

Total diz artroplastisinde alt ekstremite dizilim felsefeleri

Lower extremity alignment philosophies in total knee arthroplasty

Vahit Emre Özden^{1,2}, Kayahan Karaytuğ^{1,2}, Göksel Dikmen^{1,2}

¹Acıbadem Mehmet Ali Aydınlar Üniversitesi Tıp Fakültesi, Ortopedi ve Travmatoloji Ana Bilim Dalı, İstanbul

²Acıbadem Maslak Hastanesi, Uluslararası Eklem Cerrahi Merkezi, İstanbul

Total diz artroplastisi (TDA), özellikle ileri evre diz osteoartriti olan hastalarda ağrıyı azaltmak ve yaşam kalitesini arttırmak için kullanılan yaygın ve etkili bir cerrahi yöntemdir. Ancak, yapılan çalışmalara göre hastaların %8-14'ü ameliyat sonrası memnuniyetsizlik yaşamaktadır. Bu memnuniyetsizlikte, kullanılan dizilim teknikleri önemli rol oynamaktadır. Klasik yaklaşım olan mekanik dizilim, femur ve tibia implantlarının frontal düzlemde mekanik aksa dik yerleştirilmesini esas alır. Bu, düz bir dizilim hattı oluşturarak implant sağkalımını arttırmayı hedefler. Ancak son yıllarda, modern implant malzemeleri ve gelişmiş tekniklerle birlikte bu yaklaşımın kişiselleştirme açısından yetersiz kalabileceği düşünülmektedir. Yeni teknikler, hastaya özgü diz anatomisini dikkate alarak daha fizyolojik bir diz hareketi sağlamayı amaçlamaktadır. Bu bağlamda farklı dizilim yöntemleri geliştirilmiş ve test edilmeye başlanmıştır. Amaç, TDA'da ideal komponent pozisyonlamasını sağlayacak tekniklerin karşılaştırmalı olarak özetlenmesi ve değerlendirilmesidir.

Anahtar sözcükler: dizilim; mekanik dizilim; kinematik dizilim; fonksiyonel dizilim; total diz artroplastisi; komponent aşınması

Total knee arthroplasty (TKA) is a common and effective surgical procedure, particularly for reducing pain and improving quality of life in patients with advanced-stage knee osteoarthritis. However, 8-14% of patients have reported dissatisfaction after surgery. Alignment techniques used during TKA play a significant role in this dissatisfaction. The classical approach, mechanical alignment, involves positioning the femoral and tibial implants perpendicular to the mechanical axis in the coronal plane. This aims to create a straight limb alignment and improve implant longevity. However, with modern implant materials and advanced techniques, this method is increasingly considered insufficient for personalization. Newer techniques aim to achieve more physiological knee motion by considering patient-specific anatomy. In this context, various alignment strategies have been developed and evaluated. The objective is to summarize and assess alignment techniques to achieve ideal component positioning in total knee arthroplasty.

Key words: alignment; mechanical alignment; kinematic alignment; functional alignment; total knee arthroplasty; component wear

Total diz artroplastisi (TDA), diz ağrısını azaltmak ve özellikle ileri evre diz osteoartritine bağlı yaşam kalitesini arttırmak için kullanılan en yaygın ve etkili cerrahi işlemlerden biridir.^[1] Buna rağmen, hastalarda %8-14 oranında diz protezi sonrası memnuniyetsizlik yaşanabilir.^[2] Diz protezi ameliyatlarında kullanılan dizilim yöntemleri, hastaların ağrısız ve daha hareketli bir yaşam sürdürebilmeleri için büyük önem taşır.

Modern cerrahi teknikler, diz artroplastisi komponentlerinin doğru bir şekilde yerleştirilmesini ve doğal diz hareketlerinin taklit edilmesini sağlar. Bu sayede, hastaların iyileşme sürecinin hızlanması ve protezin ömrünün uzatılması amaçlanır. Polietilen aşınmasını, erken imp-

lant gevşemesini ve patellar instabilite riskini azaltarak implant sağkalımını optimize etmek amacıyla total diz protezi implantları için pozisyonlamalar tanımlanmıştır. İlk Insall ve ark. implantları frontal düzlemde femur ve tibianın mekanik aksına dik olacak şekilde sistematik olarak konumlandırmıştır.^[3] Modern polietilenin aşınma direncinin artırılması ve gelişmiş sementleme yöntemleri gibi yenilikler göz önüne alındığında, bazı yazarlar mekanik dizilim tekniğinin temellerini sorgulamaya başlamış ve son zamanlarda TDA cerrahisi için anatomiye daha uygun teknikler geliştirip test etmişlerdir.

Sistematik implant pozisyonlandırması, implantların her hasta için aynı şekilde yerleştirilmesine neden olur

ve bu da hastaya özgü diz eklemi anatomisini göz ardı eder. Diz protezinde ideal yumuşak doku gerilimi ve komponent dizilimi konusu hâlen tartışmalı olduğundan, derleme, diz implantlarının pozisyonlandırılması için geliştirilen farklı dizilim yöntemlerini özetlemeyi amaçlamaktadır.

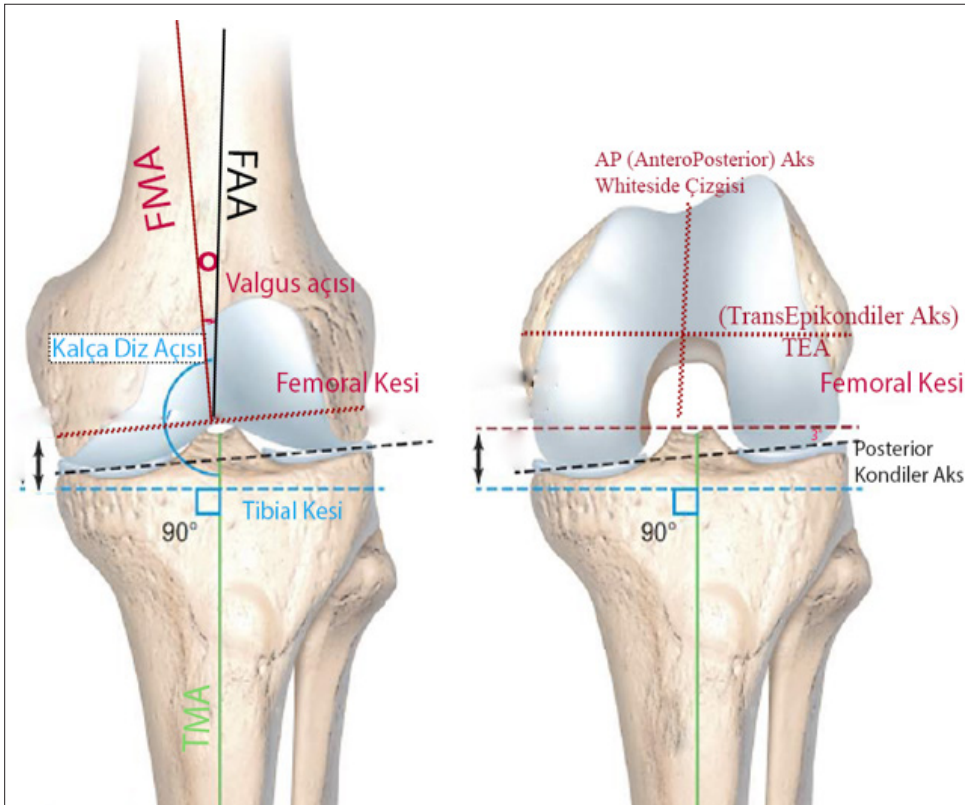
MEKANİK DİZİLİM

Mekanik dizilim, total diz protezinin uygulanması ile en yaygın olarak benimsenen dizilim yöntemi olmuştur. Bu teknik, koronal planda distal femur ve proksimal tibianın mekanik eksene dik olarak kesilmesini amaçlar; böylece alt ekstremitenin mekanik eksenini diz ekleminin merkezinden geçer ve eklem hattı mekanik eksene dik olur.

Mekanik dizilimin temel prensibi, medial ve lateral kompartmanlar arasında yük dağılımını dengeleyerek polietilen aşınmasını, kemik üzerindeki aşırı yükü ve gevşemeyi azaltmak ve protezin ömrünü arttırmaktır. Bu dizilim, koronal planda femoral ve tibial mekanik eksenlere dik olacak şekilde distal femur ve proksimal tibianın kesilmesiyle sağlanır. Uygun ekstansiyon ve fleksiyon aralıklarıyla patella izlenimini elde etmek için femoral

bileşenin rotasyonu, kemik kesi kalınlıkları ve bağ dengesi ölçülü kesim veya aralık dengeleme teknikleriyle ayarlanır.^[4,5] Fleksiyon aralık ve tibial bileşenin rotasyonu gibi koronal dizilim dışındaki faktörler de mekanik dizilim ile yapılan TDA'nın klinik sonuçlarını önemli ölçüde etkiler.^[6,7] Geleneksel olarak, femoral komponentin aksiyel rotasyonel diziliminin, proksimal tibia eklem çizgisinin sıklıkla varus yönelimini (Kafkas popülasyonunda ortalama 3°) telafi etmek amacıyla, ölçülü kesim tekniğinde olduğu gibi posterior kondiler çizgiye göre sistematik olarak 3° dış rotasyonda veya transepikondiler aksa paralel olması önerilmiştir.^[8,9] Ancak, proksimal tibia eklem hattı yöneliminin toplumda farklılık göstermesi nedeniyle, bu durum sıklıkla yeterli olmayan bir fleksiyon boşluğunun dengelenmesini gerekli kılmıştır (Şekil 1). Toplam diz artroplastisinin doğru dengelenmesine ilişkin teknik zorluklar ve bu geleneksel tekniğin sıkça gözlenen ameliyat sonrası klinik diz dengesizliklerine yol açması, femoral komponentin aksiyel rotasyonel dizilimini ayarlamak için boşluk dengeleyici tekniğinin geliştirilmesine neden olmuştur.^[10]

Nötral mekanik aks $\pm 3^\circ$ sınırları içinde sağlanmış dizilimlerin, $>3^\circ$ aksın dışındaki olgulara göre daha



Şekil 1. Koronal planda femoral mekanik aks (FMA) ve femur anatomik aks (FAA) arasındaki valgus açısı kesimin mekanik göre dizilimi sağlar. Tibial kesi tibial mekanik aks (TMA) dik bir şekilde uygulanır. Femoral komponentin rotasyonu ve posterior kondiler kesi için kullanılan üç farklı yöntem; AP aks, transepikondiler aks (TEA), posterior kondiler aks ile 3° dış rotasyon verilmesi.

başarılı revizyon oranlarına sahip olduğu gösterilmiştir.^[11] Mekanik dizilimde elde edilse bile tibial varus ve femoral valgus dizilimi olmasının revizyon oranlarını arttırdığı gösterilmiştir. Diz eklemi ile femoral ve tibial komponentlerin diziliminin her birinin ayrı ayrı başarıyı etkileyen bir faktör olduğu gözlenmiştir.^[12,13] Üç farklı protezin kullanıldığı ve bu protezler arasındaki revizyon oranının karşılaştırıldığı uzun dönem takipli çalışmalarda, ameliyat sonrası mekanik aksa göre 0-3° hizalanmanın revizyon oranı veya klinik skoru etkilemediği sonucuna varılmıştır. Ancak mekanik aksa göre 3°'lik bir gruplama yapılmış, ancak her bir derecedeki sapmanın revizyon oranı analiz edilmemiştir.^[14,15]

Mekanik dizilim yöntemi uzun yıllardır altın standart olarak kabul edilse de mekanik eksen den ne kadar sapmanın güvenli olduğu hâlâ net değildir.

ANATOMİK DİZİLİM

Hungerford ve Krackow tarafından diz eklemi çapraz bağ koruyan anatomik protezler için tanımlanan anatomik dizilimde, koronal plandaki cerrahi hedefi değiştirerek doğal dizlerde görülen oblik eklem çizgisini yeniden oluşturma yöntemi amaçlanmıştır.^[16] Ölçülü kesiyle doğal femur anatomisi yeniden oluşturulur. Femurda sabit 3° valgus ve tibiada 3° varus uygulanarak fleksiyon aralığını dengelemek için femoral komponentin dışa rotasyonuna gerek kalmaz. Böylece femoral komponent, posterior kondiler aksa hizalanır. Bu kavram, tibia üzerinde varus kesiminin hassas ve tekrarlanabilir bir şekilde yapılmasındaki teknik zorluklar nedeniyle eleştirilmiş ve bu nedenle büyük ölçüde terk edilmiştir. Bu kavram, kinematik hizalamanın öncüsü olarak değerlendirilebilir.

KİNEMATİK DİZİLİM

İlk olarak Howell ve ark. tarafından tanımlanan bu teknik, doğal diz anatomisini yeniden oluşturmayı amaçlamaktadır.^[17] Bu yaklaşım ilk olarak, hastanın dizine ait manyetik rezonans verileri temel alınarak tasarlanmış özel kesim blokları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yazılım tabanlı bir sistem, kıkırdak aşınmasını telafi ederek hastalık öncesi tibio-femoral ilişkileri yeniden oluşturmuş ve cerrahın bu anatomiyi implant yerleştirme sırasında yeniden oluşturmaya olanak sağlayacak şekilde kesim bloku tasarlanmıştır. Daha sonra, bu teknik evrilerek hedeflerin ameliyat sırasında tanımlanmasına olanak tanıyacak şekilde gelişmiştir. Cerrah, aşınmayı telafi ettikten sonra medial ve lateral femoral kondillerle medial ve lateral tibial plato yüzeylerinden simetrik rezeksiyonlar yapar. Tibial eğim ise hastanın doğal tibial eğimiyle uyumlu olacak şekilde ayarlanır. Femurun aksiyel rotasyonu, dejenerasyon telafi edildikten sonra arka kondiler aksa göre ayarlanır. Tibianın aksiyel rotasyonu ise medial ve lateral tibial plato merkezlerinden geçen bir

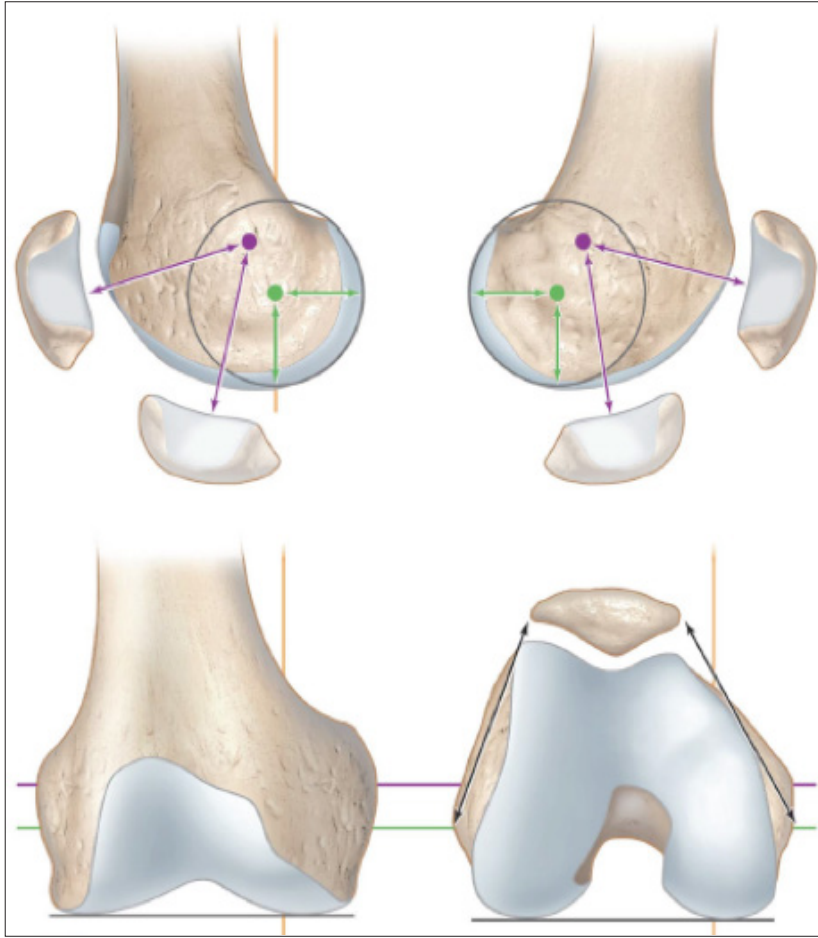
doğruya dik olacak şekilde ayarlanır. Kinematik hizalama prensibi, femurun üç kinematik eksenini temsil etmeyi amaçlar:

1. Tibianın fleksiyon ve ekstansiyon yaptığı transvers eksen,
2. Patellanın fleksiyon ve ekstansiyon yaptığı transvers eksen,
3. Tibianın femur üzerinde internal ve eksternal rotasyon yaptığı longitudinal eksen (Şekil 2). Bu yöntemle, minimum düzeyde yumuşak doku gevşetmesi yeterli olur. Ancak, koronal düzlemdeki bu yerleşim klasik ekstremité hizalamasını göz ardı eder. Bu durum, belirgin deformitesi olan hastalarda, hizalamaya bağlı erken başarısızlık riskini arttırabilir. Ancak, son dönemde yapılan komponent migrasyonu ve yük dağılımı çalışmalarında bu durumun aksi iddia edilmiştir. Kinematik hizalanmış total diz artroplastisinde, mekanik dizilim kriterlerine göre yüksek oranda varus veya valgus sınır dışı yerleşim görülmesine rağmen, intraoperatif olarak medial ve lateral kompartmanlarda ölçülen kuvvetler, sınır içinde yer alan hastalarla karşılaştırıldığında benzer bulunmuştur. Diz eklemi ne medial ne de lateral kompartmanında aşırı yüklenme olduğuna dair bir kanıt saptanmamıştır.^[18,19]

KISITLANMIŞ KİNEMATİK DİZİLİM (KKD)

İleri deformitesi olan olgular başta olmak üzere her hastaya kinematik dizilim felsefesi uygulanması fikri hâlen tartışmalıdır. İleri varus ve valgus yerleşimi nedeniyle implantlar üzerindeki yüksek stres gevşemeye ve aşırı polietilen aşınmasına yol açabilir. Total diz artroplastisi protezlerinin uzun vadeli sağkalımı için mekanik eksen den sapma eşiği hâlâ bilinmemektedir. Bu sebeple şiddetli ekstremité deformitesi olan hastalarda implant aşırı konumlandırmasını önlemek için kısıtlanmış kinematik dizilim (KKD) fikri tarif edilmiştir.^[21] Kısıtlanmış kinematik dizilim TDA'nın ilkesi, artrit öncesi eklem hattını oluşturmak ancak mekanik aks için "bazı" güvenli bölgelerle sınırlandırmaktır.^[22]

İlk ilkesi kalça diz ayak bileği (KDA) açısının eksenini $\pm 3^\circ$ içerisinde tutmaktır. İkinci prensibi eklem çizgisi oryantasyonudur. Bu prensip, hastanın bireysel anatomisini yeniden oluşturmayı hedeflerken, mekanik distal femoral açı (mDFA) ve mekanik proksimal tibial açının (mPTA) nötr pozisyona göre $\pm 5^\circ$ sınırları içinde kalmasını sağlar. Bu şekilde, eklem eğimi 5° ile sınırlandırılır ve hastaların büyük çoğunluğunun (%80) bu aralıkta yer alması güvence altına alınır. Bu prensibe uyulması sayesinde, KKD aşırı eklem oryantasyonlarından kaçınır ve mPTA'nın ortalama değeri olan $2,9^\circ$ varus ile mDFA'nın ortalama değeri olan $2,7^\circ$ valgus ile uyum sağlar. Bu yaklaşım,



Şekil 2. Tibianın ekstansiyon ve fleksiyon hareketlerini yaptığı femoral transvers eksen en distal ve posterior konumdadır (yeşil çizgi). Patellanın ekstansiyon ve fleksiyon hareketlerini yaptığı femoral transvers eksen ise daha proksimal ve anterior konumdadır (mor çizgi). Tibianın femur üzerinde internal ve eksternal rotasyon yaptığı longitudinal eksen ise medial femorotibial kompartmandan geçer (sarı çizgi). Bu üç eksenin tamamı eklem çizgilerine (siyah çizgi) dik veya paralel konumdadır.^[20]

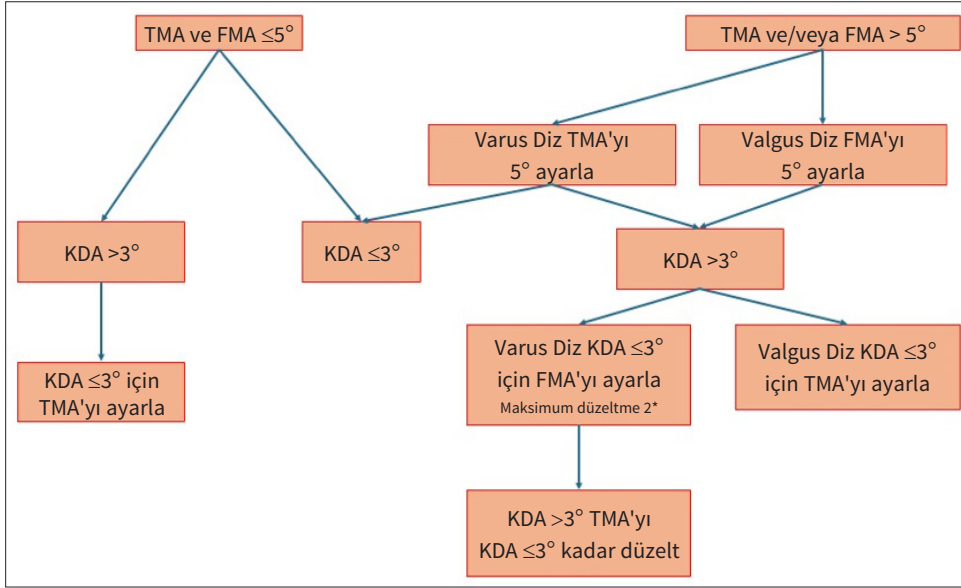
mevcut implant tasarımları ve fiksasyon yöntemleriyle uyumluluğu korurken hastanın doğal anatomisinin de korunmasını sağlar (Şekil 3).

Dizin doğal yumuşak doku dengesi korunmalı ve yumuşak doku gevşetmeleri ancak kKD ile yumuşak doku gevşetmesi, yalnızca prensipleri doğrultusunda önerilen sınır dışındaki durumlarda uygulanmalıdır. Özellikle standart derin medial kollateral ligaman (MKL) gevşetilmesinden kaçınılmalıdır. Vendittoli'ye göre, kKD sınırlarının 2-3°'den fazla anatomik düzeltme gerektirdiği durumlarda yumuşak doku gevşetmeleri gerekli olmaktadır. Örneğin, mPTA'nın 8°'den 5°'ye değiştirildiği bir varus dizde, çoğu vakada boşluk değişikliğini dengelemek için derin MKL gevşetmesi yeterli olmaktadır. Düzeltmeler sırasında öncelik olarak her zaman femur anatomisi korunması yönünde planlanmaya öncelik verilmelidir. Ayrıca düzeltmeler sırasında medial veya lateralde sağlam bölgede yüzey

değiştirme yapılırken, düzeltme miktarı daha çok hasarlı taraftan yapılır. Düzeltilecek miktar varus dizde medialde, valgus dizde lateralde düzeltmeye göre değişiklik gösterir. Böylelikle daha az miktar kemik kesimi sağlanmış olur.^[22]

İNVERS KİNEMATİK DİZİLİM

Bu dizilim felsefesinin ana çıkış noktası kinematik dizilimde yapılan tibial ilave kesilerin tibial kemik stoku ve bağ bağlantılarını feda etme potansiyeline sahip olmasıdır. Bu dizilim tekniğinde ilk olarak tibial yüzey medial ve lateralde kırıkdak kemik miktarı implantın kalınlığı kadar alınarak doğal eklem eğimi korunur. Hastaya özel anatomik tibial kesim sonrası konvansiyonel yöntemde olan aralık dengeleme tekniğiyle femoral kesiler ekstansiyon ve fleksiyon aralıkları düzenlenerek iyi dengelenmiş bir diz oluşturulur. Kinematik analizden farklı



Şekil 3. Kısıtlanmış kinematik dizilim algoritması.^[22]

TMA: Proksimal tibial mekanik aks, FMA: Distal femoral mekanik aks, KDA: Aritmetik kalça diz ayak bileği açısı.

olarak tibia kesilerle dengelemek yerine femur kesileriyle denge sağlanır. Robotik destekli bir sistem kullanarak femoral distal ve posterior kemik kesiminde bağ dengesi ayarlanır.^[23] Kalça diz ayak bileği açısı 174°-183° arasında olduğu sürece hiçbir yumuşak doku gevşetmesi uygulanmaz. Artrit öncesi doğal medial proksimal tibia açısı (MPTA) 84°-92° güvenli aralıkta oluşturulmaya çalışılır.^[24]

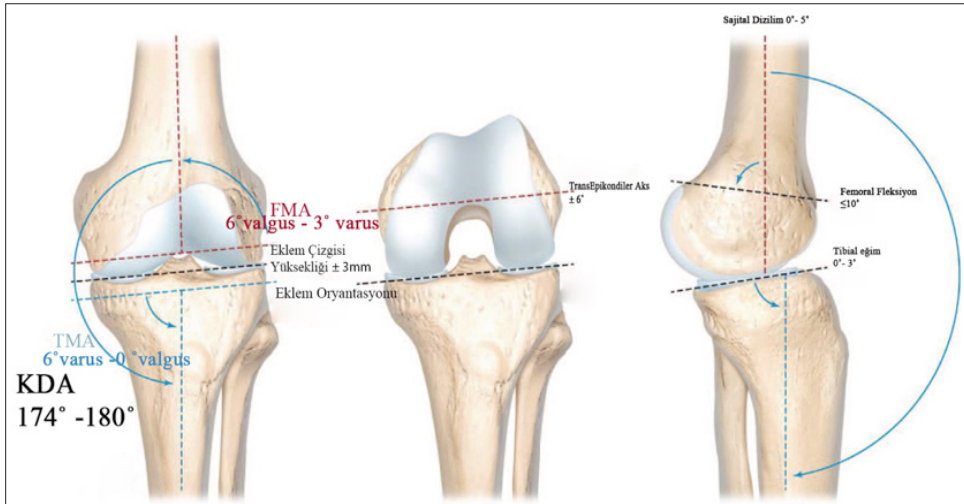
FONKSİYONEL DİZİLİM

Fonksiyonel dizilim ilkesi, yapısal dizilimi geri kazan-dırmak, dengeli fleksiyon-ekstansiyon boşlukları ve eşit mediolateral yumuşak doku gerginliği elde etmektir. Fonksiyonel dizilim, robotik destekli teknolojiyle kemik rezeksiyonlarını belirli bir sınır ve/veya minimum yumuşak doku gevşetme ayarlayarak yapılmaktadır.^[25] Fonksiyonel dizilimde, doğal bağ dokusu sınırları içinde yer alan doğal eklem çizgisi yüksekliği ve eğimi korunarak TDA sonuçları iyileştirilir.^[26] Bu teknik hem ölçülü rezeksiyon hem de boşluk dengeleme tekniklerinin öğelerini içerir. Osteofitler çıkarıldıktan sonra ekstremita hizalaması intraopera-tif olarak değerlendirilir ve deformitenin düzeltilmesi için elle uygulanan varus veya valgus kuvvetiyle koronal düzeltme yapılmasına olanak tanınır. Bu, yazılımın hem ekstansiyonda hem de 90° fleksiyonda potansiyel boş-lukların boyutunun hesaplamasını sağlar. Yumuşak doku gevşekliği profilini dikkate alarak implantı ameliyat sıra-sında hastaya özgü şekilde ayarlayan, fonksiyonel dizilim prensiplerine dayalı tekniğin, kumpas tabanlı kinematik dizilim tekniğine kıyasla anlamlı derecede daha az kemik rezeksiyonuna yol açtığı gösterilmiştir.^[27]

Günümüzde fonksiyonel dizilim için güvenli sınırlar, nihai KDA açısı ve tibial koronal dizilim açısından 6° varustan 0° valgusa kadar, femoral koronal dizilim açı-sından ise 6° valgustan 3° varusa kadar ve varus dizler için femoral rotasyon açısından cerrahi TEA'ya göre ±6° olarak belirlenmiştir.^[28] Bellemans ve ark.'nın tanımladığı doğal dizlerin %90'ı bu aralık içinde yer almaktadır.^[29]

Doğal dizin, varus pozisyonunda medial tibiofemo-ral kompartman üzerinden daha fazla yük taşıdı-ğı ve bu nedenle varus pozisyonunu tercih ettiği belirtilmektedir.^[30] Artroplastik komponentleri uygulan-dıktan sonra nötralden 7°'ye kadar olan yerleşimlerin implantın ömrünü veya gevşemesini olumsuz etkileme-den tolere edilebildiği gösterilmiştir.^[18,31] İmplant yerle-şiminde güvenli sınırlarla ilgili kanıtlar giderek artmakta ve nötral mekanik aks dışında yerleştirilen komponent-lerin erken başarısızlık riski konusundaki endişelere meydan okumaktadır (Şekil 4).^[12,30]

Total diz artroplastisinde ideal komponent yerleşimi ve ekstremita hizalaması, ameliyat sonrası hasta mem-nuniyeti ve implant sağkalımı açısından kritik öneme sahiptir. Mekanik dizilim uzun yıllardır standart yaklaşım olarak kabul edilse de bireysel anatomik farklılıkları göz ardı etmesi nedeniyle bazı hastalarda optimal sonuç-lar sağlayamayabilir. Bu nedenle, anatomik, kinematik, kısıtlanmış kinematik, invers kinematik ve fonksiyonel dizilim gibi alternatif teknikler geliştirilmiştir. Bu yöntem-ler, hastaya özgü anatomiyi ve yumuşak doku dengesini dikkate alarak daha fizyolojik ve dengeli bir diz artrop-lasti yerleşimi hedefler. Mevcut literatür, kişiselleştirilmiş dizilim stratejilerinin hem klinik sonuçları iyileştirebilece-



Şekil 4. Fonksiyonel dizilim kalça diz ayak bileği (KDA), femoral mekanik aks (FMA), tibial mekanik aks (TMA) ve transepikondiler aks.

ğini hem de implant ömrünü uzatabileceğini göstermektedir. Ancak, bu yeni yaklaşımların uzun dönem sonuçlarını değerlendiren yüksek kaliteli randomize kontrollü çalışmalara ihtiyaç vardır. Cerrahların, her hastanın bireysel anatomik ve fonksiyonel özelliklerini dikkate alarak uygun dizilim stratejisini belirlemesi, başarılı bir TDA sonucu için temel taşlardan biri olmaya devam etmektedir.

KAYNAKLAR

- Price AJ, Alvand A, Troelsen A, Katz JN, Hooper G, Gray A, et al. Knee replacement. Lancet 2018;392(10158):1672-82. [Crossref](#)
- Özden VE, Osman WS, Morii T, Pastor JCM, Abdelaal AM, Younis AS. What percentage of patients are dissatisfied post-primary total hip and total knee arthroplasty? J Arthroplasty 2025;40(2S1):55-6. [Crossref](#)
- Sharkey PF, Hozack WJ, Rothman RH, Shastri S, Jacoby SM. Insall award paper. Why are total knee arthroplasties failing today? Clin Orthop Relat Res 2002;(404):7-13. [Crossref](#)
- Hungerford DS, Kenna RV, Krackow KA. The porous-coated anatomic total knee. Orthop Clin North Am 1982;13(1):103-22. [Crossref](#)
- Poivache 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. [Crossref](#)
- Ueyama H, Kanemoto N, Minoda Y, Nakagawa S, Taniguchi Y, Nakamura H. Association of a wider medial gap (medial laxity) in flexion with self-reported knee instability after medial-pivot total knee arthroplasty. J Bone Joint Surg Am 2022;104(10):910-8. [Crossref](#)
- Ueyama H, Minoda Y, Sugama R, Ohta Y, Yamamura K, Nakamura S, et al. Malrotation of the fixed-bearing posterior stabilized total knee prosthesis causes a postoperative rotational mismatch between the femur and tibia. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2020;28(12):3810-20. [Crossref](#)
- Whiteside LA. Soft tissue balancing: The knee. J Arthroplasty 2002;17(4 Suppl 1):23-7. [Crossref](#)
- 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):40-7. [Crossref](#)
- Daines BK, Dennis DA. Gap balancing vs. measured resection technique in total knee arthroplasty. Clin Orthop Surg 2014;6(1):1-8. [Crossref](#)
- Fang DM, Ritter MA, Davis KE. Coronal alignment in total knee arthroplasty: Just how important is it? J Arthroplasty 2009;24(6 Suppl):39-43. [Crossref](#)
- Ritter MA, Davis KE, Meding JB, Pierson JL, Berend ME, Malinzak RA. The effect of alignment and BMI on failure of total knee replacement. J Bone Joint Surg Am 2011;93(17):1588-96. [Crossref](#)
- Berend ME, Ritter MA, Meding JB, Faris PM, Keating EM, Redelman R, et al. Tibial component failure mechanisms in total knee arthroplasty. Clin Orthop Relat Res 2004;(428):26-34. [Crossref](#)
- Parratte S, Pagnano MW, Trousdale RT, Berry DJ. Effect of postoperative mechanical axis alignment on the fifteen-year survival of modern, cemented total knee replacements. J Bone Joint Surg Am 2010;92(12):2143-9. [Crossref](#)
- Abdel MP, Ollivier M, Parratte S, Trousdale RT, Berry DJ, Pagnano MW. Effect of postoperative mechanical axis alignment on survival and functional outcomes of modern total knee arthroplasties with cement: A concise follow-up at 20 years. J Bone Joint Surg Am 2018;100(6):472-8. [Crossref](#)
- Hungerford DS, Krackow KA. Total joint arthroplasty of the knee. Clin Orthop Relat Res 1985;(192):23-33. [Crossref](#)
- Howell SM, Kuznik K, Hull ML, Siston RA. Results of an initial experience with custom-fit positioning total knee arthroplasty in a series of 48 patients. Orthopedics 2008;31(9):857-63. [Crossref](#)

18. Laende EK, Richardson CG, Dunbar MJ. A randomized controlled trial of tibial component migration with kinematic alignment using patient-specific instrumentation versus mechanical alignment using computer-assisted surgery in total knee arthroplasty. *Bone Joint J* 2019;101-B(8):929-40. [Crossref](#)
19. Shelton TJ, Nedopil AJ, Howell SM, Hull ML. Do varus or valgus outliers have higher forces in the medial or lateral compartments than those which are in-range after a kinematically aligned total knee arthroplasty? Limb and joint line alignment after kinematically aligned total knee arthroplasty. *Bone Joint J* 2017;99-B(10):1319-28. [Crossref](#)
20. Lustig S, Sappey-Marini r E, Fary C, Servien E, Parratte S, Bataill r C. Personalized alignment in total knee arthroplasty: Current concepts. *SICOT J* 2021;7:19. [Crossref](#)
21. Almaawi AM, Hutt JRB, Masse V, Lavigne M, Vendittoli PA. The impact of mechanical and restricted kinematic alignment on knee anatomy in total knee arthroplasty. *J Arthroplasty* 2017;32(7):2133-40. [Crossref](#)
22. Vendittoli PA, Martinov S, Blakeney WG. Restricted kinematic alignment, the fundamentals, and clinical applications. *Front Surg* 2021;8:697020. [Crossref](#)
23. Winnock de Grave P, Kellens J, Luyckx T, Tampere T, Lacaze F, Claeys K. Inverse kinematic alignment for total knee arthroplasty. *Orthop Traumatol Surg Res* 2022;108(5):103305. [Crossref](#)
24. Winnock de Grave P, Van Crielinge T, Luyckx T, Moreels R, Gunst P, Claeys K. Restoration of the native tibial joint line obliquity in total knee arthroplasty with inverse kinematic alignment does not increase knee adduction moments. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2023;31(11):4692-704. [Crossref](#)
25. Kayani B, Konan S, Tahmassebi J, Oussedik S, Moriarty PD, Haddad FS. A prospective double-blinded randomised control trial comparing robotic arm-assisted functionally aligned total knee arthroplasty versus robotic arm-assisted mechanically aligned total knee arthroplasty. *Trials* 2020;21(1):194. [Crossref](#)
26. Oussedik S, Abdel MP, Victor J, Pagnano MW, Haddad FS. Alignment in total knee arthroplasty. *Bone Joint J* 2020;102-B(3):276-9. [Crossref](#)
27. Shatrov J, Bataill r C, Sappey-Marini r E, Gunst S, Servien E, Lustig S. Kinematic alignment fails to achieve balancing in 50% of varus knees and resects more bone compared to functional alignment. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2022;30(9):2991-9. [Crossref](#)
28. Shatrov J, Battel r C, Sappey-Marini r E, Gunst S, Servien E, Lustig S. Functional alignment philosophy in total knee arthroplasty - rationale and technique for the varus morphotype using a CT based robotic platform and individualized planning. *SICOT J* 2022;8:11. [Crossref](#)
29. Bellemans J, Colyn W, Vanden neucker H, Victor J. The Chitranjan Ranawat award: Is neutral mechanical alignment normal for all patients? The concept of constitutional varus. *Clin Orthop Relat Res* 2012;470(1):45-53. [Crossref](#)
30. Insall JN, Binazzi R, Soudry M, Mestriner LA. Total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res* 1985;(192):13-22. [Crossref](#)
31. Tibbo ME, Limberg AK, Perry KI, Pagnano MW, Stuart MJ, Hanssen AD, et al. Effect of coronal alignment on 10-year survivorship of a single contemporary total knee arthroplasty. *J Clin Med* 2021;10(1):142. [Crossref](#)