

# ANADOLU POPÜLASYONUNDA DİSTAL FEMURUN ROTASYONEL HİZALANMASI - DİZ ARTROPLASTİSİ İÇİN STANDART KILAVUZLARIN UYGUNLUĞU

## *Rotational Alignment of the Distal Femur in the Anatolian Population - Suitability of Standard Guidelines for Knee Arthroplasty*

Oğuzhan ÇİMEN<sup>1</sup>  Ruhat ÜNLÜ<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> İstanbul Atlas Üniversitesi Tıp Fakültesi, Ortopedi ve Travmatoloji ABD, İSTANBUL, TÜRKİYE

### ÖZ

**Amaç:** Total diz artroplastisi (TDA) ameliyatında femoral komponentin rotasyonu diz kinematiği ve fonksiyonel sonuçlar açısından oldukça önemlidir. Bu çalışmanın amacı, Anadolu popülasyonunda posterior kondiler açı (PKAç) ve kondiler bükülme açısını (KBA) değerlendirmektir. Ayrıca, TDA'da kullanılan standart posterior kondiler aks (PKA) referans insizyon bloklarının Anadolu popülasyonu için uygunluğunun değerlendirilmesidir.

**Gereç ve Yöntemler:** Bu retrospektif, gözlemsel, analitik çalışmada 18-60 yaş arası 130 hastanın diz bilgisayarlı tomografi (BT) görüntüleri üzerinde ölçümler yapıldı. PKAç medial epikondiler sulkustan lateral epikondile uzanan aks (cTEA) ile PKA arasındaki açı, KBA ise medial epikondilden lateral epikondile uzanan aks (aTEA) ile PKA arasındaki açı olarak ölçüldü.

**Bulgular:** Ortalama PKAç  $3.52^{\circ} \pm 1.45^{\circ}$  ( $1.8^{\circ}$  dış rotasyon ile  $8^{\circ}$  iç rotasyon aralığı), KBA  $6.58^{\circ} \pm 1.47^{\circ}$  ( $2^{\circ}$ - $9.9^{\circ}$  iç rotasyon aralığı) olarak ölçüldü. Yüz beş diz (%80.8) PKAç açısından bireysel anatomik sınırlar içindeyken, 9'u eksternal rotasyonda (ER) ve 16'sı internal rotasyonda (İR) grubunda olmak üzere 25 aykırı değer (%19.2) vardı. BT'deki açı ölçümleri, hem gözlemci içi hem de gözlemciler arası güvenilirliği mükemmeldi.

**Sonuç:** Bu çalışma, Anadolu popülasyonunun %80.8'inde posterior kondiler referansın TDA ameliyatında femoral komponent rotasyonu için kabul edilebilir bir referans olduğu, fakat %19.2'sinde ise malrotasyona neden olacağı için uygun bir referans olmadığını göstermektedir. Ortopedik cerrahlar, TDA'yı posterior referans ekipmanı ile uygularken femoral implantı TEA boyunca düzgün bir şekilde hizalamak için diğer referans noktaları dikkate alarak cerrahi tekniği gerektiğinde değiştirmeye hazır olmalıdır.

**Anahtar Kelimeler:** Posterior kondiler aks, trans epikondiler aks, kondiler bükülme açısı, total diz artroplastisi, bilgisayarlı tomografi

### ABSTRACT

**Objective:** The rotation of the femoral component in total knee arthroplasty (TKA) is crucial for knee kinematics and functional outcomes. This study aimed to evaluate the posterior condylar angle (PCAn) and the condylar twisting angle (CTA) in an Anatolian population. Additionally, we aimed to assess the suitability of standard posterior condylar axis (PCA) reference incision blocks used in TKA for this population.

**Material and Methods:** In this retrospective, observational, analytical study, we examined knee computed tomography (CT) images of 130 patients aged 18 to 60 years. The PCAn was measured as the angle between the axis extending from the medial epicondylar sulcus to the lateral epicondyle (cTEA) and PCA. The CTA was defined as the angle between the axis extending from the medial epicondyle to the lateral epicondyle (aTEA) and PCA.

**Results:** The mean PCAn was measured as  $3.52^{\circ} \pm 1.45^{\circ}$  ( $1.8^{\circ}$  external rotation to  $8^{\circ}$  internal rotation), and the CTA was measured as  $6.58^{\circ} \pm 1.47^{\circ}$  (range  $2^{\circ}$ - $9.9^{\circ}$  internal rotation). One hundred and five knees (80.8%) were within individual anatomic limits for PCAn, while there were 25 outliers (19.2%), 9 in the external rotation (ER) group and 16 in the internal rotation (IR) group. The angle measurements on CT had excellent intra- and inter-observer reliability.

**Conclusion:** This study shows that in 80.8% of the Anatolian population, the posterior condylar reference is an acceptable reference for femoral component rotation in TKA surgery, but in 19.2%, it is not an appropriate reference because it will cause malrotation. Orthopedic surgeons should be ready to modify the surgical technique when necessary, considering other reference points to properly align the femoral implant along the TEA while performing TKA with posterior reference equipment.

**Keywords:** Posterior condylar axis, trans epicondylar axis, condylar twist angle, total knee arthroplasty, computerized tomography



Yazışma Adresi / Correspondence:

İstanbul Atlas Üniversitesi Tıp Fakültesi, Ortopedi ve

Tel / Phone: +905055273489

Geliş Tarihi / Received: 21.10.2024

Dr. Oğuzhan ÇİMEN

Travmatoloji ABD, İSTANBUL, TÜRKİYE

E-posta / E-mail: o.cimen@hotmail.com

Kabul Tarihi / Accepted: 02.11.2024

## GİRİŞ

Total diz artroplastisi (TDA) ameliyatında femoral komponentin rotasyonu diz kinematığı ve fonksiyonel sonuçlar açısından oldukça önemlidir (1,2). TDA'da uygun femoral komponent rotasyonel hizalanmasını belirlemek için çeşitli yöntemler önerilmiştir: transepikondiler aks (TEA), posterior femoral kondiler aks (PKA), Whiteside'in anteroposterior troklear çizgisi ve simetrik bir fleksiyon boşluğu oluşturmak için gereken femoral komponent rotasyonu (3-6). TEA, iki epikondili birleştiren anatomik TEA (aTEA) veya medial epikondil sulkusunu lateral epikondilin en belirgin noktasına bağlayan cerrahi TEA (cTEA) olarak belirlenir (7,8). Güncel bulgular femoral komponentin cTEA'ye paralel rotasyonel hizalama gerektirdiğini göstermektedir (9,10). Referans olarak cTEA'nin kullanılması konusunda giderek artan bir fikir birliği olmasına rağmen, bu aksın intraoperatif olarak lokalize edilmesi zor olabilir (11-13). Bu nedenle, PKA ve Whiteside'in anteroposterior troklear çizgisi gibi referanslar sıklıkla kullanılmaktadır. Genel olarak, PKA intraoperatif olarak tespit edilmesi en kolay olanıdır.

Farklı etnik gruplarda yapılan çalışmalar, distal femur ve proksimal tibianın anatomik şeklinde implant seçimini ve optimal komponent yerleşimini etkileyebilecek farklılıklar olduğunu göstermektedir (14-20). Ayrıca, aynı popülasyonda bireyler arası farklılıklar da bildirilmiştir (14). Kondiler bükülme açısı (KBA), posterior kondiler açı (PKAç) ve posterior kondillerdeki kırık kalınlığı distal femurun rotasyonu üzerinde etkilidir. Türkiye'deki total diz tasarımlarının ve cerrahi tekniklerin çoğu Batı toplumlarına dayanmaktadır. Çoğu enstrümantasyon sistemi, PKA ve cTEA arasındaki ortalama 3 derecelik farkı düzeltmek için PKA'ya göre ek 3 derece dış rotasyon içerir. Türkiye'de distal femoral anatomi ve PKA ile cTEA arasındaki açısal ilişkiyi değerlendiren yeterli çalışma bulunmamaktadır. İncesoy ve ark., 120 hastanın dizinde manyetik rezonans görüntüleme (MRG) ile PKAç ve KBA'yı ölçmüşler ve sırası ile ortalama 4° (0°-11.0°) ve 7° (0°-13.0°) olarak bildirmişlerdir (20). Bildiğimiz kadarıyla, bu çalışma dışında geniş çaplı bir radyolojik çalışma bulunmamaktadır.

Posterior kondiler açı ile cTEA arasındaki açısal ilişkiyi değerlendirmek için genellikle bilgisayarlı tomografi (BT) görüntüleme veya MRG kullanılır. Bu açısal ilişkiyi değerlendiren radyolojik çalışmalar incelendiğinde ölçüm yöntemlerinin standardize edilmediği, farklı ölçüm tekniklerinin kullanıldığı görülmektedir. Bazı çalışmalarda tek bir aksiyel kesitten ölçüm yapıldığı; bazı çalışmalarda ise ayrı kesitlerden referans noktaları belirlenerek ölçüm yapıldığı görülmektedir (4,20-24).

Bu çalışmanın amacı, diz eklemi BT taramalarını kullanarak Anadolu popülasyonunda PKAç ve KBA'yı değerlendirmektir. Ayrıca, TDA'da kullanılan standart PKA referans insizyon bloklarının Anadolu popülasyonu için uygunluğunun değerlendirilmesidir.

## GEREÇ VE YÖNTEM

Bu çalışma, daha önce elde edilen BT görüntülerinin retrospektif olarak incelendiği ve İstanbul Atlas Üniversitesi, Kurumsal İnceleme Kurulu tarafından onaylanan bir çalışmadır (Onay No: E-22686390-050.99-52631). Hastanenin elektronik arşivinde kayıtlı 2020-2024 tarihleri arasında diz BT çekimi yapılan toplan 274 görüntüden, dahil edilme kriterlerine uyan 130 hastanın diz BT görüntüleri üzerinde ölçümler yapıldı. G power analizi kullanılarak hesaplanan örneklem büyüklüğü (etki büyüklüğü: 0.5, hata olasılığı: 0.05, güç: 0.8) 64 diz olarak hesaplandı. 18-60 yaş arası bireyler çalışmaya dahil edildi. Distal femur kırığı, diz deformitesi ve diz eklemi artrozu olan bireyler çalışma dışı bırakıldı. Yaş, cinsiyet ve taraf dahil olmak üzere demografik veriler kaydedildi.

Tüm taramalar kurumdaki Optima CT660 BT tarayıcısı (GE Healthcare, Milwaukee, WI) sistemi kullanılarak, diz eklemi boyunca 0.625 mm kesitler alınarak gerçekleştirildi. Görüntü alımı sırasında hasta supin pozisyonda ve diz eklemi ekstansiyonda olacak bir pozisyondaydı. Medial epikondil, medial sulkusun orta noktası, lateral epikondilin en lateral noktası ve posterior kondillerin eklem yüzeyindeki en posterior noktalar dahil olmak üzere kemik işaret noktalarının en doğru konumunu bulmak için bir dizi görüntü tarandı. Genellikle bu noktalar aynı aksiyel kesitte bulunmuyordu ve her nokta ayrı ayrı tanımlanarak tek bir aksiyel görüntüde birleştirildi ve ölçümler buna göre yapıldı. BT taramaları DICOM yazılımına kaydedildi. Posterior femoral kondiler aks, cTEA ile PKA arasındaki açı; KBA ise, aTEA ile PKA arasındaki açı olarak ölçüldü (Şekil 1). Radyolojik ölçümler iki ortopedik cerrah tarafından yapıldı ve 2 hafta sonra tekrarlandı.

### İstatistiksel yöntemler

Tanımlayıcı istatistikler için ortalama, standart sapma, medyan, minimum, maksimum değer frekans ve yüzde kullanıldı. Değişkenlerin dağılımı Kolmogorov-Smirnov testi ile kontrol edildi. Normal dağılım göstermeyen bağımsız nicel verilerin analizinde Mann-Whitney U testleri kullanıldı. Tekrarlanan ölçüm analizi için Wilcoxon testi kullanıldı. İki gözlemci arasındaki korelasyon Intraclass Korelasyon ile test edildi. İstatistiksel analizler için SPSS 28.0 (IBM SPSS Corp.; Armonk, NY, USA) kullanıldı. p<0.05 olması istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi.

## BULGULAR

Çalışmaya dahil edilen 130 hastanın ortalama yaşı 37 (18-60) olup, 75'i (%57.7) erkek, 55'i (%42.3) kadın idi. 63 hastanın (%48.5) sağ diz, 67 hastanın (%51.5) sol diz BT görüntüsü üzerinde ölçümler yapıldı. Posterior kondiler açısı  $3.52 \pm 1.45^\circ$  ( $1.8^\circ$  dış rotasyon ile  $8^\circ$  iç rotasyon arasında), KBA  $6.58 \pm 1.47^\circ$  ( $2^\circ$ - $9.9^\circ$  iç rotasyon aralığı) olarak ölçüldü (Tablo 1). Posterior femoral kondiler açısı ve KBA ölçümünde yaş, cinsiyet ve taraf bakımından anlamlı farklılık görülmedi ( $p > 0.05$ ). Yüz beş diz (%80.8) PKAç açısından bireysel anatomik sınırlar içindeyken ( $3^\circ \pm 2^\circ$ ), 9'u eksternal rotasyonda (ER) ve 16'sı internal rotasyonda (İR) grubunda olmak üzere 25 aykırı değer (%19.2) vardı.

BT'deki açı ölçümlerinin, hem gözlemci içi hem de gözlemciler arası güvenilirliği mükemmeldi: PKAç'nin

gözlemci içi güvenilirliği her iki değerlendirici için sırası ile 0.968'di (%95 güven aralığı: GA, 0.955-0.978) ve 0.998 (%95 güven aralığı: GA, 0.998-0.999) olarak ölçüldü. PKAç'nin gözlemciler arası güvenilirliği 0.998 (%95 GA, 0.997-0.999) ölçüldü (Tablo 2).

**Tablo 1:** Hastaların demografik özellikleri

	N	%	
Cinsiyet	Erkek / Kadın	75 / 55	57.7 / 42.3
Taraf	Sağ / Sol	63 / 67	48.5 / 51.5
	Ort±SD	Medyan (min-maks)	
Yaş (yıl)	36.4±12.6	37 (18.0-60.0)	
PKAç	$3.52 \pm 1.45^\circ$	$3.6^\circ$ (-1.8°-8°)	
KBA	$6.58 \pm 1.47^\circ$	$6.6^\circ$ (2°-9.9°)	

PKAç: Posterior femoral kondiler açısı, KBA: Kondiler bükülme açısı

**Tablo 2:** Gözlemciler arası ve gözlemci içi güvenilirliği ölçmek için sınıf içi korelasyon katsayısı

Değişkenler	1. ölçüm		p w	ICC	%95 Güven Aralığı		p ICC
	Ort±SD	Ort±SD			Alt Sınır	Üst sınır	
Gözlemci içi güvenilirlik							
PKAç							
1. gözlemci	3.52±1.45	3.58±1.50	0.451	0.968	0.955	0.978	<b>0.000</b>
2. gözlemci	3.34±1.42	3.36±1.43	0.091	0.998	0.998	0.999	<b>0.000</b>
KBA							
1. gözlemci	6.58±1.47	6.61±1.48	0.636	0.988	0.984	0.992	<b>0.000</b>
2. gözlemci	6.59±1.50	6.60±1.50	0.205	0.999	0.998	0.999	<b>0.000</b>
Gözlemciler arası güvenilirlik							
PKAç	3.52±1.45	3.34±1.42	0.201	0.805	0.725	0.862	<b>0.000</b>
KBA	6.58±1.47	6.59±1.50	0.835	0.765	0.668	0.834	<b>0.000</b>

Ort: Ortalama, SD: Standart deviasyon, w: Wilcoxon testi, ICC: Sınıf içi korelasyon

## TARTIŞMA

Bu çalışmanın en önemli bulgusu, Anadolu popülasyonunun %80.8'inde PKAç'nin TDA ameliyatında femoral komponent rotasyon ayarlaması için kabul edilebilir bir referans olduğunu, fakat %19.2'sinde ise malrotasyona neden olacağı için uygun bir referans olmadığını göstermesidir. PKAç'dan 3 derecelik dış rotasyonun rutin kullanımının, hastaların yalnızca %51-91.6'sında cTEA'dan  $\pm 2^\circ$  normalize edilmiş standardı sağladığı bilinmektedir (25-28). Fitz ve arkadaşları PKAç'yi değerlendirmek için 3010 dizi, üç boyutlu BT ile taramışlar ve 2758 dizin (%91,6) PKAç'sinin  $3^\circ \pm 1^\circ$  aralığında olduğunu ve bu nedenle TDA hastalarında posterior kondillerin referans alınmasının, hastaların %92'sinde sadece 1 derecelik hata ile güvenilir olduğunu bildirmişlerdir (25). Dumla ve ark. TDA uyguladıkları 100 hastada PKAç ve KBA ölçümleri yapmışlar ve 71 dizde (%71) bu açıların kabul edilebilir sınırlar içinde olduğunu bildirmişlerdir (28). Chalmers ve ark. primer TDA uyguladıkları 100 hastanın preoperatif diz BT'lerinde distal femur rotasyonunu değerlendirmişler ve femoral rotasyonun PKAç'ye göre rutin olarak  $3^\circ$  dış rotasyonda

ayarlanmasının yalnızca 51 dizde (%51) cTEA'nın  $\pm 2^\circ$  standart sınırları içinde olduğunu bildirmişlerdir (27). Twiggs ve ark. gonartrozu olan 726 hastada üç boyutlu diz BT'si ile PKA referansını değerlendirmişler ve artrozlu dizlerde, bu referansın, 537 dizde (%74) cTEA'dan  $\pm 2^\circ$  standardize edilmiş sınırlar içinde olduğunu bildirmişlerdir (26). Bu çalışmalar distal femur rotasyonunun oldukça değişken olduğunu sadece posterior kondiler referans sistemi kullanıldığında, hastaların önemli bir kısmında diz biyomekaniklerinin bozulmasına bağlı olarak istenmeyen klinik sonuçlarda neden olabileceğini göstermektedir.

Femoral komponentin aksiyel rotasyonunun restorasyonu, TDA'da hem patellofemoral hem de tibiofemoral kinematikler ve dengeli fleksiyon boşluğu için kritik öneme sahiptir (1,2,9,29). Posterior femoral kondiler açısı, pek çok çalışmada ölçülmüştür; sonuçlardaki farklılıklar genellikle kullanılan görüntüleme yöntemleri, etnik grupların farklı olması, dizlerin normal veya artritik olması ile çalışmanın kadavralar ya da hasta kohortları üzerinde yapıp yapılmadığından kaynaklanmaktadır. Genel olarak, aTEA ve cTEA ile PKA arasındaki açının sırası ile

ortalama 6° ve 3° iç rotasyonda olduğu konusunda fikir birliği vardır (7,18,21,30,31). Berger ve ark. PKA ve TEA arasındaki bu ilişkiyi ilk olarak 75 kadavra üzerinde ölçtükten sonra tanımlamış ve bu iki aks arasındaki açıyı erkeklerde ve kadınlarda sırasıyla 3.2±1.2 ve 0.3±1.2 derece olarak bulmuşlardır (31). Griffin ve ark. 104 dizi değerlendirmek için MRG kullanmışlar ve PKA-TEA ilişkisini 3.11±1.75 derece olarak ölçmüşlerdir (32). Chalmers ve ark. TDA uyguladıkları 100 hastanın preoperatif diz BT'lerinde PKAç'yi 1.5° (3.1° dış rotasyon- 7.0° iç rotasyon) olarak ölçmüşlerdir (27). Thienpont ve ark. ameliyat öncesi 2637 dizin BT taramasında PCL ile cTEA arasındaki açıyı yine cinsiyet farkı olmaksızın 4±1.4 derece olarak bulmuşlardır (33). İncesoy ve ark. 120 hastanın 240 dizini değerlendirmek için MRG kullanmış ve PKÇ'yi 4° (0°-11.0°) olarak ölçmüşlerdir (20). Meric ve ark. bugüne kadar yapılan en geniş çalışmada 13546 BT taramasında ortalama distal femoral rotasyon açısı 3.3±1.5 derece olarak bulmuşlardır (34). Biz çalışmamızda PKAç'yi 3.52° (1.8° dış rotasyon - 8° iç rotasyon arasında) olarak ölçtük ve bu değerin yapılmış olan diğer çalışmalarda bulunan değerlerle uyumlu olduğunu gözlemledik. Gerek bizim çalışmamız gerekse de diğer çalışmalar değerlendirildiğinde her ne kadar ortalama PKAç değeri, TDA ameliyatında kullanılan 3° rotasyon ile uyumlu olsa da ölçüm aralığının oldukça değişken olduğu, bu yüzden posterior referansın tüm hastalar için kullanımının uygun olmadığını düşünmekteyiz.

MRG veya BT görüntülerinde medial sulkus belirgin olmadığına, femoral rotasyonel hizalamayı belirlemek için alternatif olarak KBA kullanılabilir (21). Yoshioka ve ark. kadavra çalışmasında KBA'yı tanımlayan ilk kişilerdir ve erkeklerde 5°, kadınlarda ise 6° olarak bildirmişlerdir (7). Önceki raporlar KBA'nın 3.6°-8.4° arasında değiştiğini göstermektedir (35). KBA değişkenliği bireysel değişkenlikten, osteoartrit şiddetinden, ölçüm yöntemlerindeki farklılıklardan veya gözlemci farklılıklarından kaynaklanıyor olabilir. Asya ve Kafkas ırklarının karşılaştırıldığı bir çalışmada, Asyalı bireylerde BKA 6.4° (0.31°-14.1°) ve Kafkasyalı bireylerde 5.5° (0°-13.1°) olarak bildirilmiştir (30). Biz çalışmamızda KBA 6.58° (2°-9.9° iç rotasyon) olarak ölçtük ve bu ölçümümüz mevcut literatür ile uyumlu görülmektedir. Fakat açılal değerler 2° ile 9.9° arasında dağıldığı için posterior referansın tüm hastalar için kullanımının uygun olmadığını düşünmekteyiz.

Bu çalışmada bazı limitasyonlar mevcuttur. İlk olarak, alt ekstremitenin mekanik aksını ölçmedik. Ayrıca çalışmaya sadece sağlıklı bireyler dahil edildi. Artrozu olan hastalar çalışmaya dahil edilmedi. Ölçümler BT ile yapıldığı için posterior kondillerdeki kırık kalınlığının ölçümlere etkisi değerlendirilmedi. Önceki çalışmalar, yaş, cinsiyet, kırık kalınlığı, artroz ve

dizilim kusuru (*malalignment*) gibi demografik ve antropometrik değişkenlerin PKA-TEA ilişkisini etkileyebileceğini gösterirken, bizim çalışmamızda yaş ve cinsiyetin bu ilişkiye etkisi olmadığı tespit edilmiştir, fakat diğer nedenlerin etkisi hakkında yorum yapamayız (31,32,36-39). Ayrıca bu çalışma sadece bir hastane veritabanı kullanılarak yapılmıştır ve tüm Anadolu'yu yansıtmayabilir.

Bu çalışma, Anadolu popülasyonunda PKAç değerinin 3.52° (1.8° dış rotasyon- 8° iç rotasyon arasında), KBA 6.58° (2°-9.9° iç rotasyon aralığı) olduğunu ve bu değerlerin yapılmış olan diğer çalışmalarda bulunan değerlerle uyumlu olduğunu göstermektedir. Bu popülasyonun %80.8'inde posterior kondiler referansın TDA ameliyatında femoral komponent rotasyon ayarlaması için kabul edilebilir bir referans olduğu, fakat %19.2'sinde ise malrotasyona neden olacağı için uygun bir referans olmadığını görülmektedir. Ortopedik cerrahlar, TDA'yı posterior referans ekipmanı ile uygularken femoral implantı TEA boyunca düzgün bir şekilde hizalamak için diğer referans noktaları dikkate alarak cerrahi tekniği gerektiğinde değiştirmeye hazır olmalıdır.

**Çıkar Çatışması Beyanı:** Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

**Araştırmacıların Katkı Oranı Beyanı:** Ana fikir/Planlama: OÇ; Analiz/Yorum: OÇ, RU; Veri Sağlama: OÇ, RU; Yazım: OÇ; Gözden Geçirme ve Düzeltme: OÇ, RU; Onaylama: OÇ

**Destek ve Teşekkür Beyanı:** Çalışma için hiçbir kurum ya da kişiden finansal destek alınmamıştır. **Etik Kurul Onamı:** Çalışmamız 30.09.2024 tarihli ve 08 sayılı İstanbul Atlas Üniversitesi Girişimsel Olmayan Bilimsel Araştırmalar Etik Kurulu onayı ile gerçekleştirilmiştir.

## KAYNAKLAR

1. Akagi M, Matsusue Y, Mata T, et al. Effect of rotational alignment on patellar tracking in total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 1999;366:155-163.
2. Victor J. Rotational alignment of the distal femur: A literature review. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2009;95(5):365-372.
3. Poilvache PL, Insall JN, Scuderi GR, Font-Rodriguez DE. Rotational landmarks and sizing of the distal femur in total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 1996;(331):35-46.
4. Griffin FM, Insall JN, Scuderi GR. The posterior condylar angle in osteoarthritic knees. *J Arthroplasty.* 1998;13(7):812-815.
5. Whiteside LA, Arima J. The anteroposterior axis for femoral rotational alignment in valgus total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 1995;321:168-172.
6. Stiehl JB, Cherveney PM: Femoral rotational alignment using the tibial shaft axis in total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 1996;331:47-55.
7. Yoshioka Y, Siu D, Cooke TD. The anatomy and functional axes of the femur. *J Bone Joint Surg Am.* 1987;69(6):873-880.

8. Kobayashi H, Akamatsu Y, Kumagai K, et al. The surgical epicondylar axis is a consistent reference of the distal femur in the coronal and axial planes. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2014;22(12):2947-2953.
9. Newbern DG, Faris PM, Ritter MA, Keating EM, Meding JB, Berend ME. A clinical comparison of patellar tracking using the transepicondylar axis and the posterior condylar axis. *J Arthroplasty.* 2006;21(8):1141-1146.
10. Miller MC, Berger RA, Petrella AJ, Karmas A, Rubash HE. Optimizing femoral component rotation in total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 2001;392:38-45.
11. Asano T, Akagi M, Nakamura T. The functional flexion-extension axis of the knee corresponds to the surgical epicondylar axis: *In vivo* analysis using a biplanar image-matching technique. *J Arthroplasty.* 2005;20(08):1060-1067.
12. Victor J, Van Doninck D, Labey L, Van Glabbeek F, Parizel P, Bellemans J. A common reference frame for describing rotation of the distal femur: A CT-based kinematic study using cadavers. *J Bone Joint Surg Br.* 2009;91(05):683-690.
13. Churchill DL, Incavo SJ, Johnson CC, Beynon BD. The transepicondylar axis approximates the optimal flexion axis of the knee. *Clin Orthop Relat Res.* 1998;356:111-118.
14. Raju S, Chinnakkannu K, Sunderayan R, Puttaswamy MK. Rotational landmarks of the distal femur in Indian population: A MRI-based study. *J Orthop Surg Res.* 2015;10:186.
15. Jabalameli M, Moradi A, Bagherifard A, Radi M, Mokhtari T. Evaluation of distal femoral rotational alignment with spiral CT scan before total knee arthroplasty (A study in Iranian population). *Arch Bone Joint Surg.* 2016;4(2):122-127.
16. Takai S, Yoshino N, Isshiki T, Hirasawa Y. Kneeling view: A new roentgenographic technique to assess rotational deformity and alignment of the distal femur. *J Arthroplasty.* 2003;18(4):478-483.
17. Yue B, Varadarajan KM, Ai S, Tang T, Rubash HE, Li G. Differences of knee anthropometry between Chinese and white men and women. *J Arthroplasty.* 2011;26(1):124-130.
18. Poilvache PL, Insall JN, Scuderi GR, Font-Rodriguez DE. Rotational landmarks and sizing of the distal femur in total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 1996;331:35-46.
19. Mahran MA, Khalifa AA, Ahmed MA, Bakr HM, Khalifa YE. Evaluating distal femoral torsion and posterior condylar line reliability for adjusting femoral component rotation in TKA, Egyptian population radiographic study. *J Clin Orthop Trauma.* 2020;13:99-105.
20. Incesoy MA, Güngören N, Aliyev O, Elmalı N, Tuncay İ, Yıldız F. Distal femur morphology and the suitability of standard guides for knee arthroplasty in the Turkish population. *Acta Orthop Traumatol Turc.* 2024;58(1):39-44.
21. Yoshino N, Takai S, Ohtsuki Y, Hirasawa Y. Computed tomography measurement of the surgical and clinical transepicondylar axis of the distal femur in osteoarthritic knees. *J Arthroplasty.* 2001;16(4):493-497.
22. Tan CM, Liao JJ, Chen WT, Cheng CK. The accuracy of posterior condylar angles measured by one MR image. *Clin Orthop Relat Res.* 2007;456:159-163.
23. Kanekasu K, Kondo M, Kadoya Y. Axial radiography of the distal femur to assess rotational alignment in total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 2005;434:193-197.
24. Lustig S, Lavoie F, Selmi TAS, Servien E, Neyret P. Relationship between the surgical epicondylar axis and the articular surface of the distal femur: An anatomic study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2008;16(7):674-682.
25. Fitz DW, Johnson DJ, Hartwell MJ, Sullivan R, Keller TJ, Manning DW. Relationship of the posterior condylar line and the transepicondylar axis: A CT-based evaluation. *J Knee Surg.* 2020;33(7):673-677.
26. Twigg JG, Dickison DM, Kolos EC, et al. Patient variation limits use of fixed references for femoral rotation component alignment in total knee arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2018;33(1):67-74.
27. Chalmers BP, Kolin DA, Mayman DJ, et al. Three degrees external to the posterior condylar axis has little relevance in femoral component rotation: A computed tomography-based total knee arthroplasty simulation study. *J Arthroplasty.* 2021;36(7S):380-385.
28. Dumlao P, Fujii H, Suetomi Y, Tokushige A, Yukata K, Sakai T. Optimizing femoral component rotation in TKA: The role of posterior condylar angle and condylar twist angle. *J Joint Surg Res.* 2023;214-221.
29. Fehring TK. Rotational malalignment of the femoral component in total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 2000;380:72-79.
30. Murgier J, Chantalat É, Li K, et al. Distal femoral torsion: Differences between caucasians and asians. A multicentre computed tomography study of 515 distal femurs. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2018;104(7):997-1001.
31. Berger RA, Rubash HE, Seel MJ, Thompson WH, Crossett LS. Determining the rotational alignment of the femoral component in total knee arthroplasty using the epicondylar axis. *Clin Orthop Relat Res.* 1993;286:40-47.
32. Griffin FM, Math K, Scuderi GR, Insall JN, Poilvache PL. Anatomy of the epicondyles of the distal femur: MRI analysis of normal knees. *J Arthroplasty.* 2000;15(03):354-359.
33. Thienpont E, Schwab PE, Paternostre F, Koch P. Rotational alignment of the distal femur: Anthropometric measurements with CT-based patient-specific instruments planning show high variability of the posterior condylar angle. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2014;22(12):2995-3002.
34. Meric G, Gracitelli GC, AramLJ, SwankML, BugbeeWD. Variability in distal femoral anatomy in patients undergoing total knee arthroplasty: Measurements on 13,546 computed tomography scans. *J Arthroplasty.* 2015;30(10):1835-1838.
35. Kobayashi H, Aratake M, Akamatsu Y, Mitsugi N, Taki N, Saito T. Reproducibility of condylar twist angle measurement using computed tomography and axial radiography of the distal femur. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2014;100(8):885-890.
36. Luyckx T, Zambianchi F, Catani F, Bellemans J, Victor J. Coronal alignment is a predictor of the rotational geometry of the distal femur in the osteo-arthritic knee. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2013;21(10):2331-2337.
37. Yip DKH, Zhu YH, Chiu KY, Ng TP. Distal rotational alignment of the Chinese femur and its relevance in total knee arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2004;19(5):613-619.
38. Won YY, CuiWQ, BaekMH, Yun TB, Han SH. An additional reference axis for determining rotational alignment of the femoral component in total knee arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2007;22(07):1049-1053.
39. Asada S, Akagi M, Matsushita T, Hashimoto K, Mori S, Hamanishi C. Effects of cartilage remnants of the posterior femoral condyles on femoral component rotation in varus knee osteoarthritis. *Knee.* 2012;19(3):185-189.