

Robotik total diz artroplastisi (MAKO)

Robotic total knee arthroplasty (MAKO)

Reha Tandoğan^{1,2}, Asım Kayaalp^{1,2}, Kerem Başarır³

¹Ortoklinik, Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği, Ankara

²Çankaya Hastanesi, Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği, Ankara

³Özel Muayenehane, Ankara

MAKO sistemi görüntü temelli, yarı aktif bir robotik sistemdir. Bütün ekstremitenin bilgisayarlı tomografisiyle elde edilen görüntülerinden, üç boyutlu gerçek diz modelinin üzerinde planlama ve ölçümler yapılır. Eklem aralığı ekstansiyonda ve fleksiyonda medial ve lateralde birbirinden bağımsız olarak ölçülür ve hedeflenen koronal dizilim sınırları içinde kalarak, komponent pozisyonlarında yapılan küçük değişikliklerle bağ dengesi sağlanır. Sistematik veya kişiye özel bütün dizilim felsefeleri robotik sistemle uygulanabilir, ancak tavsiye edilen hem kemik rezeksiyonu hem de yumuşak doku laksitesinin göz önüne alındığı fonksiyonel dizilim yönteminin seçilmesidir. Robotik sistemlerle daha az kemik rezeksiyonu, daha doğru implant boyutu ve yerleşimi, daha hassas ekstremitte dizilimi ve bağ dengesi ayarlaması yapılabildiği gösterilmiştir. İntramedüller kanala dokunulmaması ve bağ gevşetmesinin gerekli olmaması nedeniyle kan kaybı daha az ve ameliyat sonrası erken dönem daha konforludur. Sistematik dizilim felsefeleri uygulandığında uzun dönem klinik sonuçlar ve sağkalım üzerindeki olumlu etkileri henüz doğrulanmamıştır. Buna karşın kişiye özel dizilim felsefeleri tercih edildiğinde, robotik cerrahinin klinik sonuçları ve hasta memnuniyeti manuel total diz artroplastisinden üstündür. Öğrenme eğrisi 10 olgu civarındadır. Deneyim kazanılana kadar ameliyat süresinin uzun olması, bilgisayarlı tomografi için ek radyasyon maruziyeti ve robotik yansıtıcıları kemiğe tespit etmek için gerekli Schanz vidası deliklerinden kırık riski sisteme özgü sorun ve komplikasyonlardır.

Anahtar sözcükler: total diz artroplastisi; robotik; dizilim; yumuşak doku dengesi

The MAKO system is an image-based, semi-active robotic arm. All planning and measurements are performed on a real three-dimensional image of the knee created from a computed tomography scan of the whole extremity. Extension and flexion gaps can be assessed independently on the medial and lateral side using dynamic measurements. The desired coronal alignment can be achieved by making small adjustments of the component positions within safe boundaries. Both systematic and personalized alignment strategies can be implemented with the robotic system, however, functional alignment, which takes into account both bone resections and soft tissue laxity is preferred. Robotic total knee arthroplasty leads to less bone resections, more accurate implant sizing and positioning, better extremity alignment and soft tissue balance compared to manual arthroplasty. Avoidance of the intra-medullary canal and ligament releases leads to less blood loss and improved patient comfort during the early post-operative period. No superiority of robotics in clinical outcomes and survivorship have been shown compared to manual total knee arthroplasty if mechanical alignment is the goal. However, better clinical scores and patient satisfaction can be achieved using functional alignment strategies and robotics. The learning curve is around 10 cases. Increased operative times for beginners, the additional radiation exposure needed for the computed tomography scan and the risk of fractures originating from the holes of the Schanz screws used to fix the robotic arrays to the bone are issues and complications specific to robotic arthroplasty.

Key words: total knee arthroplasty; robotic; alignment; soft tissue balance

MAKO (Stryker) platformu, yarı-aktif bir robotik total diz artroplastisi sistemidir. Bu sistem görüntü temelli olup ameliyat öncesinde bütün ekstremitenin bilgisayarlı tomografisi (BT) sonrası elde edilen üç boyutlu gerçek diz modeli üzerinden planlama ve ameliyatın gerçekleştirilmesini sağlar.^[1] Robotik kola bağlı olan testere, sadece planlanan açı ve derinlikte çalışır. Bu sınırların sonuna yaklaştığında sesli uyarılar-

la uyarır, cerrahı mekanik olarak engeller, buna haptik geri bildirim adı verilir. Hastanın gerçek diz verilerinden elde edilen üç boyutlu modeli üzerinden ekstremitte diziliminin bütün parametrelerinin hassas olarak ölçülebilmesi, yüksek doğruluk ve hassasiyetle kemik kesilerinin yapılabilmesi, ameliyatın her aşamasında yumuşak doku dengesinin dinamik olarak değerlendirilebilmesi sebebiyle kişiselleştirilmiş dizilim felsefelerinin uygulanması

İletişim / Contact: Prof. Dr. Reha Tandoğan • **E-posta / E-mail:** rtandogan@ortoklinik.com

ORCID ID: Reha Tandoğan, 0000-0002-4158-3498 • Asım Kayaalp, 0000-0002-7836-5064 • Kerem Başarır, 0000-0001-6247-8737

Geliş / Received: 31 Mart 2025 • **Revizyon / Revised:** 5 Haziran 2025, 11 Haziran 2025 • **Kabul / Accepted:** 13 Haziran 2025

için ideal sistemlerden bir tanesidir. Sistem implanta özgüdür ve başka üreticilerin implantlarının yerleştirilmesine izin vermez. Bütün ameliyatlarda, MAKO *product specialist* (MPS) adı verilen, sistem hakkında üst düzey eğitime sahip teknik elemanların bulunması zorunludur. Cerrahların bu sistemi kullanabilmeleri için üretici firma tarafından düzenlenen teorik, pratik ve kadavrada uygulama aşamalarını içeren kursu başarıyla tamamlayıp sertifikaya olmaları gerekir.

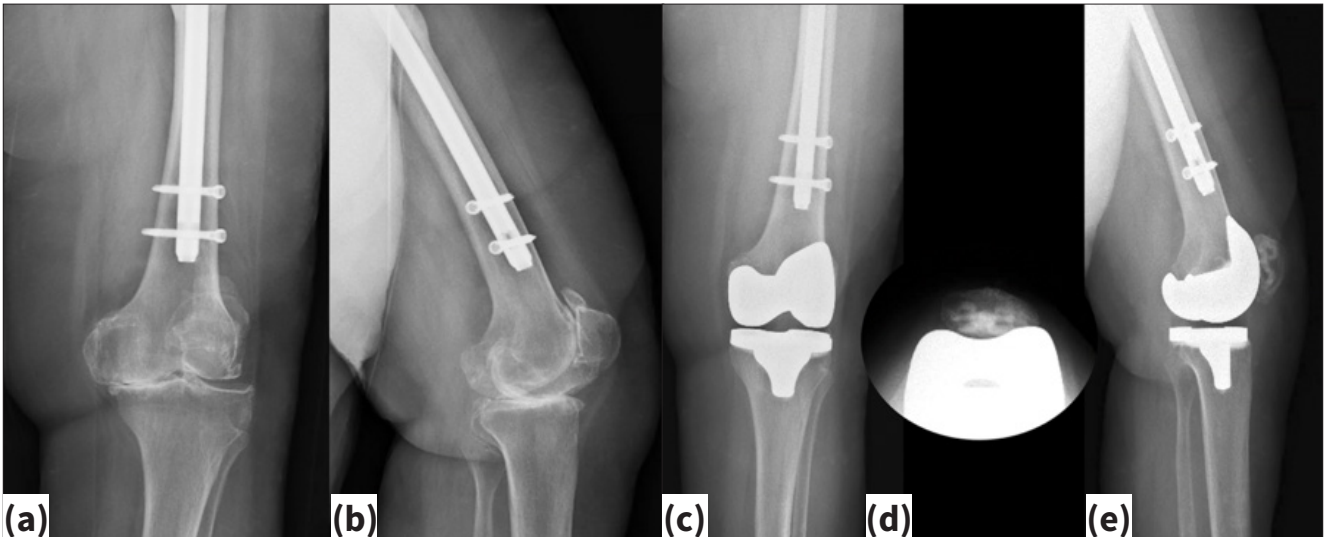
HASTA SEÇİMİ

Primer total diz artroplastisi endikasyonu olan bütün hastalar robotik total diz artroplastisi için uygundur. Özellikle femurda intramedüller kanalı dolduran implantları olan hastalarda, implantları çıkarmaya gerek kalmadan robotik cerrahi uygulanabilir (Şekil 1). İleri deformite ya da kemik kaybı olan hastalarda hem cerrahi planlaması hem de deformite düzeltilmesi açısından robotik cerrahi çok yararlıdır (Şekil 2). Henüz ülkemizde revizyon diz artroplastisi uygulaması için uygun yazılım olmamakla birlikte, deneyimli ellerde unikondiler artroplastiden total diz artroplastisine dönüşüm ya da komponentlerde bariz hareket olmayan primer diz artroplastisi revizyonlarında endikasyon dışı (*off-label*) olarak kullanımı mümkündür. Günümüzde sadece artrodez bozulması bir kontrendikasyon olarak karşımıza çıkmaktadır.

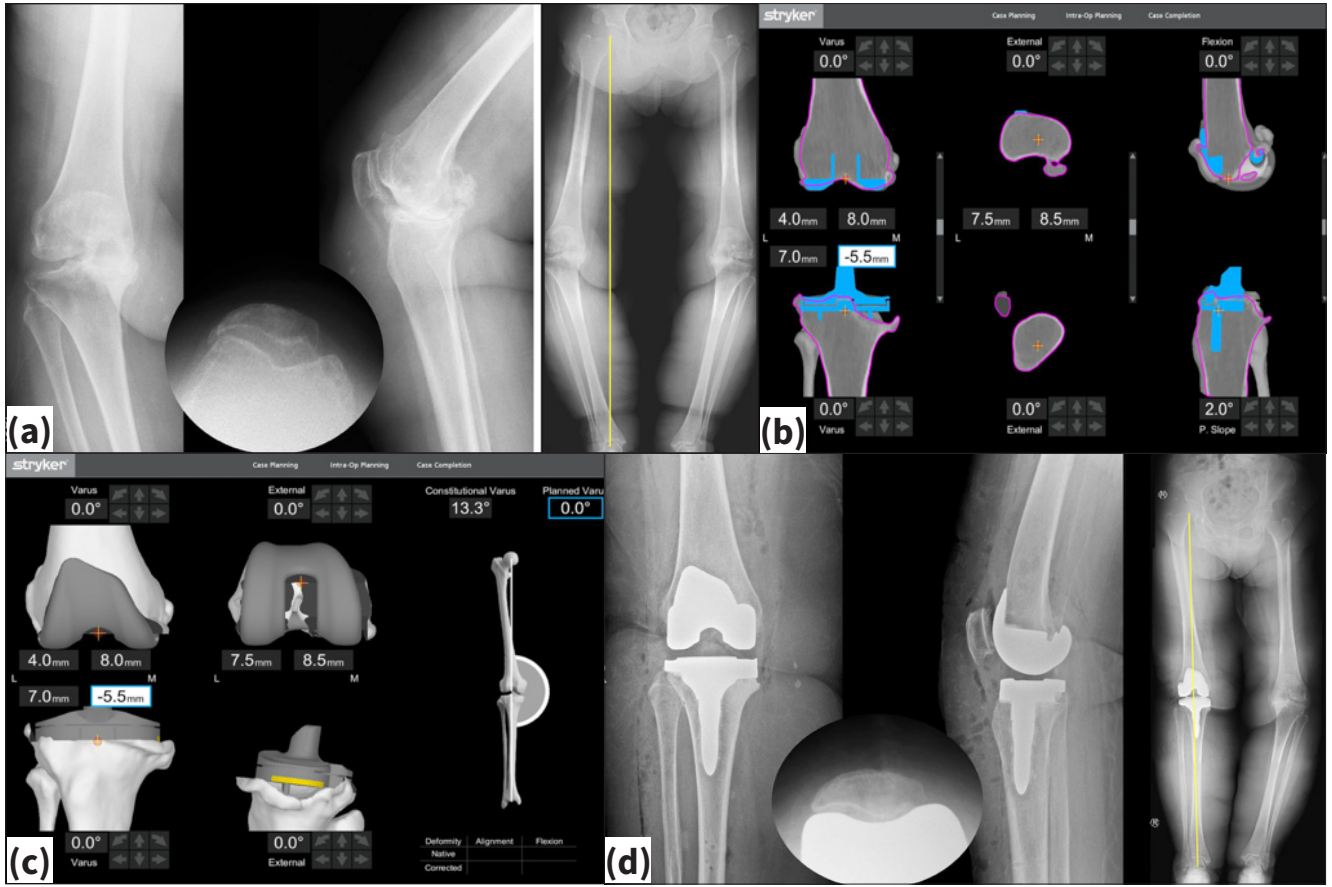
AMELİYAT ÖNCESİ PLANLAMA

MAKO, görüntü temelli olduğu için ameliyat öncesi bütün ekstremitenin sisteme özgü bir protokol ile BT kesitleri alınır. Bu görüntülerden elde edilen üç boyut-

lu diz modeli, hastanın gerçek deformitesini, kemik kaybını ve dizilimini yansıtır. Görüntü temelli olmayan sistemlerde ise bütün bunlar, ameliyat sırasında kemik yüzeylerin tanıtılmasıyla elde edilen sanal bir diz modeli üzerinden yapılabilir. Ameliyat öncesi planlama, sistemin ölçümleri yapabilmesi için gerekli olan anatomik referans noktalarını üç boyutlu BT görüntülerinde işaretleyip doğrulaması ile başlar (Şekil 3). Bu aşama çok önemlidir zira sistem bütün planı bu noktalar üzerine inşa edecektir. Sonrasında hasta için en uygun boyut ve yerleşimde olacak şekilde implant planlamasına geçilir. Kullanılacak olan femoral implantın *single radius* olduğu ve tibial komponentin simetrik olduğu göz önüne alınarak implant kalınlığı kadar kemik kesileri planlanır, hastanın trokleası ile implant troklear oluşunun uyumuna dikkat edilir. Robotik sistem hastanın lateral distal femoral açısı (LDFA), medial proksimal tibial açısı (MPTA), eklem çizgisi oblikitesi (JLO) gibi bütün koronal düzlem açılarını ve *coronal plane alignment classification* (CPAK) tipini bir informatik sayfasında cerraha sunar.^[2] Robotik sistemle, cerrahın tercihinin bağlı olarak bütün sistematik (mekanik, ayarlanmış mekanik veya anatomik) veya kişiselleştirilmiş (kinematik, kısıtlı kinematik, ters kinematik ve fonksiyonel dizilim) dizilim felsefeleri uygulanabilir.^[3] Robotun bir dizilim önermesi söz konusu değildir, cerrah hangi dizilim felsefesini uygulayacaksa, robotik sistem bunun büyük bir doğruluk ve hassasiyetle gerçekleştirilmesine yardımcı olur. Cerrah tarafından yapılan bu plan robota yüklenir ancak bu nihai uygulanacak olan plan değildir. Hastanın yumuşak doku dengesini sağlayacak şekilde bu plan ameliyat sırasında revize edilecektir.



Şekil 1.a-e. Bisfosfonat kırığı nedeniyle femoral intramedüller çivileme yapılmış olan hastada robotik total diz protezi uygulanması. Ameliyat öncesi sol diz ön-arka (a) ve yan (b) grafisi, ameliyat sonrası sol diz ön-arka (c), patella tanjensiyel (d) ve yan (e) grafisi intramedüller çivi çıkartılması gerekmeden sol diz total diz protez ameliyatı yapılmıştır.



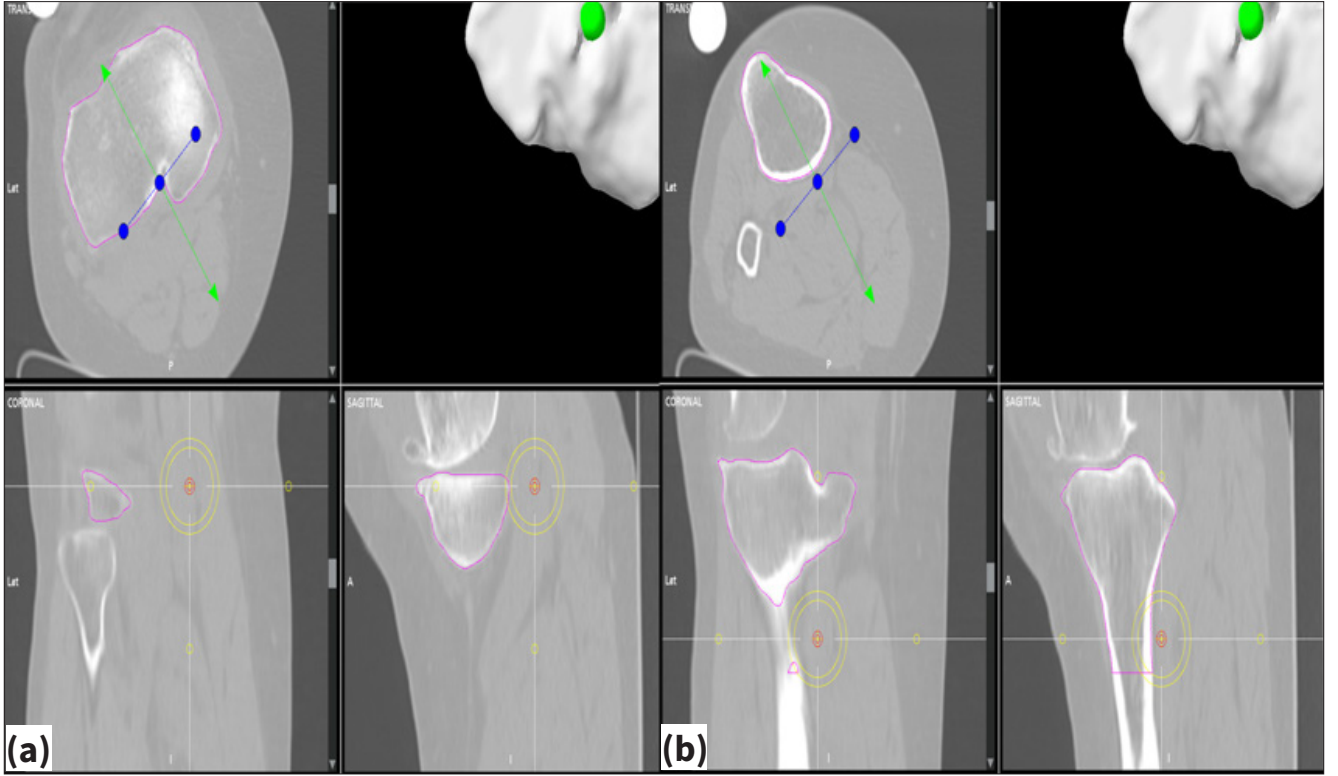
Şekil 2.a-d. İleri varus ve medial tibial platoda kemik kaybı olan hastada robotik sağ total diz artroplastisi uygulanması. Ameliyat öncesi grafileri (a), robotik cerrahi kesilerin planlanması (b), üç boyutlu planlamada implant yerleşimi (c), ameliyat sonrası grafileri (d).

CERRAHİ AÇILIM VE DİZİN ROBOTA TANITILMASI

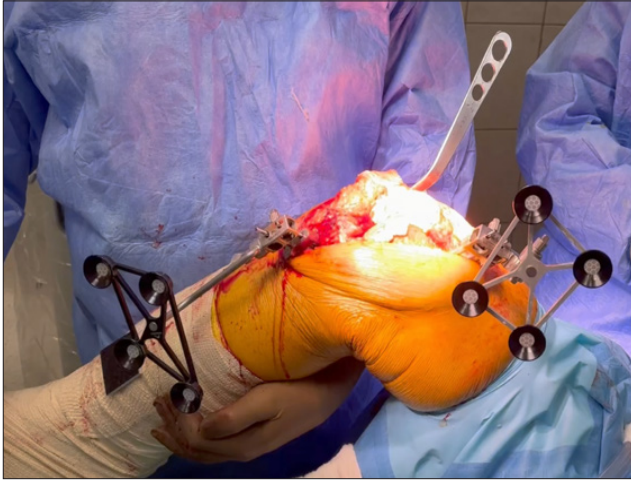
Standart steril hazırlık ve örtülme sonrası, cerrahin tercih ettiği yaklaşımlardan herhangi birisi kullanılarak diz eklemine ulaşılır. Robotik sistemin kamerasının, dizin uzaydaki üç boyutlu pozisyonu ve anlık hareketlerinden haberdar olması için dizin robota tanıtılması gerekir. Bunun için femur ve tibiya “array” adı verilen yansıtıcılar ikişer adet 3,5 milimetre (mm)’lik Schanz vidası ile yerleştirilip tespit edilir. Başlangıç seviyesinde femur ve tibiya diyafizlerine ayrı kesilerle yerleştirilen bu arraylar, cerrahin deneyimi arttıkça insizyon içine metafizer olarak da yerleştirilebilir (Şekil 4). Sonrasında herhangi bir osteofit temizliği veya bağ gevşetmesi yapılmadan dizin orijinal hâli *probe* adı verilen kalem şeklinde arraylar ile robota tanıtılır. Bu tanıtımın 0,5 mm’den daha az bir hatayla yapılması gerekir, yoksa sistem ilerlemeye izin vermez. Tanıtım ve doğrulama işlemi tamamlandıktan sonra osteofit temizliği yapılır ve deformitenin düzeltilebilir olup olmadığı, kontraktürler ve dizin doğal dizilimi ölçülür.

FONKSİYONEL DİZİLİM VE YUMUŞAK DOKU DENGESİNİN SAĞLANMASI

Robotik cerrahinin temel felsefesi, yumuşak doku dengesinin komponent yerleşimindeki küçük açısal değişimlerle sağlanması ve geniş bağ gevşetmelerinden kaçınılmasıdır. Mekanik dizilim felsefesinde klasik olarak fleksiyon ve ekstansiyon aralıklarının medial ve lateralde eşit olacak bir dikdörtgen şeklinde olması hedeflenir. Oysa doğal dizlerde hem ekstansiyon hem fleksiyonda dizde bir miktar fizyolojik lateral laksite vardır. Bu nedenle son yıllarda, diz protezinde hem fleksiyonda hem ekstansiyonda birkaç mm lateral laksitenin korunması tercih edilmektedir. MAKO sisteminde, medial ve lateral eklem laksitesinin fleksiyon ve ekstansiyonda, bağımsız olarak dinamik ölçümü mümkündür. Ölçülen yumuşak doku laksitesi istenen sınırlara getirilip hastanın fenotipine uygun bir koronal ve rotasyonel dizilimin sağlanması, fonksiyonel dizilim felsefesinin temellerinden birisidir. Çankaya Hastanesi Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği deneyiminde fonksiyonel dizilim uygulanan ilk 800 robotik cerrahi olgusunun sadece 23 olgusunda (%2,8) ilave bağ gevşetmesine gerek olmuştur. Mekanik dizilim uygulanan hastaların %50-70’inde ilave bağ gevşetmesi



Şekil 3.a,b. Robotik total diz artroplastisinde, hastanın gerçek üç boyutlu diz modelinde tibial rotasyonun belirlenmesi için Akagi çizgisinin çizilmesi. Arka çapraz bağ tibial yapışma yerinin orta noktasının bulunması (a), tibial tüberkül 1/3 medial noktasının bulunması (b).



Şekil 4. Robotik yansıtıcıların insizyon içine yerleştirilmesi.

ihtiyacı olduğu göz önüne alındığında bu çok önemli bir kazanımdır.

Kişiye özel dizilim felsefelerinin amacı, hastanın aşırı deformitesini korumak değildir. Burada amaç, eklem çizgisi yüksekliği ve açısı korunarak hastanın deformitesinin güvenli sınırlara getirilmesidir. Böylece hastanın ameliyat öncesi fenotipi korunabilir ve daha yüksek unutulmuş diz skorları (*forgotten joint score*, FJS) elde

edilebilir. Bu konudaki ayrıntılı planlama hedeflerine Shartov ve ark. makalesinden ulaşılabilir, ama kabaca hedefler varus dizleri güvenli varus (0-5°) sınırında tutmak, valgus dizleri ise nötrale getirmek, eklem çizgisini ± 3 mm sınırında tutmak olarak özetlenebilir.^[4] Diğer bütün kişiye özel dizilim felsefeleri kemik kesileri temelidir, yani protez kalınlığı kadar kemik çıkarıldığında bağ dengesinin otomatik olarak sağlanacağı varsayılır. Buna karşın fonksiyonel dizilimde hem hastanın yumuşak doku dengesi hem de fenotipi göz önüne alınarak kemik kesileri yapılır (Şekil 5).

Kemik kesileri, robotik kol kullanılarak hem ekran hem de cerrahi alan kontrol edilirken yapılır. Robotik kol önce testerenin hizalamasını yapar, sonra uygun sınırlara kadar kesilmesini kontrol eder, kesme işlemi aktif robotların aksine cerrah tarafından yapılır. Herhangi bir kesi kılavuzuna gerek yoktur (Şekil 6). Patella kesisi elle yapılır.

Kemik kesileri tamamlanıp deneme protezleri yerleştirildikten sonra hastanın istenen dizilim ve bağ dengesinin sağlandığı test edilir. Kalıcı implantlar yerleştirildikten sonra kayıt amaçlı bir kez daha dizilim ve bağ dengesi ölçümleri tekrarlanabilir.



Şekil 5.a-e. Robotik total diz artroplastisinde fonksiyonel dizilim uygulanması. Varus gonartrozun ameliyat öncesi diz grafileri (a), mekanik dizilim parametreleri uygulandığında ortaya çıkan bağ dengesi, medial sıkı, lateral gevşek, medial gevşetme ve daha kalın polietilen insert gerekli (b), fonksiyonel dizilim uygulandığında bağ dengesi, 2,5° tibial varus ve 3° femoral dış rotasyon ile hedeflenen yumuşak doku gevşetmesine bağ gevşetmesine gerek olmadan ulaşılmış (c), ekstansiyon ve fleksiyonda bağ dengesi ölçümlerinde medial laksite yok, lateral fizyolojik laksite korunmuş (d), ameliyat sonrası diz grafileri (e).



Şekil 6.a,b. Robotik total diz artroplastisi kemik kesilerinin robotik kol yardımıyla yapılırken cerrah monitörden kesinin gerçek zamanlı izlenmesi (a,b).

AMELİYAT SONRASI ERKEN DÖNEM

Robotik cerrahi sonrası erken dönem, manuel total diz artroplastisine göre daha konforludur. İntramedüller kanal açılmadığı için kan kaybı daha azdır. Yumuşak doku

gevşetmeleri yapılmadığı için hastanın ağrısı daha az, diz hareket açıklığının kazanılması daha kolaydır. Hem dren sıvısı hem de kandan alınan örneklerde C reaktif protein (CRP), sedimentasyon, interlökin 6 (IL-6) ve interlökin 8

(IL8) gibi gibi enflamatuvar belirteçlerin robotik cerrahi sonrası daha düşük olduğu gösterilmiştir.^[5] Bu da erken dönemde fonksiyonel hedeflere daha kolay ulaşılmasını sağlar.^[6,7] Bazı meta-analizlerde daha kısa yatış süresi bildirilmiş olmasına rağmen, modern multi-modal analjezi yöntemleri kullanıldığında çok ciddi bir fark olması beklenmez.^[8]

RADYOLOJİK SONUÇLAR

Robotik cerrahi sonrası daha doğru implant boyutu, yerleşimi ve ekstremitte dizilimi sağlanabildiği tartışmasızdır. MAKO sisteminin hassasiyeti 1 mm ve 1°'nin altında olarak bulunmuştur.^[9] Yapılan bütün çalışmalarda, manuel diz artroplastisiyle karşılaştırıldığında radyolojik parametrelerin tamamının robotik cerrahiyle daha iyi olduğu gösterilmiştir. Fu ve ark.'nın, 2.863 hastayı içeren 12 çalışmanın incelendiği güncel meta-analizinde, istenen radyolojik hedeflere ulaşmada ve *outlier*ları azaltmada robotik cerrahinin daha üstün olduğu doğrulanmıştır.^[10]

Kort ve ark.'nın 10 meta-analizi değerlendirdiği çalışmasında, komponent pozisyonunda robotik cerrahinin üstün olduğu gösterilmiştir.^[11] Robotik sistemler arasında doğruluk ve hassasiyet açısından bariz farklar yoktur. Bütün sistemler olguların %90'ında 1 mm ve 1°'nin altında bir doğruluk oranıyla çalışırlar.^[12]

KLİNİK SONUÇLAR

Komponent pozisyonu ve ekstremitte dizilimindeki üstünlüklerine rağmen, robotik cerrahinin klinik sonuçlar, hasta memnuniyeti ve sağkalım konusunda manuel cerrahiye olan üstünlüğü henüz kesin değildir. Bazı meta-analizlerde robotik cerrahinin klinik skorlar üzerinde olumlu etkileri bulunurken diğer bazı çalışmalarda robotik cerrahinin manuel cerrahiye üstünlüğü gösterilememiştir.^[11,13,14] Bunun birkaç sebebi vardır. Robotik cerrahi sürekli gelişen bir teknolojidir, uzun süreli izlem sonuçları bildirilen makaleler artık kullanılmayan ilk jenerasyon teknolojilerin sonuçlarını sunmaktadır ve güncel teknolojileri yansıtmamaktadır. İkinci sebep, meta-analizlerde incelenen yayınlar sistematik dizilim felsefeleri kullanılarak yapılan cerrahilerdir. Robotik cerrahi, mekanik dizilim elde etmek için kullanıldığında sonuçları manuel cerrahiden farksızdır. Bensa ve ark., 14 randomize kontrollü çalışmanın gözden geçirmesinde, hedef mekanik dizilim olduğunda, robotik cerrahinin manuel cerrahiden üstün olmadığını göstermişlerdir.^[15] Aynı implant ve robot kullanılarak aynı ekibin yaptığı total diz protezlerinde, mekanik dizilim ve fonksiyonel dizilim karşılaştırıldığında, kişiselleştirilmiş dizilim uygulanan grupta daha üstün hareket açıklığı ve daha yüksek unutulmuş eklem skorları bulunmuştur.^[16] Benzer şekilde Kafelov ve ark., fonksiyonel dizilim ve MAKO siste-

mi kullanılarak yapılan diz protezlerini, manuel kısıtlı kinematik dizilim hedeflenen protezlerle karşılaştırdıklarında, fonksiyonel dizilimle daha üstün unutulmuş eklem skorları saptamışlardır.^[17] Batallier ve ark., MAKO sisteminin kullanıldığı 26 çalışmanın meta-analizinde, robotik cerrahi ile daha düşük erken ağrı skorları ve daha kısa hastanede kalış süresi, ve iki yılda daha üstün WOMAC skorları saptamışlardır.^[8] Sonuç olarak, kişiselleştirilmiş dizilim felsefeleri uygulandığında robotik cerrahinin konvansiyonel cerrahiden klinik sonuçlar ve hasta memnuniyeti açısından üstün olduğu söylenebilir.

SORUNLAR VE KOMPLİKASYONLAR

Robotik total diz protezi sonrası görülen komplikasyon oranları manuel cerrahi ile benzerdir. Zhang ve ark., 16 çalışmanın meta-analizinde artrofibrozis, enfeksiyon, yara sorunları ve diğer komplikasyonların manuel cerrahiye benzer olduğunu bulmuşlardır. Alrajeb ve ark., yedi randomize kontrollü çalışmanın incelenmesinde, komplikasyon oranlarının manuel cerrahiden farksız olduğunu bulmuşlardır.^[13] Buna karşın robotik cerrahinin kendine özgü sorunları vardır. İşlem süresi manuel cerrahiden daha uzundur. Cihazın kalibrasyonu, örtülmesi ve dizin tanıtımı için geçen 25-30 dk'lık süre, cerrahin ve ekibin deneyiminin artmasıyla zaman içinde azalır ve manuel cerrahi ile benzer hâle gelir. Çeşitli çalışmalarda, MAKO sisteminin öğrenme eğrisinin 10-15 olgu olduğu gösterilmiştir.^[18] Başlangıçta süre daha uzun olmasına rağmen, işlemin doğruluğu ve hassasiyeti ilk olgudan itibaren mükemmeldir. Üç boyutlu planlama için gereken BT sırasında alınan ilave radyasyon göz önüne alınmalıdır. Yansıtıcıların kemiğe tespit edilmesi sırasında kullanılan Schanz vidası deliklerinden kırık oluşma riski %0,2 olarak rapor edilmiştir.^[19] Schanz vidasının çapının küçültülmesi ve diyafiz yerine metafize yerleştirilmesi ile bu oran azaltılmıştır. İşlem sırasında teknik sorunlar nedeniyle manuel cerrahiye geçme insidansı çok düşüktür. Çankaya Hastanesi Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği deneyiminde ilk 800 hastalık deneyiminde bu olay iki kez meydana gelmiştir (%0,25). Aktif robotlarda görülen riski daha yüksek olan iç yan bağ ve patellar tendon yaralanmaları, kesin sınırları ve haptik geri bildirimi olan yarı aktif MAKO robotunda rapor edilemeyecek kadar nadirdir. Artan sürenin enfeksiyon riskini arttırma endişesi yersiz çıkmıştır.

SONUÇ

MAKO robotik cerrahi sistemi ile yapılan total diz artroplastilerinin manuel cerrahi ile karşılaştırıldığında, daha hassas ve doğru implant yerleşimi sağlama, daha az kemik rezeksiyonu, bağ gevşetmesine gerek olmadan fizyolojik yumuşak doku dengesi sağlanabilmesi ve kişiye

özel dizilim felsefelerinin büyük bir doğrulukla uygulanabilmesi gibi üstünlükleri vardır. Ameliyat sonrası erken dönem daha az kan kaybı ve yumuşak doku hasarı oluşurması nedeniyle daha konforludur ve fonksiyonel rehabilitasyon hedeflere daha hızlı ulaşılır. Kişiye özel dizilim felsefeleri uygulandığında klinik sonuçlar ve sağkalımın da daha üstün olması beklenir.

KAYNAKLAR

1. Tandoğan R, Kayaalp A, Terzi E. Üç boyutlu bilgisayarlı tomografi temelli robotik kol yardımcı diz artroplastisi. TOTBİD Dergisi 2022;21:82-9. [Crossref](#)
2. 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](#)
3. Becker R, Tandogan RN, Violante B. Alignment in total knee arthroplasty. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2016;24(8):2393-4. [Crossref](#)
4. Shatrov J, Battelier C, Sappey-Marinier 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](#)
5. Fontalis A, Kayani B, Asokan A, Haddad IC, Tahmassebi J, Konan S, et al. Inflammatory response in robotic-arm-assisted versus conventional jig-based tka and the correlation with early functional outcomes: Results of a prospective randomized controlled trial. J Bone Joint Surg Am 2022;104(21):1905-14. [Crossref](#)
6. Marchand RC, Sodhi N, Khlopas A, Sultan AA, Harwin SF, Malkani AL, et al. Patient satisfaction outcomes after robotic arm-assisted total knee arthroplasty: A short-term evaluation. J Knee Surg 2017;30(9):849-53. [Crossref](#)
7. Khlopas A, Sodhi N, Hozack WJ, Chen AF, Mahoney OM, Kinsey T, et al. Patient-reported functional and satisfaction outcomes after robotic-arm-assisted total knee arthroplasty: Early results of a prospective multicenter investigation. J Knee Surg 2020;33(7):685-90. [Crossref](#)
8. Batailler C, Fernandez A, Swan J, Servien E, Haddad FS, Catani F, et al. MAKO CT-based robotic arm-assisted system is a reliable procedure for total knee arthroplasty: A systematic review. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2021;29(11):3585-98. [Crossref](#)
9. Li C, Zhang Z, Wang G, Rong C, Zhu W, Lu X, et al. Accuracies of bone resection, implant position, and limb alignment in robotic-arm-assisted total knee arthroplasty: A prospective single-centre study. J Orthop Surg Res 2022;17(1):61. [Crossref](#)
10. Fu X, She Y, Jin G, Liu C, Liu Z, Li W, et al. Comparison of robotic-assisted total knee arthroplasty: An updated systematic review and meta-analysis. J Robot Surg 2024;18(1):292. [Crossref](#)
11. Kort N, Stirling P, Pilot P, Müller JH. Robot-assisted knee arthroplasty improves component positioning and alignment, but results are inconclusive on whether it improves clinical scores or reduces complications and revisions: A systematic overview of meta-analyses. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2022;30(8):2639-53. [Crossref](#)
12. Hirschmann MT, Avram G, Graichen H, Tandogan RN, Mengis N, Zaffagnini S. Same same but different-image-based versus imageless robotic-assisted total knee arthroplasty! J Exp Orthop 2024;11(4):e70062. [Crossref](#)
13. Alrajeb R, Zarti M, Shuia Z, Alzobi O, Ahmed G, Elmhiregh A. Robotic-assisted versus conventional total knee arthroplasty: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. Eur J Orthop Surg Traumatol 2024;34(3):1333-43. [Crossref](#)
14. Zhang J, Ndou WS, Ng N, Gaston P, Simpson PM, Macpherson GJ, et al. Robotic-arm assisted total knee arthroplasty is associated with improved accuracy and patient reported outcomes: A systematic review and meta-analysis. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2022;30(8):2677-95. [Crossref](#)
15. Bensa A, Sangiorgio A, Deabate L, Illuminati A, Pompa B, Filardo G. Robotic-assisted mechanically aligned total knee arthroplasty does not lead to better clinical and radiological outcomes when compared to conventional TKA: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2023;31(11):4680-91. [Crossref](#)
16. Clark GW, Steer RA, Khan RN, Collopy DM, Wood D. Maintaining joint line obliquity optimizes outcomes of functional alignment in total knee arthroplasty in patients with constitutionally varus knees. J Arthroplasty 2023;38(7 Suppl 2):S239-S244. [Crossref](#)
17. Kafelov M, Batailler C, Shatrov J, Al-Jufaili J, Farhat J, Servien E, et al. Functional positioning principles for image-based robotic-assisted TKA achieved a higher Forgotten Joint Score at 1 year compared to conventional TKA with restricted kinematic alignment. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2023;31(12):5591-602. [Crossref](#)
18. Kayani B, Konan S, Huq SS, Tahmassebi J, Haddad FS. Robotic-arm assisted total knee arthroplasty has a learning curve of seven cases for integration into the surgical workflow but no learning curve effect for accuracy of implant positioning. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2019;27(4):1132-41. [Crossref](#)
19. Koutserimpas C, Favroul C, Batailler C, Servien E, Lustig S. Is bicortical femoral pin insertion safe for image-based robotic knee arthroplasty surgery? A comparative complications analysis in 970 consecutive cases. J ISAKOS 2024:100317. [Crossref](#)