of the patellofemoral joint

Mahmut Enes Kayaalp, Mehmet Süleyman Abul

İstanbul Kartal Dr. Lütfi Kırdar Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği, İstanbul

Patellofemoral eklem (PFE) üç planlı olarak incelenmesi gereken; kemik yapı, yumuşak doku kısıtlayıcıları ve kas aktivitelelerinin etkileşimli uyumu ile düzenlenen kompleks bir anatomik yapıdır. Patellanın dizilimi, alt ekstremite diziliminden etkilendiği gibi, patellofemoral eklem üzerine binen yük dağılımı da her üç plandaki dizilim durumuyla ilişki göstermektedir. Tarihsel olarak statik değerlendirmesi üzerine pek çok parametre önerilmiş olan patellofemoral eklem için güncel olarak dinamik ve yük vererek değerlendirmeler öne çıkmaktadır. Ayrıca sağlıklı ve hasta kişiler arasında dizilim ilişkili parametreler arasında geniş varyasyonların ortaya konulması sadece kişisel anatomik varyasyonlara değil görüntüleme yöntemlerinde standardizasyonun az olmasına bağlanmaktadır. Bunun yanında dinamik valgus ve yumuşak doku dizilimi gibi güncel kavramların PFE üzerine etkileri de irdelenmektedir.

**Anahtar sözcükler:** patellofemoral eklem; alt ekstremite dizilimi; patella dizilimi

Patellofemoral joint (PFJ) should be examined in all three planes; it is a complex anatomical structure regulated by the interplay of bony structure, soft tissue constraints and muscle activities. As the alignment of the patella is affected by the alignment of the lower extremities, the load distribution on the patellofemoral joint also correlates with the alignment in all three planes. For the patellofemoral joint, for which many parameters have historically been suggested on the static evaluation, dynamic and weight-bearing evaluations are currently prominent. In addition, the wide variations in alignment-related parameters between healthy and sick individuals are attributed not only to individual anatomical variations, but also to the low standardization of imaging methods. Meanwhile, the effects of current concepts such as dynamic valgus and soft tissue alignment on PFE are also discussed.

**Key words:** patellofemoral joint; lower limb alignment; patellar alignment

**A**lt ekstremite dizilimi, alt ekstremite eklemlerinin ve kemik yapılarının birbiriyle ilişkisini üç farklı düzlemde tanımlamak için kullanılan çatı terimdir. Bu anlamda koronal, sagittal ve aksiyel planlarda farklı şekillerde irdelenen dizilimler mevcuttur. Örnek olarak dizilim durumu koronal planda varus veya valgus, sagittal planda kurvatum, aksiyel planda değerlendirilen anatomik yapıya göre versiyon veya torsiyon miktarıyla bildirilir.<sup>[1]</sup>

Dizin ekstansör mekanizması ise diz ekstansiyonunda görev alan yapısal elemanların fonksiyonel grubuna verilen isimdir. Bu grup patella, kuadriseps tendonu, patellar ligament, patellar retinakulum gibi yapılardan oluşur.<sup>[2]</sup>

Alt ekstremitenin özellikle koronal ve rotasyonel dizilimleriyle patellofemoral eklem (PFE) ilişkisine dair pek çok çalışma bulunmaktadır.<sup>[3,4]</sup> Bu değerlendirmeler alt ekstremite diziliminin patellofemoral eklem için belirlenmiş bazı ölçüm parametreleri üzerine etkilerinin belirlenmesi şeklindedir. Ayrıca patellanın anatomik pozisyonunu belirlemek için patellar dizilimi değerlendiren birçok parametre belirlenmiştir.<sup>[5]</sup>

Alt ekstremite diziliminde tarihsel olarak statik değerlendirmeler söz konusu olmuştur. Ancak günümüzde kas ve yumuşak doku etkisinin yadsınamayacak etkilerinin de birlikte değerlendirildiği dinamik değerlendirme yöntemleri ortaya çıkmıştır.<sup>[6,7]</sup> Bu yaklaşım diz eklem artroplastisinde statik değerlendirme temeli-

**İletişim / Contact:** Uzm. Dr. Mahmut Enes Kayaalp • **E-posta / E-mail:** mek@mek.md

**ORCID iD:** Mahmut Enes Kayaalp, 0000-0002-9545-7454 • Mehmet Süleyman Abul, 0000-0002-3197-5770

**Geliş / Received:** 15 Mayıs 2022 • **Revizyon / Revised:** 20 Mayıs 2022 • **Kabul / Accepted:** 9 Haziran 2022

ne dayalı standart nötral mekanik dizilim sağlama amacı yerine kinematik, kısıtlı kinematik veya fonksiyonel dizilimin öne çıkmasıyla da kendini göstermiştir. Bu anlamda alt ekstremité dizilimiyle ilişkisi en tartışmalı konulardan olan patellofemoral eklemün yakın gelecekte dinamik değerdendirmesinin öne çıkabileceği düşünölebilir.<sup>[5,6]</sup>

Patellofemoral eklem anatomisiyle ilişkili kişisel varyasyonların geniş olduğu da son zamanlarda giderek artan şekilde gösterilmiştir.<sup>[8-10]</sup> Bu sebeple güncel literatürde sonuçtan sebebe ulaşmaya dönük patolojik durumların irdelendiği analizler önem kazanmaktadır. Bu derlemeyle tüm bu arka plan kapsamında PFE ve alt ekstremité dizilim ilişkisi üzerine doğrudan veya dolaylı güncel literatürün ortaya konulması amaçlanmıştır.

### **PATELLOFEMORAL EKLEM STABİLİTESİ ÜZERİNDE ETKİLİ OLAN ALT EKSTREMİTE DİZİLİMİ İLİŞKİLİ FAKTÖRLER**

Patellofemoral eklem stabilitesi; eklem geometrisine, pasif yumuşak doku kısıtlayıcılarına ve kas aktivitesinin dengesine bağlı bir klinik durumdur. Ekstansiyona alınan dizde koronal planda kuadriseps açısı (Q açısı) olarak bilinen, kuadriseps kası çekme aksı ile patellar tendon arasındaki açı sebebiyle patella kuadriseps tarafından laterale deplasman kuvvetine maruz kalır (Şekil 1). Buna karşın, displazik durumlar haricinde lateral patellar eklem yüzünün eğimi ve pasif kısıtlayıcılar laterale deplase edici kas gücüne karşı denge sağlar. Sagittal planda ise kuadriseps ve patellar tendonların birlikte çekmesiyle patella troklear oluğa oturtulur. Ayrıca aksiyel planda ise troklear anatomi ve buna uyumlu patellar eklem yüzleri sayesinde diz eklem hareketleri açıklığınca patella, troklear oluk içinde hareket eder. Artmış Q açısı, genu valguma veya eksternal rotasyonda tuberositas tibiaya bağlı olabilir. Diğer tüm ek faktörler göz ardı edilerek yapılacak bir varsayım ile yüksek Q açısı, patellayı laterale deplase edici vektör komponentini artıracaktır. Buna karşın sagittal planda alçak konumlu bir patella (patella baja) ise diz fleksiyonunu kısıtlayabilecektir. Aksiyel düzlemde patella-troklea ilişkisinin bozuk olması, örneğin trokleanın hipoplazik olması kuadriseps kasına karşı uygulanan anatomik kısıtlayıcı görevin görölememesi sebebiyle deplasman riskini artıracaktır. Ayrıca belirtmek gerekir ki bu etki, vastus medialis oblikus (VMO) veya medial retinaküler yapıların sağlayacağı etkilerden çok daha fazladır.<sup>[2]</sup> Kısacası her üç düzlemde patella stabilitesinde anatomik kemik yapı, pasif direnç sağlayıcı yumuşak dokular ve kas aktivitesi arasında bir denge söz konusudur. Buna bağlı olarak aksiyel düzlemde statik ve dinamik femoral versiyon açısı, tibial torsiyon açısı ve sagittal düzlemde



**Şekil 1.** Alt ekstremité uzunluk ön-arka grafisinde kuadriseps açısı (Q açısı) ölçümü. Kuadriseps kası eksenini (spina iliaca anterior superior ve patella orta noktası arası) ile patellar tendon aksı arasındaki açıdır (beyaz ok).

varus-valgus açısı PFE üzerine etkiyen kuvvetler üzerinde birbirleriyle bağlantılı olarak etkilidir.<sup>[2]</sup>

Belirtilen durumlar dışında ayrıca, femurun pozisyonunu etkilediği ve bu sebeple patella dizilimini değiştirdiği için vücut pozisyonu ve kalça fleksiyonu da PFE üzerine binen yükler üzerinde etkilidir.<sup>[7,11]</sup>

### **PATELLOFEMORAL EKLEM DİZİLİMİNDE RADYOGRAFİK PARAMETRELERİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER VE KİŞİLER ARASI VARYASYONLAR**

Patellanın dizilimini ve morfolojisini değerdendirmek üzere özellikle sagittal ve aksiyel planda pek çok radyolojik parametre ortaya konmuştur. Sulkus açısı, femoral troklear derinlik, patellar eğim açısı, lateral patellofemoral açı, lateral femoral troklear inklinasyon, tibial tüberkül-troklear oluk mesafesi (TT-TG), patellotroklear indeks, tibial tüberkül-arka çapraz bağ mesafesi (TT-AÇB) bunlardan bazılarıdır.<sup>[5,12]</sup> Ayrıca sagittal planda patella yüksekliğine yönelik çeşitli ölçüm

metotları vardır. Bu statik ölçüm parametrelerinin çoğu, kişiler arası büyük varyasyonlar göstermektedir.<sup>[9]</sup> Ayrıca çekim esnasında ekstremite pozisyonu da saptanan patellofemoral dizilim parametreleri üzerinde etkilidir.<sup>[13]</sup> Hem çekim pozisyonunun standardize edilmesi hem de fizyolojik varyasyonların saptanabilmesi, patolojik durumların ortaya konulması için temel gereksinimlerdir. Literatür verilerinin okunmasında bu değişkenlerin göz önüne alınması elzemdir.

## VÜCUT POZİSYONU İLE PATELLOFEMORAL EKLEM İLİŞKİSİ

En önemli kalça abdükörü olan gluteus medius kasının oryantasyonu, pelvik eğim ve kalça fleksiyonuyla değişmekte, anterior pelvik eğim ve kalçanın fleksiyonda bulunması durumunda femurun iç rotasyonuna katkı sağlamaktadır. İç rotasyondaki femur ise patellofemoral ağrıyla ilişkili durumlardan biri olarak saptanmıştır.<sup>[7]</sup> Bu durum, patellanın görüntülenmesinin yanında muayenesi esnasında da gövde ve ekstremite pozisyonunun önemi işaret etmektedir. Aynı şekilde egzersiz programına alınan kişilerin de kas aktivasyonlarının ekstremite ve gövde pozisyonuna bağlı olarak değiştiği göz önüne alınarak egzersizleri planlanmalıdır.

Koşucuların sagittal plandaki gövde pozisyonunun PFE stresi üzerine yapılan başka bir araştırmada da sagittal plandaki gövde pozisyonunun PFE üzerine önemli etkileri olduğu saptanmıştır. Buna göre gövdenin hafifçe öne eğilmiş pozisyonunda koşulduğunda PFE'ye daha az tavan stres kuvveti etkilediği görülmüştür.<sup>[11]</sup>

## PATELLOFEMORAL EKLEM AĞRISI İLE İLİŞKİLENDİRİLMİŞ ÇELİŞKİLİ DURUMLAR

Tarihsel olarak çok irdelenmiş bir konu olan diz önu ve patellofemoral ağrı sendromu konusunda pek çok farklı ama genelde tutarsız sonuçlar bildirilmiştir. Patellofemoral eklem patolojilerine dizilim ilişkili verileri irdelemeden önce literatürdeki bazı çelişkilerden bahsedilmesi, PFE üzerine çalışmalar hakkında genel bilgi sahibi olunması için önem arz etmektedir.

Vastus medialis oblikus kasının vastus lateralis kasına göre geç ya da yetersiz aktivasyonu olduğu konusunda sonuçlar bildirilmiştir.<sup>[14]</sup> Ancak bunun tam tersi yönünde, gecikmiş bir aktivite sorunu olmadığı yönünde de yayınlar çıkmıştır.<sup>[15,16]</sup> Ayrıca VMO kasında güçsüzlük olduğu konusundaki tarihi inaniş da yapılan başka bir çalışmada, VMO özelinde değil tüm kuadriseps kasında kas dokusunda azalma olduğu ortaya konularak gösterilmiştir.<sup>[17]</sup> Bu konuda dolaylı bir başka gösterge de VMO'ya izole değil tüm kuadriseps kasının güçlendirilmesinin PFE ağrısı olan hastalara faydalı olduğunun gösterilmiş

olmasıdır.<sup>[18]</sup> Ayrıca kalça bölgesi kas yapılarının PFE ağrısı üzerine etkileri konusunda yapılmış çalışmalarda da tutarsızlıklar ortaya konmuştur. Kalça bölgesi kas güçsüzlüğünün de fazla güçlü olmasının da PFE ağrısı ile ilişkisi gösterilmiştir.<sup>[19-21]</sup>

Tüm bunların ötesinde, hareket yakalayıcı optik sistemlerle yapılan kinematik ölçüm içeren çalışmalarda verilerin de, elektromiyografi (EMG) çalışması verilerinin de dikkatle okunması gerektiği, zira cilt üzerine yapıştırılan *marker* bazlı ölçümlerin hatalara gebe olduğu ve EMG ölçümlerinde de uygulama yapılan kas planına göre önemli farklılık görülebileceği ifade edilmiştir.<sup>[7]</sup>

Bu ve benzeri pek çok tutarsızlık, PFE'yi anlamada literatürde pek çok yaklaşımın yetersiz olduğunu göstermektedir. Bu yazıda irdelenecek literatür verileriyle hem sık karşılaşılan yanılgılar hem de güncel durum ortaya konulacak ve gelecek projeksiyonu yapılacaktır.

## KORONAL PLAN İLE İLİŞKİLİ DEĞERLENDİRMELER

Sık karşılaşılan genel bir yaklaşım, valgus dizilimindeki alt ekstremitelerin PFE dengesizliği yaratacağı yönündedir (Şekil 2). Tek değişkenlilik varsayımı bu yaklaşımda



**Şekil 2.** Alt ekstremite uzunluk ön-arka grafisinde çizilen mekanik eksen çizgisi; sol diz ekleminde valgus deformitesi, mekanik eksenin tibia lateral platodan geçtiği görülmektedir.

Q açısındaki lateralize edici vektörel komponentlerin artmasının bu yönde bir sonuç doğuracağı düşünülmektedir. Gerçekten tarihsel olarak da Ficat ve Hungerford tarafından yazılmış olan ve PFE üzerine klasik hâle gelmiş kitapta belirtilen valgus kuralına göre, valgus dizilim arttıkça Q açısı ile lateralize edici kuvvetler artacak ve lateral faset PFE artrozuna sebep olacaktır.<sup>[22]</sup> Bu yaklaşım öyle genel geçer bir kabul görmüştür ki son yıllara dek pek çok yazar genu valgum düzeltilmesi ile başarılı PFE ağrısı kontrolü yapıldığına yönelik vaka serilerine dair raporlar paylaşmış<sup>[23]</sup> ya da başarısız olan PFE stabilizasyonu vakalarında esas sorumlulardan biri olarak valgus dizilimini gösterdikleri çıkarımlar yapmıştır.<sup>[5,24]</sup>

Bu hipotezle hareket etmiş hasta sayısı az olan çalışmalardan birinde genu valgum durumu olan hastalara femoral varizasyon osteotomisi yapılmış ve hastalarda patellofemoral stabilitenin sağlandığı ve diz önu ağrısının azaldığı raporlanmıştır.<sup>[23]</sup> Başka bir çalışmada benzer hipotezle distal femura kapalı kama varus osteotomisi yapılarak genu valgum deformitesine müdahale edilmiş, bu sayede patellayı laterale çeken Q açısı vektör komponentinin azaltıldığı ifade edilmiştir. Bunun da ötesinde yazarlar genu valguma karşı düzeltici osteotominin tekrarlayan çıkığı olan hastalarda yapılacak en önemli müdahale olduğunu iddia etmişlerdir.<sup>[25]</sup> Adolesanlarda yapılmış bir çalışmada da tekrarlayan patellar instabilitesi olanlarda sadece distal femura varus osteotomisi yapılarak genu valgumun yenilmesi durumunda iyi klinik sonuçlar ve PFE stabilitesi elde edileceği iddia edilmiştir.<sup>[26]</sup> Primer izole medial patellofemoral ligaman (MPFL) rekonstrüksiyonu yapılmış ve patellar yeniden çıkık gelişmiş hastalar üzerinde retrospektif yapılmış bir hata analizinde non-travmatik yeniden çıkık gelişen hastaların %35'inde mekanik valgus aksı olduğu görülmüştür. Valgus dizilimi olan ve izole MPFL rekonstrüksiyonu yapılmış hastalarda bu durumun rekonstrükte edilmiş MPFL'de başarısızlığa sebep olacağı hipotezi kurulmuştur.<sup>[5]</sup>

Ancak sadece koronal plan dizilimi bozukluğuyla ki bu genu valgum veya artmış Q açısı olarak ifade edilebilir, PFE kinematığının bozulacağını iddia etmek günümüzde geçmişte kalan bir yaklaşım olarak görünmektedir. Artmış Q açısı ile PFE artrozunun olacağı yönündeki hipotezin temel öngörülerinden biri lateral patella fasetinde daha belirgin artroz oluşması yönündedir. Hâlbuki literatürde alt ekstremitenin varus dizilimi arttıkça PFE lateral fasette artrozun arttığını gösteren sınırlı sayıda çalışma olup<sup>[3]</sup>, esas olarak medial faset PFE artrozunun valgus, varus veya nötral olsun tüm alt ekstremitte dizilimlerinde en sık görülen PFE artrozu olduğunu bildiren geniş serili çalışmalar mevcuttur.<sup>[22]</sup>

Yapılan önemli bir biyomekanik çalışma ise, literatürde Q açısı ile patellofemoral ağrı sendromu arasındaki ilişkinin oldukça çelişkili olduğuna yönelik verilerden hareketle, artmış Q açısıyla dizin koronal planında moment ve itkinin (*impulse*) negatif ilişkili olduğunu göstermiştir. Yazarlar buna göre yüksek Q açısının patellofemoral ağrı sendromu için risk teşkil etmeyeceği sonucuna varmıştır.<sup>[27]</sup>

Yine başka bir çalışmada tek planlı koronal dizilim ve PFE ilişkisi yorumlarında dikkatli olunması gerektiği, zira patella hareketinin üç planlı olduğu ve bu sebeple patellanın kinematığının doğrudan ölçülerek yorum yapmanın doğru olacağı ifade edilmiştir. Bu çalışmada dinamik olarak patella kinematığı değerlendirilmiş, varus ve valgus dizilimli gruplar arasında fark görülmemiştir. Bu sebeple yazarlar sadece varus veya valgus dizilim bozukluğuna yönelik girişimlerin PFE'deki hareket bozukluklarını düzeltmeyebileceğini bildirmişlerdir.<sup>[28]</sup> Bu yaklaşım günümüze dek farklı pek çok çalışmayla dolaylı olarak desteklense de hâlen sadece koronal plan dizilimi ile PFE patolojilerine yönelik girişimler ve bunların klinik sonuçları yayınlanmaya devam etmektedir. Bu çalışmayı destekleyen dolaylı durumlardan biri de son yıllarda alt ekstremitte dizilimi konusunda giderek artan ve oturmuş paradigmaları yıkan kişisel varyasyonların çok geniş olduğuna yönelik çalışmalardır.<sup>[8-10]</sup>

Q açısına etkili alt ekstremitte dizilimiyle ilgili parametreleri inceleyen bir çalışma, alt ekstremitte valgus açısıyla femoral anteverzasyonun Q açısına etkili faktörler olduğunu saptamış; pelvik açı (standart bir duruş pozisyonunda inklinometre kullanılarak spina iliaca anterior superiordan spina iliaca posterior superiora çekilen çizginin yere düz bir çizgi ile yaptığı açı), genu rekurvatum, tibial torsiyon gibi parametrelerin Q açısına etkisi olmadığı görülmüştür. Buna göre yazarlar Q açısının genel olarak bir koronal düzlem parametresi olduğuna kanaat getirmiştir. Ayrıca diz yaralanması riskinde Q açısının tek başına zayıf bir gösterge olmasını, diz üzerinde hem koronal hem de transvers plan hareket ve güçlerinin etkili olmasına bağlamıştır.<sup>[29]</sup> Literatür dikkatlice takip edildiğinde güncel kaliteli verilerin PFE'yi etkileyen durumların ağırlıklı olarak yumuşak dokuların diz bölgesinde yoğunlaşan torsiyonel kuvvetleri olduğunu göstermekte, kişiye özel ve üç planlı dinamik değerlendirmenin önemine atıf yapılmaktadır.

### **Dinamik Valgus Teorisi Kapsamında Patellofemoral Eklem Ağrı Patofizyolojisi**

Özellikle sporcularda yapılmış çalışmalarla dizin dinamik valgusu tanımlanmıştır.<sup>[30]</sup> Buna göre kalça kaslarındaki güçsüzlük veya fazla güçlü olma durumu, ard

ayak eversiyonu veya pes planovalgus, hamstring veya iliotal bant gerginliği, bel problemlerinin sebep olduğu sakral inklınasyon değışikliklerine bağlı kalça veya gövde fleksiyonu, kuadriseps kasının farklı oryantasyonuna bağlı patella üzerindeki dengesiz güç uygulanması gibi durumlar patellofemoral eklem uyumunu bozarak patellada artmış strese sebep olmakta, bu da patellofemoral ağrı sendromuna yol açabilmektedir.<sup>[6,7,11,31]</sup> Tüm bu faktörler etkileşimli olarak alt ekstremite dizilimini etkilemekte ve bu etkinin sadece koronal plana yansıyan komponenti dinamik valgus dizilim bozukluğu olarak adlandırılmaktadır. Bu değerlendirmeye göre de aksiyel ve sagittal plandaki dizilimler ihmal edilmekte olup bu sebeple aşağıda sırasıyla diğer düzlemlerdeki deformiteler ile PFE patolojileri hakkındaki yayınlar irdelenecektir.

### SAGİTAL PLAN İLE İLİŞKİLİ DEĞERLENDİRMELER

Sagittal statik patellar dizilim parametreleri konusunda pek çok çalışma bulunmasına rağmen sagittal dizilimin PFE üzerine etkileri konusunda çalışma sayısı azdır. Dinamik ve yük verilerek yapılmış çalışmada sagittal plan dizilim bozukluklarının patellanın yeniden çıkığına neden olabilecek risk faktörü oluşturmadığı saptanmıştır.<sup>[32]</sup>

Buna karşın bir sonlu (*finite*) eleman analizi, sagittal planda dizilim bozukluğu ve sekonder kuadriseps atrofisi olması durumunda PFE üzerine artmış yüklenme oluşacağını öngörmüştür.<sup>[33]</sup> İlerleyen dönemde yazarlar klinik olarak yaptıkları çalışmayla hipotezlerini iletmiş ve patella-patellar tendon açısı olarak tanımladıkları patellar sagittal diziliminin patellar kondromalazi ile ilişkili olabileceğini göstermişlerdir.<sup>[34]</sup>

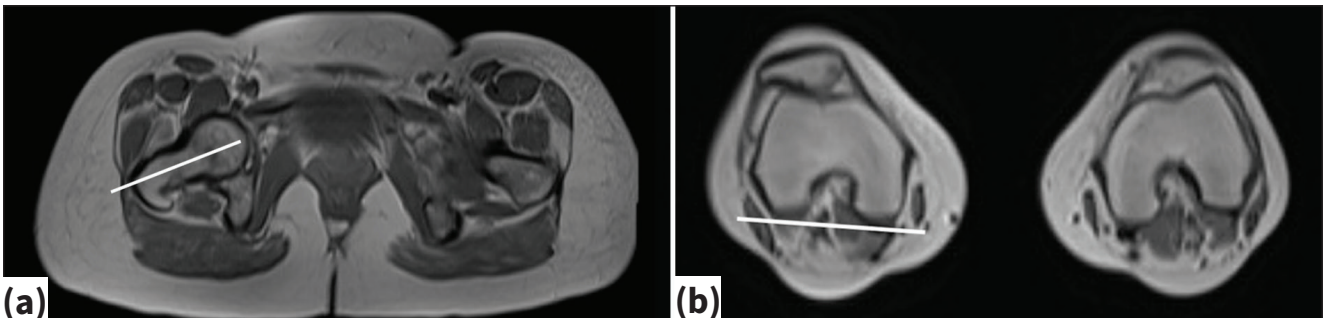
### AKSİYEL PLAN İLİŞKİLİ DEĞERLENDİRMELER

Literatürde cerrahi sonuç bildiren veya cerrahi sonrası başarısızlık görülmüş hastaların analizinin yapıldığı çeşitli çalışmalarda aksiyel plan ile ilgili deformitelerin önemi üzerinde tutarlı bir şekilde durulmuştur.<sup>[4,35]</sup>

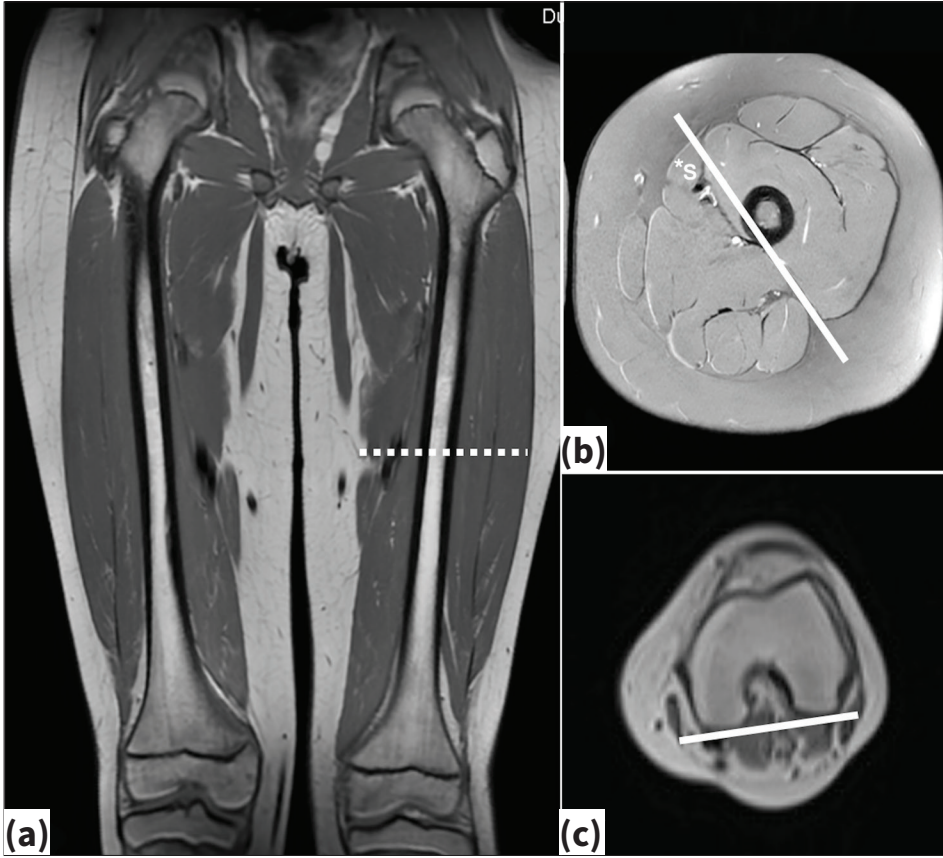
İzole MPFL rekonstrüksiyonu ile patellar instabilitenin, yüksek dereceli femoral rotasyonu olan olgularda düzeltilemeyeceği bildirilmiştir. Bu sebeple kemik yapıda torsiyonel deformitenin, özellikle de başarısız olmuş vakalarda değerlendirilerek tedavi edilmesi önerilmiştir.<sup>[5]</sup> Benzer şekilde femoral artmış anteverziyon (Şekil 3) için klinik sonuçları kötüleştirdiği ve başarısızlığa sebep olduğu, femur derotasyon osteotomisi ile sonuçların iyileştirilebileceğine yönelik yayınlar mevcuttur. Bu çalışmalarda artmış femoral anteverziyonun patellayı lateralize edici kuvvetlerde artışa sebep olduğu ve bu durumların da MPFL cerrahisi sonrası başarısızlık için risk faktörü teşkil ettiği bildirilmiştir.<sup>[36-38]</sup> Bir başka yayında ise MPFL cerrahisi başarısız olmuş hastalarda artmış femoral internal torsiyon ve genu valgum durumunda biplanar distal femur osteotomisi yapılarak iyi sonuçlar elde edilebileceği gösterilmiştir.<sup>[39]</sup>

Alt ekstremitede rotasyonel deformitelerin patellanın statik eğim ve aksiyel pozisyonuna etkisini araştıran bir çalışma, patellanın pozisyonuna en etkili faktörlerin TT-TG mesafesi, diz rotasyonu/versiyonu (posterior femoral ve tibial kondillerden geçen hatlar arası açı) ve troklear displazi olduğuna kanaat getirmiştir. Femoral veya tibial torsiyonun ise patellanın ekstansiyondaki statik pozisyonuna etkisinin kısıtlı olduğunu göstermiştir. Bu verilere göre internal femoral veya eksternal tibial torsiyondan ziyade diz eklemi çevresindeki rotasyonel deformiteyi yansıtan diz torsiyonunun PFE instabilitesinde önemli bir predispozan olabileceği dolaylı çıkarımı yapılmıştır. Ancak doğrudan klinik etkinin belirlenmesi için dinamik değerlendirmeler gerekli görülmektedir.<sup>[40]</sup> Bu çalışmaya benzer şekilde diz versiyonunun travmatik patellar çıkığı olan hastalarda kontrol grubuna göre daha fazla olduğunu gösteren bir çalışma da mevcuttur.<sup>[41]</sup>

Dinamik değerlendirmenin yapıldığı nadir çalışmalardan birinde ise yük verme pozisyonunda üç boyutlu görüntüleme yapılmış ve tekrarlayan patella instabilitesi olan kişilerde koronal ve sagittal değil aksiyel plandaki



Şekil 3.a,b. Kalça ve diz eklemi gösteren aksiyel magnetik rezonans kesitlerinde femoral versiyon/torsiyon ölçümü. Femur boynuna paralel çizgi (a) ile femur posterior kondillerinden geçen çizgi (b) arasındaki açı olarak ölçülür.



**Şekil 4.a-c.** Kuadriseps kasi rotasyon açısı: Femurun proksimal ve distaldeki eklem çizgilerine eşit mesafeden alınan aksiyel kesitte **(a)** sartorius kasının (\*s) ön kısmı ile anterior ve posterior kompartmanlar arası lateral intermusküler septumu birleştiren çizginin **(b)** femur posterior kondillerinden geçen çizgisi **(c)** ile yaptığı açıdır.

dizilim parametrelerinin yeniden çıkık riski ile ilişkili olduğu saptanmıştır. Bu çalışma aynı zamanda yük veremeye alınan görüntülerde, yük vermeme hâlinde değerlendirilen görüntülere göre daha hassas şekilde rotasyonel dizilim bozukluklarının saptanabildiğini bildirmiştir. Bu anlamda bu çalışma ile dinamik patellar hareket değerlendirmesinin önemi anlaşılmıştır.<sup>[32]</sup>

### YUMUŞAK DOKU AKSİYEL DİZİLİMİ İLE PATELLOFEMORAL EKLEM İLİŞKİSİ

Patellofemoral instabilite konusunda daha güncel yaklaşımlardan biri ise kemik yapıların değil yumuşak dokuların, bunlardan da kuadriseps kasının aksiyel diziliminin PFE üzerine etkisi hakkındadır. Aksiyel planda kuadriseps kasının rotasyonu, kuadriseps torsiyon açısı olarak ölçülmüş (Şekil 4) ve bu verinin femoral torsiyon açısı ile pozitif korelasyon gösterdiği görülmüştür. Karşılaştırmalı olarak patellofemoral instabilitesi olan kişilerle, sağlıklı kişiler arasında yapılan çalışmada kuadriseps torsiyon açısı verilerinin PFE instabilitesi ile ilişkisi

femoral torsiyondan daha yüksek olarak saptanmıştır. Bu çalışmada hipotez, kuadriseps kasındaki rotasyonel dizilimin, kuadriseps kasının patellaya uygulayacağı çekme kuvvetinin vektörel bileşenlerini etkileyeceği ve bunun da patellada lateralize edici kuvvetlerin yönünün Q açısından bağımsız olarak değişeceği yönünde olmuş ve hipotez doğrulanmıştır. Bu çalışmada tanımlanan bu açısal parametrelerin başka çalışmalar ve cerrahi düzeltmeler yapılmış hastalardaki karşılaştırmalı verileri gelecekte ilgi konusu olacaktır.<sup>[6]</sup>

### SONUÇ

Patellofemoral eklem ile ilgili çalışmalar incelendiğinde ortaya çıkan temel bazı sonuçlar vardır. Bunlardan ilki PFE değerlendirmesinde evrensel olarak standardize görüntüleme yöntemlerinin kullanılması gerektiğidir. Ayrıca gövde ve kalça pozisyonu gibi unsurların PFE pozisyonuna ve üzerine etkileyen kuvvetlere etkili olduğu bilinmeli ve standardizasyonda bunlar da göz önüne alınmalıdır.

Güncel literatüre göre diz bölgesi rotasyonel deformitelerin ve tarihi olarak da anılan TT-TG mesafesinin PFE üzerinde biyomekanik etkilerinin olduğu görülmektedir. Koronal plandaki deformitelerin etkisinin ise henüz net olarak anlaşılmadığı, bu konuda geniş kabul gören bazı durumların literatürdeki tutarsız sonuçlar sebebiyle şüpheyle değerlendirilmesi gerektiği anlaşılmaktadır. Ayrıca dinamik dizilim bozukluğu kavramının, hastaların bireysel değerlendirilmesinde göz önünde bulundurulması önem arz etmektedir. Patellofemoral eklem dizilimiyle ilişkili faktörlerin üç hareket aksında birden ele alınması gerektiği ve farklı düzlemdeki parametrelerin birbiriyle etkileşim hâlinde olduğu unutulmamalıdır.

Dinamik çekimlerin ve yük verme unsurlarının PFE değerlendirmesinde göz ardı edildiği bilinmelidir. Ancak henüz bu konuda klinik uygulamayı değiştirebilecek şekilde veri bulunmamaktadır. Gelecekte görüntülemelerdeki standardizasyonun sağlanmasını takiben ve dinamik, gerçek dünya verisi sağlayacak modern görüntüleme yöntemlerinin kolay erişilebilir hâle gelmesi ile kişisel varyasyonların saptanması ve patolojik durumlarla karşılaştırmasının yapılması gerekli görünmektedir.

## KAYNAKLAR

- Marques Luis N, Varatojo R. Radiological assessment of lower limb alignment. *EFORT Open Rev* 2021;6(6):487-94. [Crossref](#)
- Feller JA, Amis AA, Andrich JT, Arendt EA, Erasmus PJ, Powers CM. Surgical biomechanics of the patellofemoral joint. *Arthroscopy* 2007;23(5):542-53. [Crossref](#)
- Otsuki S, Nakajima M, Okamoto Y, Oda S, Hoshiyama Y, Iida G, et al. Correlation between varus knee malalignment and patellofemoral osteoarthritis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2016;24(1):176-81. [Crossref](#)
- Flury A, Hoch A, Andronic O, Fritz B, Imhoff FB, Fucetese SF. Increased femoral antetorsion correlates with higher degrees of lateral retropatellar cartilage degeneration, further accentuated in genu valgum. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2021;29(6):1760-8. [Crossref](#)
- Feucht MJ, Mehl J, Forkel P, Achtnich A, Schmitt A, Izadpanah K, et al. Failure analysis in patients with patellar redislocation after primary isolated medial patellofemoral ligament reconstruction. *Orthop J Sports Med* 2020;8(6):2325967120926178. [Crossref](#)
- Maine ST, O’Gorman P, Barzan M, Stockton CA, Lloyd D, Carty CP. Rotational malalignment of the knee extensor mechanism: Defining rotation of the quadriceps and its role in the spectrum of patellofemoral joint instability. *JB JS Open Access* 2019;4(4). [Crossref](#)
- Stephen J, Ephgrave C, Ball S, Church S. Current concepts in the management of patellofemoral pain-the role of alignment. *Knee* 2020;27(2):280-6. [Crossref](#)
- Hirschmann MT, Moser LB, Amsler F, Behrend H, Leclercq V, Hess S. Functional knee phenotypes: A novel classification for phenotyping the coronal lower limb alignment based on the native alignment in young non-osteoarthritic patients. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2019;27(5):1394-402. [Crossref](#)
- Hochreiter B, Hess S, Moser L, Hirschmann MT, Amsler F, Behrend H. Healthy knees have a highly variable patellofemoral alignment: A systematic review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2020;28(2):398-406. [Crossref](#)
- MacDessi SJ, Griffiths-Jones W, Harris IA, Bellemans J, Chen DB. Coronal Plane Alignment of the Knee (CPAK) classification. *Bone Joint J* 2021;103-B(2):329-37. [Crossref](#)
- Teng HL, Powers CM. Sagittal plane trunk posture influences patellofemoral joint stress during running. *J Orthop Sports Phys Ther* 2014;44(10):785-92. [Crossref](#)
- Imhoff FB, Cotic M, Liska F, Dyrna FGE, Beitzel K, Imhoff AB, et al. Derotational osteotomy at the distal femur is effective to treat patients with patellar instability. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2019;27(2):652-8. [Crossref](#)
- Shibanuma N, Sheehan FT, Stanhope SJ. Limb positioning is critical for defining patellofemoral alignment and femoral shape. *Clin Orthop Relat Res* 2005(434):198-206. [Crossref](#)
- Cowan SM, Bennell KL, Hodges PW, Crossley KM, McConnell J. Delayed onset of electromyographic activity of vastus medialis obliquus relative to vastus lateralis in subjects with patellofemoral pain syndrome. *Arch Phys Med Rehabil* 2001;82(2):183-9. [Crossref](#)
- Karst GM, Willett GM. Onset timing of electromyographic activity in the vastus medialis oblique and vastus lateralis muscles in subjects with and without patellofemoral pain syndrome. *Phys Ther* 1995;75(9):813-23. [Crossref](#)
- Laprade J, Culham E, Brouwer B. Comparison of five isometric exercises in the recruitment of the vastus medialis oblique in persons with and without patellofemoral pain syndrome. *J Orthop Sports Phys Ther* 1998;27(3):197-204. [Crossref](#)
- Giles LS, Webster KE, McClelland JA, Cook J. Atrophy of the quadriceps is not isolated to the vastus medialis oblique in individuals with patellofemoral pain. *J Orthop Sports Phys Ther* 2015;45(8):613-9. [Crossref](#)
- Chiu JK, Wong YM, Yung PS, Ng GY. The effects of quadriceps strengthening on pain, function, and patellofemoral joint contact area in persons with patellofemoral pain. *Am J Phys Med Rehabil* 2012;91(2):98-106. [Crossref](#)
- Souza RB, Powers CM. Differences in hip kinematics, muscle strength, and muscle activation between subjects with and without patellofemoral pain. *J Orthop Sports Phys Ther* 2009;39(1):12-9. [Crossref](#)
- Finnoff JT, Hall MM, Kyle K, Krause DA, Lai J, Smith J. Hip strength and knee pain in high school runners: A prospective study. *PM R* 2011;3(9):792-801. [Crossref](#)
- Herbst KA, Barber Foss KD, Fader L, Hewett TE, Witvrouw E, Stanfield D, et al. Hip strength is greater in athletes who subsequently develop patellofemoral pain. *Am J Sports Med* 2015;43(11):2747-52. [Crossref](#)

22. Gross KD, Niu J, Stefanik JJ, Guermazi A, Roemer FW, Sharma L, et al. Breaking the law of valgus: the surprising and unexplained prevalence of medial patellofemoral cartilage damage. *Ann Rheum Dis* 2012;71(11):1827-32. [Crossref](#)
23. Dickschas J, Ferner F, Lutter C, Gelse K, Harrer J, Strecker W. Patellofemoral dysbalance and genua valga: Outcome after femoral varisation osteotomies. *Arch Orthop Trauma Surg* 2018;138(1):19-25. [Crossref](#)
24. Erdoganoglu Y, Pepe M, Kaya D, Tagrikulu B, Aksahin E, Aktekin CN. Lower extremity alignment due to patellofemoral syndrome and dynamic postural balance. *J Orthop Surg (Hong Kong)* 2020;28(1):2309499019900819. [Crossref](#)
25. Nha KW, Ha Y, Oh S, Nikumbha VP, Kwon SK, Shin WJ, et al. Surgical treatment with closing-wedge distal femoral osteotomy for recurrent patellar dislocation with genu valgum. *Am J Sports Med* 2018;46(7):1632-40. [Crossref](#)
26. Wilson PL, Black SR, Ellis HB, Podeszwa DA. Distal femoral valgus and recurrent traumatic patellar instability: Is an isolated varus producing distal femoral osteotomy a treatment option? *J Pediatr Orthop* 2018;38(3):e162-e7. [Crossref](#)
27. Park SK, Stefanyshyn DJ. Greater Q angle may not be a risk factor of patellofemoral pain syndrome. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2011;26(4):392-6. [Crossref](#)
28. McWalter EJ, Cibere J, MacIntyre NJ, Nicolaou S, Schulzer M, Wilson DR. Relationship between varus-valgus alignment and patellar kinematics in individuals with knee osteoarthritis. *J Bone Joint Surg Am* 2007;89(12):2723-31. [Crossref](#)
29. Nguyen AD, Boling MC, Levine B, Shultz SJ. Relationships between lower extremity alignment and the quadriceps angle. *Clin J Sport Med* 2009;19(3):201-6. [Crossref](#)
30. Petersen W, Ellermann A, Gosele-Koppenburg A, Best R, Rembitzki IV, Bruggemann GP, et al. Patellofemoral pain syndrome. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2014;22(10):2264-74. [Crossref](#)
31. Petersen W, Rembitzki I, Liebau C. Patellofemoral pain in athletes. *Open Access J Sports Med* 2017;8:143-54. [Crossref](#)
32. Takagi S, Sato T, Watanabe S, Tanifuji O, Mochizuki T, Omori G, et al. Alignment in the transverse plane, but not sagittal or coronal plane, affects the risk of recurrent patella dislocation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2018;26(10):2891-8. [Crossref](#)
33. Aksahin E, Kocadal O, Aktekin CN, Kaya D, Pepe M, Yilmaz S, et al. The effects of the sagittal plane malpositioning of the patella and concomitant quadriceps hypotrophy on the patellofemoral joint: A finite element analysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2016;24(3):903-8. [Crossref](#)
34. Aksahin E, Aktekin CN, Kocadal O, Duran S, Gunay C, Kaya D, et al. Sagittal plane tilting deformity of the patellofemoral joint: A new concept in patients with chondromalacia patella. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2017;25(10):3038-45. [Crossref](#)
35. Keshmiri A, Maderbacher G, Baier C, Zeman F, Grifka J, Springorum HR. Significant influence of rotational limb alignment parameters on patellar kinematics: An in vitro study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2016;24(8):2407-14. [Crossref](#)
36. Havey R, Schaver AL, Meyer AM, Duchman KR, Westermann R. Assessment of femoral version should be assessed independently of conventional measures in patellofemoral instability. *Iowa Orthop J* 2021;41(2):77-81.
37. Zhang Z, Cao Y, Song G, Li Y, Zheng T, Zhang H. Derotational femoral osteotomy for treating recurrent patellar dislocation in the presence of increased femoral anteversion: A systematic review. *Orthop J Sports Med* 2021;9(11):23259671211057126. [Crossref](#)
38. Cao Y, Zhang Z, Shen J, Song G, Ni Q, Li Y, et al. Derotational distal femoral osteotomy yields satisfactory clinical outcomes in pathological femoral rotation with failed medial patellofemoral ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2022;30(5):1809-17. [Crossref](#)
39. Deng X, Li L, Zhou P, Deng F, Li Y, He Y, et al. Medial patellofemoral ligament reconstruction combined with biplanar supracondylar femoral derotation osteotomy in recurrent patellar dislocation with increased femoral internal torsion and genu valgum: A retrospective pilot study. *BMC Musculoskelet Disord* 2021;22(1):990. [Crossref](#)
40. Kaiser P, Loth F, Attal R, Kummam M, Schuster P, Riechelmann F, et al. Static patella tilt and axial engagement in knee extension are mainly influenced by knee torsion, the tibial tubercle-trochlear groove distance (TT-TG), and trochlear dysplasia but not by femoral or tibial torsion. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2020;28(3):952-9. [Crossref](#)
41. Diederichs G, Kohlitz T, Kornaropoulos E, Heller MO, Vollnberg B, Scheffler S. Magnetic resonance imaging analysis of rotational alignment in patients with patellar dislocations. *Am J Sports Med* 2013;41(1):51-7. [Crossref](#)