



Üç boyutlu bilgisayarlı tomografi temelli robotik kol yardımcı diz artroplastisi

Three-dimensional computed tomography based robotic arm assisted knee arthroplasty

Reha N. Tandoğan¹, Asım Kayaalp¹, Eşref Terzi²

¹Ortoklinik & Çankaya Ortopedi, Ankara - Haliç Üniversitesi Tıp Fakültesi, Ortopedi ve Travmatoloji Ana Bilim Dalı, İstanbul.

²Özel Avclar Hospital, İstanbul - Haliç Üniversitesi Tıp Fakültesi, Ortopedi ve Travmatoloji Ana Bilim Dalı, İstanbul.

Üç boyutlu bilgisayarlı tomografi (BT) temelli robotik kol yardımcı diz artroplastisi son 16 yılda kullanıma girmiş bir teknolojik gelişmedir. BT görüntülerinden yaratılan gerçek diz modeli üzerinden planlama yapılır ve haptik geri bildirim olan yarı-aktif bir robotik kol yardımı ile işlem gerçekleştirilir. Robotik sistem, hem total hem de parsiyel diz artroplastisi için kullanılır ve yüksek hassasiyet ve doğrulukta kemik kesileri yanında mükemmel bir yumuşak doku dengesi elde edilmesini sağlar. Robotik cerrahinin erken dönem fonksiyonel sonuçları manuel cerrahiden üstündür ve erken revizyon oranları daha düşüktür. Henüz uzun dönem klinik sonuçlara olan etkisi bilinmemektedir, ancak protezin üç düzlemde daha doğru yerleştirilmesinin sağkalımı uzatacağı öngörülmektedir. Yüksek maliyeti ve BT sırasında ek radyasyona maruz kalınması sistemin dezavantajlarıdır.

Anahtar sözcükler: robotik total diz protezi; robotik parsiyel diz protezi; yarı-aktif robot; diz artroplastisi

Three dimensional computed tomography (CT) based robotic arm assisted knee arthroplasty is a technological advancement that has been in use for 16 years. A real knee model created from the CT scans is used to plan the surgery and the procedure is carried out with the assistance of a semi-active robot with haptic feedback. The robotic system can be used both for total and partial knee replacement and results in increased precision and accuracy for the bone cuts and excellent soft tissue balance. The early functional outcomes of robotic arthroplasty are superior to manual surgery and have lower early revision rates. The effect of robotic surgery on long term outcomes has not been determined, however the increased accuracy of placement of the components in three planes is expected to lead to better survival rates. High costs and exposure to additional radiation during CT scans are the main disadvantages.

Key words: robotic total knee replacement; robotic unicondylar knee replacement; semi-active robot; knee arthroplasty

Robotik cerrahi, son yıllarda ortaya çıkan ve protez cerrahisinin daha hassas ve doğru yapılmasını sağlayan bir teknolojidir. Robotik cerrahi için kullanılan farklı robotik sistemlerin özellikleri ve sonuçları aynı değildir. Kullanıma ilk giren ve aktif robot olarak tanınan sistemlerde, cerrahin kemik kesilerine olan katkısı acil kapatma düğmesi ile sınırlıdır. Kemik yapılar robota bir kez tanımlandıktan sonra bütün kesileri robot kendi başına yapar. Bu sistemler, istenmeyen yumuşak doku komplikasyonları nedeniyle günümüzde tercih edilmezler; ülkemizde de bu robotlar bulunmamaktadır. Yarı-aktif robotik sistemlerde robot, planlanmış sınırlar dışına çıkmayı engeller ama kesiler cerrah tarafından yapılır. Ülkemizde bu

grup robotlara örnek MAKO (Stryker) ve Navio (Smith & Nephew) sistemleridir. Son grupta ise pasif robotlar vardır; bu robotlar kesi kılavuzlarını istenen bölgeye getirir ancak herhangi bir sınırlama yapmaz, cerrah kesileri kendi istediği şekilde yapabilir. Ülkemizde pasif robotlara örnek Rosa (Zimmer Biomet) sistemidir. Yarı-aktif robotik sistemlerinin de kendi aralarında farklılıkları vardır. MAKO sisteminde üç boyutlu tomografi ile oluşturulan gerçek diz modeli üzerinde planlama yapılır; sistem, kesiler yapılırken belirlenen sınırları dışına çıkılmasına izin vermez, bu sınırlara yaklaşıldığında robotik sistem haptik geri bildirim adı verilen görsel ve sesli uyarılar verir, robotik kolun ilerlemesi mekanik olarak engellenir. Buna karşın Navio sisteminde plan-

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

ORCID iD: Reha N. Tandoğan, 0000-0002-4158-3498 • Asım Kayaalp, 0000-0002-7836-5064 • Eşref Terzi, 0000-0002-2933-7323

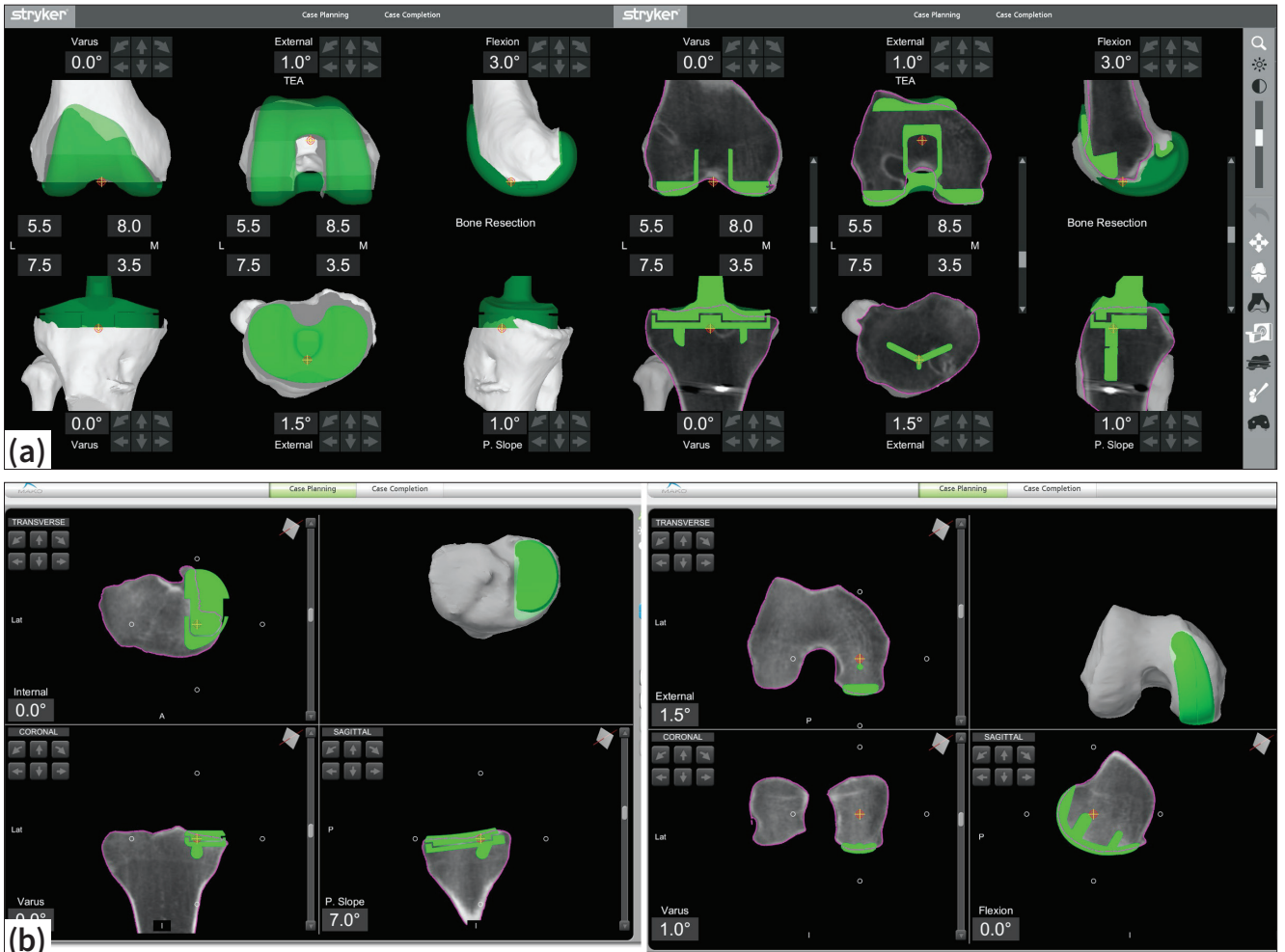
Geliş / Received: 31 Ekim 2021 • **Kabul / Accepted:** 16 Aralık 2021

lama için direkt grafipler kullanılır, sonrasında ameliyat sırasında cerrahın belirlediği noktalardan sanal bir diz modeli oluşturularak plan uygulanır. Haptik geri bildirim yoktur, sistem belirlenen sınırların dışında çalışmayı durdurur. Her iki sistemde ekstremitenin dizilimi ve dizin değişik açılarında yumuşak doku dengesinin sağlanması için ölçüm ve ayarlamalar yapılabilir.

Bu yazıda deneyimizin olduğu MAKO sistemi hakkında bilgiler verilecektir. MAKO sistemi 16 yıldır kullanımda olup, 2008 yılında parsiyel diz protezi için Birleşik Devletler Gıda ve İlaç Dairesi (*U.S. Food and Drug Administration, FDA*) onayı almış, ardından total diz ve total kalça uygulamaları da FDA onayını elde etmiştir. Halen dünyada 1000'den fazla merkezde uygulanmakta olup ve 450.000'den fazla hastada kullanılmış olan bir sistemdir.^[1]

Ameliyat Öncesi Hazırlık

MAKO robotik diz protezi planlaması için ameliyat öncesinde ekstremitenin kalçadan ayak bileğine kadar tomografisi çekilerek üç boyutlu rekonstrüksiyon yapılır. Bu görüntülerden hastanın gerçek kemik anatomisi ve deformitesiyle bire bir uyumlu bir diz modeli hazırlanır. Ameliyat öncesinde bu BT görüntüleri kullanılarak protezin uzaydaki üç boyutlu yerleşimi ve boyutları, ekstremitenin sagittal, koronal ve transvers düzlemdeki dizilimi planlanır (Şekil 1). Cerrah, istediği dizilim felsefesini uygulamakta serbesttir; mekanik, kinematik veya kısıtlı kinematik dizilim tercihlerine uygun planlama yapılabilir. Robotik sistem sadece önceden tanımlanmış güvenli sınırlar dışına çıkılıyorsa cerrahı uyarır ancak cerrah bu uyarıyı göz ardı edip istediği şekilde dizilimi ayarlayabilir. Protezin boyutu, yerleşimi ve dizilimi konusunda cerrah son düzeltmeleri yaptıktan sonra nihai plan robota yüklenir, bu plan ameliyatın farklı aşamalarında cerrah tarafından değiştirilebilir.



Şekil 1.a-b. Robotik diz protezinde ameliyat öncesi planlama sırasında implantların boyutları, yerleşimleri ve dizilimleri 3B-BT verilerine dayalı gerçek diz modeli üzerinde belirlenir; robotik total diz protezi planlaması (a), robotik unikondiler protez planlaması (b).

Robotik Diz Protezi

Robotik diz protezi için ameliyathane düzeninde robotik kol, ameliyat edilecek diz tarafında, kamera ve monitör ise karşı tarafta yer alır. Robotik sistem, *array* adı verilen gözlerin kamera ile haberleşmesi sayesinde robotik kol ve hastanın dizinin uzaydaki pozisyonlarını hassas bir şekilde belirler. Cerrah, robotik işlem sırasında, planı kontrol edip değiştirmek, kesileri takip etmek ve yumuşak doku dengesi için ölçülen değerleri gözlemek için karşı taraftaki monitörü kullanır. Bütün işlem basamakları MPS (MAKO *Product Specialist*) adı verilen bir robot uzmanı eşliğinde gerçekleştirilir, ikinci bir monitörden MPS işlem akışını sağlar. Robotik sistem, sadece ilgili firma protezlerin yerleştirilmesi için tasarlanmıştır, başka üreticilerin implantları için kullanılamaz.

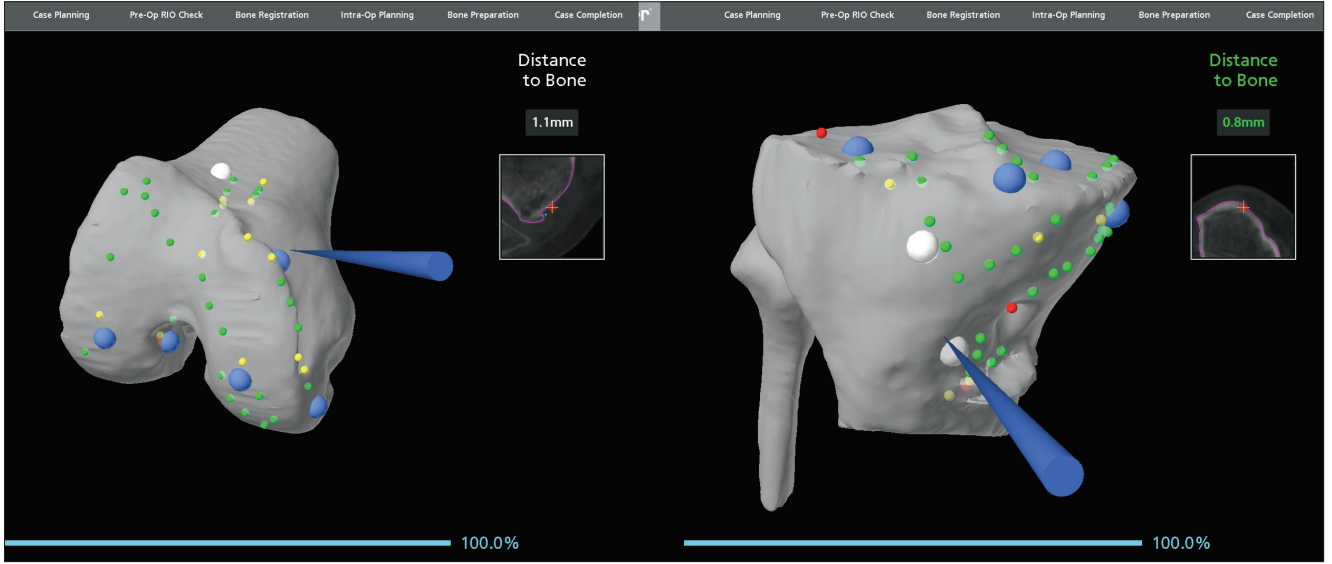
Standart cerrahi açılım yapıldıktan sonra, robotun diz eklemine tanıyabilmesi için femur ve tibia diyafizlerine ikişer bikortikal Schanz çivisi kullanılarak *array* adı verilen gözler yerleştirilir (Şekil 2). Kemikte referans olarak kullanılan işlemlerin hassasiyetini doğrulamak için femur ve tibia metafizlerine *checkpoint* adı verilen kontrol noktası görevini sağlayan metal düğmeler vidalanır. Robotik kesiler sırasında bu *checkpoint*ler kontrol edilerek işlem hassasiyetinin sağlanması yapılır.

Robotik sistem 0,6 mm'den daha fazla hataya izin vermez. *Array*lerin işlem sırasında yerinden oynamaması ve kamera ile arasında fiziki bir engel olmaması önemlidir. Daha sonra kemik yüzeylerin robota tanıtılması aşamasına geçilir. Tek kullanımlık elektronik problar yardımıyla kemik yüzeyler robota tanıtılır. Bunun için femur ve tibia robot tarafından belirlenen noktaların işaretlenmesi ve ardından sağlamanın yapılması gerekir (Şekil 3). Robot, bu tanıtım sonrasında üç boyutlu BT ile oluşturulan model ile hastanın dizini birleştirir, bu sayede kemik kesileri ve yumuşak doku dengelemesi 1 mm ve 1 derece hassasiyetle yapılabilir. En iyi cerrahların hassasiyetinin 3 derece ve 3 mm olduğu düşünülürse, robotun insanlardan üç misli daha hassas olduğu söylenebilir.^[2]

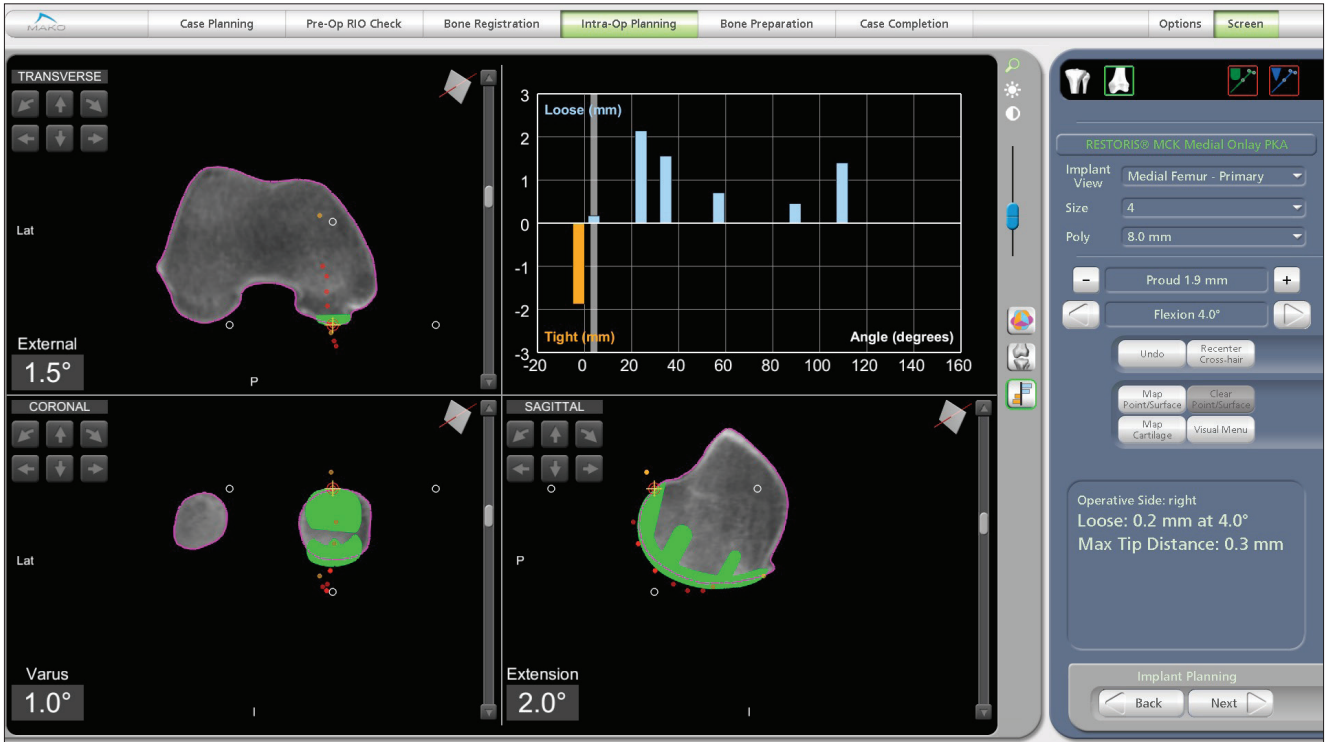
Osteofitlerin temizlenmesi sonrası yumuşak doku dengesinin sağlanmasına geçilir. Total diz protezi için 0 ve 90 derecede, unikondiler diz için ise 0, 30, 60, 90 ve 120 derecelerde deformitenin aksi yönünde kuvvet uygulanarak kollateral dengesi ve fleksiyon-ekstansiyon aralıklarının dengesine bakılır (Şekil 4). Total diz protezinde, fleksiyon ve ekstansiyon aralıklarının en az 18 mm (minimum implant kalınlığı) ve medial ve lateralde eşit olması hedeflenir. Bunun için komponent dizilim, boyut ve rotasyonları güvenli sınırlar içinde değiştirilerek liga-



Şekil 2. Femoral ve tibial *array*lerin yerleştirilmesinden sonra bacağın robotik sisteme tanıtılması.



Şekil 3. 3B gerçek diz modeli üzerinde dizin robota tanıtlıp hassasiyetinin doğrulanması.

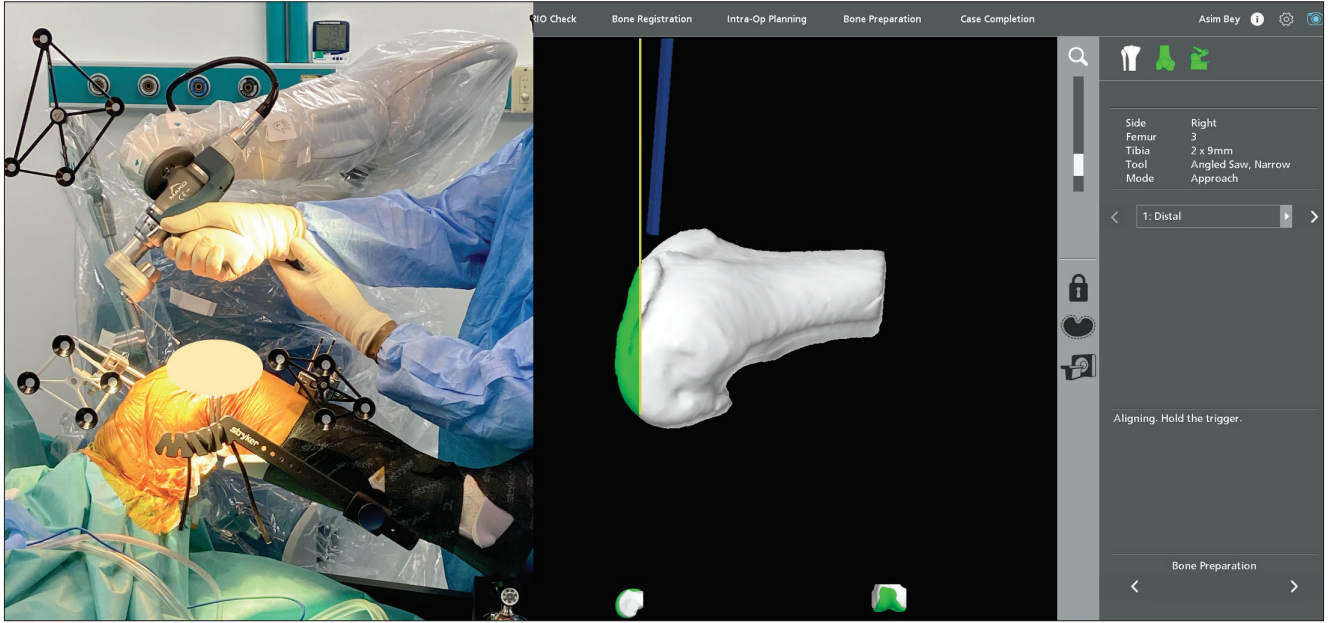


Şekil 4. Unikondiler robotik diz protezinde dizin değişik fleksiyon açılarında yumuşak doku dengesinin sağlanması.

ment (bağ) dengesi sağlanabilir. Olguların büyük kısmında, sadece osteofit temizliği ile bağ gevşetmesine gerek kalmadan bu denge sağlanabilir. Çok nadiren, ileri deformitesi olan olgularda, distal femur ve proksimal tibia kesileri yapıp posterior osteofitler temizlendikten sonra bu dengeyi sağlamak gerekli olabilir. Robotik unikondiler protezde hedef deformite düzeltilmesi değil, hastanın anatomisinin yeniden oluşturulmasıdır. Bu nedenle pro-

tez yerleşimi planlanırken eklem konturunun sağlam kıkırdak sınırı ile devam edecek şekilde oluşturulması ve bütün fleksiyon açılarında 1-2 mm fizyolojik laksitenin (gevşekliğin) korunması hedeflenir.

İstenen yumuşak doku dengesi sağlandıktan sonra kemik kesilerine geçilir. Bu kesiler, total diz protezinde robotik kola bağlı testereler, unikondiler protezde ise



Şekil 5. Robotik kol yardımı ile yapılan kemik kesilerinin monitörden izlenmesi.



Şekil 6. Kalıcı implantlarla elde edilen dengeli fleksiyon ekstansiyon aralıkları ve ekstremitte diziliminin doğrulanması.

testere ve oyucu uçlarla (*burr*) yapılır. Cerrah robotik kola takılı olan testereyi hedeflenen bölgeye yönlendirip çalıştırırken her aşamayı monitörden takip eder (Şekil 5). Robot, sadece planlanan açı ve derinlikte çalışır; görsel, sesli ve mekanik uyarılarla cerrahı yönlendirir. Kemik kesileri tamamlandıktan sonra deneme protezleri yerleştirilir, bağ dengesi tekrar kontrol edilir. Bu aşamada hala robotik kesilerde değişiklik yapılması mümkündür. Ekstremitenin koronal, sagittal ve transvers düzlemdeki dizilimi, kontraktürün varlığı gibi sayısız parametre robot ekranında kontrol edilebilir. Patella kesisi manuel olarak yapılır.

Kalıcı implantların yerleştirilmesi manuel artroplasti ile benzerdir. Kemik yüzeyler basınçlı yıkama sistemleri ile kan ve doku parçalarından temizlenip kurulandıktan sonra komponentler (bileşenler) çimento ile tespit edilir. Kalıcı implantlar yerleştirildikten sonra dizilim, hareket açıklığı ve bağ dengesi robotla tekrar kontrol edilerek doğrulanır (Şekil 6). *Checkpoint* ve *arrayler* çıkartıldıktan sonra katlar kapatılır, sistemik ve eklem içi traneksamik asit uygulanır. Ameliyat sonrası bakım manuel artroplasti ile benzerdir. Hastalar 2-3 gün içinde taburcu olurlar.

Robotik Cerrahinin Avantajları

Robotik cerrahinin manuel protez cerrahisine göre önemli üstünlükleri vardır.

1. Kemik kesilerinin doğruluk (*accuracy*) ve hassasiyeti (*precision*) manuel cerrahiden üstündür. Yapılan bütün çalışmalar ve güncel meta-analizler, rotasyon, koronal ve sagittal düzlem dahil bütün radyolojik parametrelerin robotik cerrahi ile daha iyi sağlandığını ve bütün radyolojik parametrelerde (± 3 derece) *outlier* riskinin daha düşük olduğunu göstermektedir. Zhang ve ark., 16 prospektif çalışmanın meta-analizinde, manuel cerrahiye göre robotik cerrahi ile daha iyi komponent pozisyonu, daha iyi yumuşak doku dengesi ve daha iyi klinik skorlar bulmuşlar, buna karşın artrofibrozis, enfeksiyon yara sorunu ve genel komplikasyonların benzer olduğunu göstermişlerdir.^[3] Yakın zamanda MAKO sistemi ile yapılan bir çalışmada, robotik kemik kesilerinin %94'ünün, ameliyat öncesi planın 1 mm dahilinde olduğunu, ameliyat sonrası koronal dizilimin %78 olguda 1 derece içinde, tamamının da 3 derecelik sapma dahilinde olduğunu göstermiştir.^[2] MAKO sistemi ile yapılan başka bir çalışmada ise, koronal, sagittal ve transvers düzlemlerde yapılan bütün robotik kesilerin ameliyat öncesi planın 2 derece dahilinde olduğu bulunmuştur.^[4]
2. Bağ dengesi manuel cerrahiye göre daha iyi ayarlanabilir. Robotik cerrahide bağ dengesi, osteofit temizliği sonrasında komponent pozisyonlarında yapılan ince ayarlamalar ile sağlandığı ve sağlaması robotik ölçümlerle yapıldığı için 1-2 mm hassasiyetle mediyal ve lateralde eşit fleksiyon ve ekstansiyon aralıkları elde etmek mümkündür. Manuel cerrahi yapılan olguların %50-75'inde gerekli olan bağ gevşetmelerine robotik cerrahide ihtiyaç yoktur.^[5]
3. İntramedüller kanala dokunulmadığı için, femoral tarafta kanalı dolduran implantları olan hastalarda diz protezi yapmak için implantları çıkartmaya gerek yoktur. Bu sayede ameliyat sonrası daha az kanama ve ağrı ortaya çıkar.^[6]
4. Robotik total diz protezi sırasında, manuel cerrahiye göre daha az yumuşak doku ve kemik hasarı verildiği gösterilmiştir.^[6] Bu sayede erken ameliyat sonrası dönem, manuel cerrahiye göre daha konforludur. Ağrı daha azdır ve fonksiyonel skorlar daha iyidir.^[7] Daha az kan kaybı, daha iyi kuadriseps gücü ve diz hareket açıklığı elde edilebilir; rehabilitasyon daha kolaydır.^[8] Aynı avantajlar, unikondiler artroplasti için de geçerlidir. Ponzio ve ark., 9 mm'den büyük insert (ara parça) kullanım oranını manuel cerrahi

için %15,5; robotik cerrahi için %6,4 olarak bulmuşlardır. Daha az tibial kemik rezeksiyonu sayesinde revizyon ve kırık oranlarının azaltılabileceği düşünülmektedir.^[9] Ameliyat sonrası erken dönemde manuel cerrahiye kıyasla daha az ağrı ve hastanede kalış süresi ve daha kolay rehabilitasyon ve işe dönüş elde edilebilir.^[10]

5. Robotik cerrahi, çok iyi bir eğitim aracıdır; yumuşak doku dengesinin sağlanması, fleksiyon ve ekstansiyon aralıklarının eşitlenmesi, unikondiler protezlerde uygun bağ laksitesinin sağlanması gibi teknikler mükemmel bir şekilde öğretilir. Ameliyat sırasında elde edilip kaydedilen onlarca parametre, bilimsel yayınlar için mükemmel bir veri tabanıdır. İstendiği takdirde kimlik bilgilerinden arındırılmış standardize veriler, başka merkezlerle karşılaştırılabilir, ortak çalışmalar yapılabilir.

Robotik Cerrahinin Dezavantajları

1. Robotik cerrahi manuel cerrahiden pahalıdır. Ciddi bir cihaz yatırımı gerekir, ayrıca her hasta için tek kullanımlık malzemeler, bilgisayarlı tomografi maliyetleri ve MPS giderleri maliyeti artırır. Yurt dışında maliyet etkinliği konusunda yapılan çalışmalar,^[11] ülkemizdeki kurumların geri ödemelerindeki gerçekçi olmayan fiyatlar nedeniyle geçerli değildir. Protez yerleştirilmesinde elde edilen yüksek hassasiyetin revizyon oranlarını azaltarak daha işlemli maliyet etkin hale gelinebileceği öngörülmektedir.
2. Robotik cerrahinin 7-10 olguluk bir öğrenme eğrisi vardır.^[12] Ancak süre daha uzun olmasına rağmen ilk olgudan itibaren hassasiyet ve doğrulukta bir sorun yaşanmaz. Başlangıçta 30 dakika civarında olan süre farkı 15-20 olgudan sonra eşitlenir.^[13] Rapor edilen süreler, cerrahi sürelerdir, ameliyathane hazırlığı daha uzun olabilir.
3. Cerrahi sırasında *checkpoint* ve *array*lerin yerinden oynamaması gerekir. Kemik kesileri yapılmadan önce bu sorun ortaya çıkarsa, tekrar tanıttım yapılarak sorun giderilebilir, ancak kemik kesileri yapıldıktan sonra bunu düzeltmek mümkün değildir. Manuel enstrümanlar hazır bulundurulmalıdır.
4. *Array*lerin kemiğe tutturulması için kullanılan Schanz çivisi deliklerinden periprotetik kırıklar ortaya çıkabilir. Smith ve ark., navigasyon ve robotik cerrahi için kullanılan vida deliklerinden kırık olma insidansını %0,06-4,8 arasında bildirmişlerdir. Literatürdeki toplam 29 olgudaki kırıkların çoğu *non-travmatiktir*, cerrahiden sonra ortalama 10 hafta sonra görülmüş ve 2/3'ünün deplase olduğu saptanmıştır. Schanz

çivisini çapının 4 mm'den büyük olması ve çoklu yerleştirme denemeleri kırık riskini artırır.^[14]

5. Bilgisayarlı tomografi gereksinimi, hastaların ilave radyasyona maruz kalmasına neden olur. Bir çalışmada robotik diz protezi planlaması için gerekli efektif radyasyon dozu 4,8 mSv olarak hesaplanmıştır.^[15]

Robotik Total Diz Protezi Klinik Sonuçları

Robotik cerrahi ile manuel cerrahiye kıyasla daha doğru bir protez yerleştirilmesi, daha iyi ekstremite dizilimi ve yumuşak doku dengesi elde edilmesine rağmen, manuel cerrahi ile orta dönemde klinik sonuçlar açısından ciddi bir fark gösterilememiştir.^[16,17] Agarwal ve ark., 22 prospektif çalışmanın sistematik derlemesinde robotik cerrahi ile 12 çalışmada daha iyi klinik sonuçlar bulmuşlar, dokuz çalışmada ise manuel cerrahiye bir üstünlük sağlanmadığını rapor etmişlerdir. Buna karşın meta-analize dahil edilen çalışmalarda robotik cerrahi yapılan hastaların klinik skorları daha üstün bulunmuştur.^[18] Robotik cerrahi hızla gelişen bir teknolojidir. Literatürde yayınlanan orta dönem sonuçlar, gelişen teknolojiyi yansıtmamaktadır. Son iki yılda yayınlanan çalışmalar, hasta tatmini ve KSS skorlarının robotik cerrahi ile daha iyi olduğunu ve unutulmuş eklem skorlarının (*Forgotten Joint Score*) daha yüksek olduğunu göstermektedir.^[19,20] Ekstremitte dizilimi ve protez yerleştirilmesinin daha iyi olduğu ve *outlier*ların daha az görüldüğü robotik cerrahilerin uzun dönemde protez sağ kalımını da olumlu etkileyeceği öngörülmektedir.

Robotik Unikondiler Diz Protezi Klinik Sonuçları

Total protezlere göre daha eski geçmişe sahip MAKO robotik unikondiler diz protezinin sonuçları, manuel cerrahiye kıyasla daha üstündür. Robotik cerrahi ile daha iyi sagittal ve koronal dizilim elde edilir, daha az *outlier* görülür ve erken revizyon oranları daha düşüktür.^[21,22] Bin iki yüz altmış dizin beş yıllık izlemine rapor eden bir çalışmada, beş yıllık sağ kalım oranı %98,4; vücut kitle indeksi (VKİ) 30kg/m²'nin altındaki hastalarda ise %99,1 olarak saptanmıştır.^[23] Dokuz yüz dokuz MAKO robotik unikondiler artroplastisi olgusunun değerlendirildiği başka bir çalışmada kısa süreli izlemde hasta tatmini %92 olguda mükemmel ve iyi bulunmuş, bu oran ulusal kayıt sistemlerinde manuel unikondiler protezler için elde edilen hasta tatmini oranlarından çok daha yüksek bulunmuştur.^[24] 246 robotik ve 492 manuel unikondiler protezin karşılaştırıldığı başka bir çalışmada, erken revizyon oranları robotik cerrahide daha düşük bulunmuştur.^[25] Bütün robotik sistemlerin değerlendirildiği ve 50.024 hastayı içeren bir meta-analizde manuel cerrahiye kıyasla daha az komplikasyon ve daha düşük revizyon oranları bulunmuş, buna karşın implanta

özgü olmayan komplikasyonlar benzer oranlarda görülmüştür.^[26] Buna karşın orta ve uzun dönem sonuçlarda klinik skorlarda robotik unikondiler protez lehine görülen farklar klinik olarak anlamlı değildir.^[27] Robotik unikondiler artroplastisi ile ilgili yayınların büyük çoğunluğu mediyal unikondiler protezlerle ilgilidir. Robotik unikondiler artroplastisi lateral taraftaki teknik sorunları azaltır ve daha doğru dizilim ve yerleşim sağlar; kısa dönem sonuçlar mediyal unikondiler ile benzerdir.^[28]

Sonuç

Robotik kol yardımcı total ve unikondiler protezler ile manuel cerrahiye kıyasla daha doğru ve hassas protez yerleşimi ve ekstremite dizilimi ve daha iyi bağ dengesi elde edilebilir. Kısa dönemde görülen daha iyi fonksiyonel sonuçlar ve düşük erken revizyon oranları, henüz uzun dönem sonuçlara yansımamıştır.

KAYNAKLAR

1. Stryker. Introducing Mako SmartRobotics. Erişim adresi: https://www.stryker.com/us/en/joint-replacement/systems/Mako_SmartRobotics_Overview.html#know-more
2. Sires JD, Craik JD, Wilson CJ. Accuracy of Bone Resection in MAKO total knee robotic-assisted surgery. *J Knee Surg* 2021;34(7):745-8. **Crossref**
3. 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* 2021 Feb. Epub ahead of print.
4. Sires JD, Wilson CJ. CT Validation of intraoperative implant position and knee alignment as determined by the MAKO total knee arthroplasty system. *J Knee Surg* 2021;34(10):1133-7. **Crossref**
5. van der List JP, Chawla H, Joskowicz L, Pearle AD. Current state of computer navigation and robotics in unicompartmental and total knee arthroplasty: a systematic review with meta-analysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2016;24(11):3482-95. **Crossref**
6. Kayani B, Konan S, Pietrzak JRT, Haddad FS. Iatrogenic bone and soft tissue trauma in robotic-arm assisted total knee arthroplasty compared with conventional jig-based total knee arthroplasty: a prospective cohort study and validation of a new classification system. *J Arthroplasty* 2018;33(8):2496-501. **Crossref**
7. 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**
8. Kayani B, Konan S, Tahmassebi J, Rowan FE, Haddad FS. An assessment of early functional rehabilitation and hospital discharge in conventional versus robotic-arm assisted unicompartmental knee arthroplasty: a prospective cohort study. *Bone Joint J* 2019;101-B(1):24-33.

9. Ponzio DY, Lonner JH. Robotic Technology produces more conservative tibial resection than conventional techniques in UKA. *Am J Orthop (Belle Mead NJ)* 2016;45(7):E465-8.
10. Blyth MJG, Anthony I, Rowe P, Banger MS, MacLean A, Jones B. Robotic arm-assisted versus conventional unicompartmental knee arthroplasty: Exploratory secondary analysis of a randomised controlled trial. *Bone Joint Res* 2017;6(11):631-9. **Crossref**
11. Moschetti WE, Konopka JF, Rubash HE, Genuario JW. Can robot-assisted unicompartmental knee arthroplasty be cost-effective? A Markov decision analysis. *J Arthroplasty* 2016;31(4):759-65. **Crossref**
12. Kayani B, Konan S, Huq SS, Tahmassebi J, Haddad FS. Roboticarm 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**
13. Sodhi N, Khlopa A, Piuze NS, Sultan AA, Marchand RC, Malkani AL, Mont MA. The learning curve associated with robotic total knee arthroplasty. *J Knee Surg* 2018;31(1):17-21.
14. Smith TJ, Siddiqi A, Forte SA, Judice A, Sculco PK, Vigdorich JM, et al. Periprosthetic fractures through tracking pin sites following computer navigated and robotic total and unicompartmental knee arthroplasty: A systematic review. *JBJS Rev* 2021;9(1):e20.00091. **Crossref**
15. Ponzio DY, Lonner JH. Preoperative mapping in unicompartmental knee arthroplasty using computed tomography scans is associated with radiation exposure and carries high cost. *J Arthroplasty* 2015;30(6):964-7. **Crossref**
16. Cho KJ, Seon JK, Jang WY, Park CG, Song EK. Robotic versus conventional primary total knee arthroplasty: clinical and radiological long-term results with a minimum follow-up of ten years. *Int Orthop* 2019;43(6):1345-54. **Crossref**
17. Kim YH, Yoon SH, Park JW. Does robotic-assisted TKA result in better outcome scores or long-term survivorship than conventional TKA? A randomized, controlled trial. *Clin Orthop Relat Res* 2020;478(2):266-75. **Crossref**
18. Agarwal N, To K, McDonnell S, Khan W. Clinical and radiological outcomes in robotic-assisted total knee arthroplasty: a systematic review and meta-analysis. *J Arthroplasty* 2020;35(11):3393-409.e2. **Crossref**
19. Smith AF, Eccles CJ, Bhimani SJ, Denehy KM, Bhimani RB, Smith LS, et al. Improved patient satisfaction following robotic-assisted total knee arthroplasty. *J Knee Surg* 2021;34(7):730-8. **Crossref**
20. Marchand RC, Sodhi N, Anis HK, Ehiorobo J, Newman JM, Taylor K, et al. One-year patient outcomes for robotic-arm-assisted versus manual total knee arthroplasty. *J Knee Surg* 2019;32(11):1063-8. **Crossref**
21. Bell SW, Anthony I, Jones B, MacLean A, Rowe P, Blyth M. Improved accuracy of component positioning with robotic-assisted unicompartmental knee arthroplasty: data from a prospective, randomized controlled study. *J Bone Joint Surg Am* 2016;98(8):627-35. **Crossref**
22. Park KK, Han CD, Yang IH, Lee WS, Han JH, Kwon HM. Robot-assisted unicompartmental knee arthroplasty can reduce radiologic outliers compared to conventional techniques. *PLoS One* 2019;14(12):e0225941. **Crossref**
23. Burger JA, Kleeblad LJ, Laas N, Pearle AD. Mid-term survivorship and patient-reported outcomes of robotic-arm assisted partial knee arthroplasty. *Bone Joint J* 2020;102-B(1):108-16. **Crossref**
24. Pearle AD, van der List JP, Lee L, Coon TM, Borus TA, Roche MW. Survivorship and patient satisfaction of robotic-assisted medial unicompartmental knee arthroplasty at a minimum two-year follow-up. *Knee* 2017;24(2):419-28. **Crossref**
25. Cool CL, Needham KA, Khlopa A, Mont MA. Revision analysis of robotic arm-assisted and manual unicompartmental knee arthroplasty. *J Arthroplasty* 2019;34(5):926-31. **Crossref**
26. Sun Y, Liu W, Hou J, Hu X, Zhang W. Does robotic-assisted unicompartmental knee arthroplasty have lower complication and revision rates than the conventional procedure? A systematic review and meta-analysis. *BMJ Open* 2021;11(8):e044778. **Crossref**
27. Chin BZ, Tan SSH, Chua KCX, Budiono GR, Syn NL, O'Neill GK. Robot-assisted versus conventional total and unicompartmental knee arthroplasty: a meta-analysis of radiological and functional outcomes. *J Knee Surg* 2021;34(10):1064-75. **Crossref**
28. Zambianchi F, Franceschi G, Rivi E, Banchelli F, Marcovigi A, Khabbazi C, et al. Clinical results and short-term survivorship of robotic-arm-assisted medial and lateral unicompartmental knee arthroplasty. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2020;28(5):1551-9. **Crossref**