

Robotik diz artroplastisinde plana uymayan durumlar

Conditions that do not comply with the plan in robotic knee arthroplasty

Yaman Sarpel, Çağrı Örs, Remzi Çaylak

Acıbadem Adana Ortopedi Hastanesi, Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği, Adana

Tüm dünyada artroplasti cerrahları arasında robotik teknolojinin benimsenmesi artmaya devam etmekte ve robotik destekli diz artroplastisinin kullanımı genişlemektedir. Robotik diz artroplastisi (RDA) giderek daha fazla cerrah tarafından tercih edilmekte olsa da bu alandaki potansiyel olumsuz olaylar ve komplikasyonlar hâlâ tam olarak anlaşılmış değildir. Geleneksel cerrahi tekniklere kıyasla daha hassas ve tekrarlanabilir sonuçlar elde etmeyi vaat eden robotik sistemler, aynı zamanda plana uymayan yeni türde zorluklar ve cerrahi tuzaklar da barındırmaktadır. Robotik diz artroplastisi, cerrahi doğruluğu artırma potansiyeline sahip olsa da bu teknolojinin tam anlamıyla başarılı olabilmesi için olası olumsuz olayların tanımlanması ve bu durumlara karşı olası önlemlerin alınması gerekmektedir. Cerrahi ekiplerin deneyimi, robotik sistemlerin kalibrasyonu ve hasta seçimi gibi faktörler, olumsuz olayların önlenmesinde kritik rol oynamaktadır. Bu derlemenin amacı; robotik destekli diz artroplastisi sırasında ortaya çıkan plana uymayan durumları tanımlamak ve olası çözümlerini ve alınabilecek önlemleri ortaya koymaktır.

Anahtar sözcükler: robotik diz artroplastisi; komplikasyon; olumsuz olaylar; cerrahi tuzaklar

The adoption of robotic technology among arthroplasty surgeons worldwide continues to increase, and the use of robotic-assisted knee arthroplasty (RKA) is expanding. Although RKA is increasingly preferred by surgeons, the potential adverse events and complications in this field are not yet fully understood. Compared to traditional surgical techniques, robotic systems promise more precise and reproducible outcomes; however, they also introduce new types of challenges and surgical pitfalls related to plan deviations. While robotic knee arthroplasty has the potential to enhance surgical accuracy, for this technology to be fully successful, it is essential to identify potential adverse events and take preventive measures against them. Factors such as the experience of the surgical team, calibration of the robotic systems, and patient selection play a critical role in preventing adverse events. The purposes of this review are; to define situations that do not comply with the plan that occurs during RKA and to reveal possible solutions and measures that can be taken.

Key words: robotic knee arthroplasty; complication; adverse events; surgical pitfalls

2020'de, Amerikan Kalça ve Diz Cerrahları Birliği (American Association of Hip and Knee Surgeons, AAHKS) üyelerinin %33,8'i total diz artroplastisi (TDA) için robotik kol yardımı kullandığını ve bunun nedeni olarak bu cihazların artmış hassasiyeti ve sonuçlar üzerine öngördükleri etkileri olduğunu bildirmişlerdir.^[1] Ülkemizde de tüm dünyada olduğu gibi artroplastisi cerrahları arasında robotik teknolojinin benimsenmesi artmaya devam etmekte ve robotik destekli TDA'nın ve unikondiler diz artroplastisinin (UDA) kullanımı genişlemektedir. Buna rağmen, artan ameliyat süreleri, daha yüksek maliyetler ve robotik destekli artroplastisiyle ilişkili öğrenme eğrisiyle ilgili endişeler devam etmektedir.

Robotik diz artroplastisi (RDA) teknolojilerinin kullanımı giderek artış göstermekle birlikte cerrahi sırasında

karşılaşılabilecek potansiyel olumsuz olaylar belirsizdir. Gelişmekte olan her teknolojiye olduğu gibi planlanan teorik uygulamanın pratiğinde birtakım uyumsuzluklarla ve sorunlarla karşılaşılabilmektedir. Robotik diz artroplastisinde plana uymayan bu olaylar ve olayların nedenlerinin daha iyi anlaşılması gelecekteki olumsuzlukları önleyebilir, bu teknolojinin kullanılabilirliğini artırarak sonuçların olumlu yönde ilerlemesini sağlayabilir. Robotik diz artroplastisinde robotik teknoloji veya cerrahla ilişkili plana uymayan beklenmedik olumsuz olaylar ve tuzaklarla ilgili literatürde sınırlı veriler mevcuttur.^[2] Bu derlemenin amacı, RDA sırasında ortaya çıkan plana uymayan durumları tanımlamak ve olası çözümlerini ve alınabilecek önlemleri ortaya koymaktır.

İletişim / Contact: Doç. Dr. Çağrı Örs • E-posta / E-mail: cagriors84@hotmail.com

ORCID ID: Yaman Sarpel, 0000-0002-7008-7805 • Çağrı Örs, 0000-0001-7998-1662 • Remzi Çaylak, 0000-0002-2926-4590

Geliş / Received: 18 Mart 2025 • **Revizyon / Revised:** 13 Haziran 2025 • **Kabul / Accepted:** 15 Haziran 2025

CERRAHİ PLANA UYMAZAN DURUMLAR

Bilgisayar destekli navigasyon ve robotik yardım kullanımına özgü beklenmedik ve plana uymayan olumsuz birçok olay bildirilmiştir (Tablo 1). Robotik diz artroplastisinde plana uymayan durumlar robota ve cerraha bağlı olarak sınıflandırılabilir. Mekanik bileşenlere bağlı sorunlar bu durumların %60'ını içerir.^[2] Plana uymayan durumlar arasında; beklenmedik robotik kol hareketi, kontrol noktalarının kayıt sorunları, robotik cerrahide kullanılan el aletlerinin tanımlanma veya kullanım sorunu, cerrahide gecikme, diz eklem çevresi yaralanmaları, robot kalibrasyon ve elektronik arızasına bağlı robotu kullanamama, ameliyatta kemiğe yerleştirilen pinlere bağlı sorunlar, uygunsuz cerrahi kesiler ve ameliyat sonrası plana uymayan protez yerleşimi, bağ dengesi veya dizilim elde etmek sayılabilir.^[1-3]

Robotik TDA için en sık bildirilen mekanik sorunlar sırasıyla kemik kesileri sırasında oluşan beklenmedik robotik kol hareketi, hatalı kemik kesileri ve robotik bileşenlerine sıvı sızıntısı veya kemik kalıntılarının kaçmasıdır. Robotik UDA için ise hatalı kemik rezeksiyonu en sık bildirilen uygunsuz olaydır.^[2] Plana uymayan bu durumlar karşısında; hasta yaralanması, tekrar ameliyat gerekliliği, ameliyat süresinde gecikme veya klasik konvansiyonel TDA yöntemine geçiş gibi süreçler kaydedilmiştir.^[2-6]

Yumuşak Doku Yaralanmaları

Ameliyat sırasında oluşabilecek yumuşak doku yaralanmaları konvansiyonel/manuel diz artroplastisi cerrahilerinde olduğu gibi RDA'da da karşılaşılabilecek bir komplikasyondur. Robotik diz artroplastisinde iyatrojenik kemik ve yumuşak doku yaralanmalarının konvansiyonel diz artroplastisine kıyasla anlamlı oranda daha az olduğunu gösteren çalışmalar mevcuttur.^[7,8] Bu

yaralanmalar cerraha bağlı veya robotik kolun yanlış yönlendirilmesine bağlı olabilir. Özellikle robotik kol kullanımında anteriorda; patellar tendon (PT), medialde; medial kollateral ligament (MKL), lateralde; iliotibial bağ, lateral kollateral ve popliteus tendonunun ve posteriorda ise arka çapraz bağın testere veya *burr* ucu ile laserasyonu (kısmi) veya daha ciddi yaralanmasına (tam kat) yol açabilir. Bu yaralanmalar cerrahi planı bozarak diz eklemine dengersizliğe yol açabilir.

Motorlu testerenin yaratmış olduğu titreşim, özellikle robotik kolun sınırlandırdığı alışık olunan ekartör yerleşimindeki değişiklikler, yetersiz açılım veya robotik el parçasının bıçak ekindeki gevşemeler bunun nedenleri arasında sayılabilir. Bu da robotik cerrahide ekartör yerleşiminin önemini ve robotik testere bıçağını kritik yapılara yakın olarak çalıştırırken dikkatli olunması gerektiğini gösterir.^[8,9] Kısmi periartiküler bağ yaralanmaları eklem stabilitesi üzerine olumsuz etki yaratmaz. Deneme implantları yerleşim sonrası robot yardımlı eklem muayenesinde planlanan kesiler ve bağ dengesi elde edildiye planlanan protez uygulanarak yaralanma konservatif izlenebilir.

Periartiküler bağ yapılarında daha ciddi kontüzyon, fibrilasyon veya bağ içinde klivaj oluşumu gibi daha ciddi yumuşak doku yaralanmalarında koronal planda oluşacak instabiliteyi sınırlamak için yarı-sınırdayıcı insert veya manuel cerrahiye geçerek kısıtlı kondiler diz artroplastisi tercih edilebilir. Arka çapraz bağda oluşan ciddi yaralanmalarda da bağ kesen artroplastisi dizaynına geçiş yapılabilir. Bunun yanı sıra tam kat, gerginliği olmayan yumuşak doku ayrışmalarında ise manuel cerrahiye geçiş yapılarak kısıtlı kondiler diz artroplastisiyle rekonstrüktif cerrahiler kombine edilebileceği gibi menteşeli diz artroplastisi de kullanılabilir. Patellar tendon yaralanması diz artroplastisi cerrahisinde karşılaşılabilecek ciddi sorunlardan olup konvansiyonel yöntemlerde olduğu gibi primer tamir ve gerekirse augmentasyon ile güçlendirilerek tedavi edilebilir.

Tablo 1. Bilgisayar destekli navigasyon ve robotik yardım kullanımına özgü beklenmedik ve cerrahi plana uymayan bildirimi yapılan olaylar

Kemik kesimleri sırasında beklenmedik robotik kol hareketi	Kemik kesisinin başlatılamaması
Uygun olmayan kemik kesileri	Robotik kol kilitli/hareket etmesi zor
Robotik bileşen sıvan sıvı veya kalıntı kirlenici	Robotik bileşende kıvılcım çıkması
Kemik kesileri/dengeleme sırasında yanlış görsel ekran	Yabancı cisim hastada bırakıldı (kontrol noktası)
Femoral çentik oluşumu	Fleksiyon instabilitesi
Hastada kalan yabancı cisim (kemik pimi)	Medial kollateral ligament laserasyonu
Kemik kaydı doğru bir şekilde tamamlanamıyor	Tibia ve femurda kırık oluşumu
Kemik pimi kılavuza sıkışmış, çıkarılması zor	Robotik kol veya testere eki gevşek
Kemik kesi sonrası ilerleme başlatılmıyor	Robotik koldan elektrik yanık
Güç kaybı/açıklanamayan sistem kapatma	El parçasının aşırı ısınması

Uygunsuz Kemik Rezeksiyonu

Robotik diz artroplastisi sırasında yanlış kemik kesimleri ameliyat esnasında cerrah tarafından subjektif olarak değerlendirilebileceği gibi deneme implantlarındaki uygunsuzluğun tespitiyle veya objektif olarak robot yardımcı kesim ölçüm kontrolleri yapılarak değerlendirilebilir. Robotik yardım kullanırken bile yanlış kemik kesimlerinden kaçınmak için kemik rezeksiyonlarında dikkatli olunması gerektiği akıld tutulmalıdır. Yanlış kemik rezeksiyonu, robotik UDA için en sık bildirilen plana uymayan olaylar arasındadır.^[2,4,7] Robotik diz protezinde hatalı kemik rezeksiyonu manuel TDA'ya geçişi gerektirebilir. Pagani ve ark. yaptıkları çalışmada manuel TDA'ya dönüşüm yapılan 23 vaka sunmuştur. Manuel TDA'ya dönüşümün birincil nedenleri, kemik kesimleri (6, %26,1) sırasında beklenmedik robotik kol hareketi, yanlış rezeksiyon (4, %17,4), kesimlerde görsel destek alamama (3, %13), femoral çentik (2, %8,7), robotik kolun kilitlenmesi olarak belirtilmiştir (2, %8,7).^[2]

Robotik TDA'da femoral çentiklenme en sık karşılaşılan yanlış kemik rezeksiyonu olarak bildirilmiştir.^[2,8] Anterior femoral kesi önce kesi bloku üzerinden bir kılavuz yardımıyla kontrol edilebilir. Manuel ölçümde 3 milimetre (mm)'nin üzerinde çentiklenme öngörülürse robotik cerrahi planlama tekrarlanabilir. Femoral komponentin yerleşiminin anteriora veya fonksiyonel sınırlarda fleksiyonda yerleştirilmesi ve sonrasında aralık dengelemenin yeniden planlanması veya femoral komponent boyutunda değişikliğe gidilmesi çözüm olabilir.^[10]

Ameliyat sırasında testere titreşimi, robotik kol yardımcısı testerenin aralıklı bir fonksiyon kaybına yol açabilir. Vibrasyona bağlı bacak hareketlerinde benzer şekilde kemik kesimleri durdurabilir. Kemik kesimleri sırasında titreşimi ve titreşimin etkilerini en aza indirmek için stabil bir çalışma ortamı sağlamak için bacak tutucu kullanımı önerilmektedir.^[11]

Robotik Sisteme Bağlı Sorunlar

Robotik diz artroplastisi sistemleri yeterince geniş ameliyathane ortamında, tamamen düz bir yüzeyde çalışır. Sistem sürekli güç kaynağına bağlı olmalıdır. Bunun yanı sıra izleyiciler ile robotik kızıl ötesi algılayıcılar arasında ameliyathane donanımı ve ameliyathane personeli dâhil hiçbir şey olmamalıdır. Operasyon sırasında ortaya çıkabilecek bazı teknik sorunlarla cerrahi prosedür kesintiye uğrayabilir. Bunun yanı sıra kablolu bağlantı sisteminin yürütülmesi ve hasta kaydı için gereklidir. Robotik cerrahide çok nadir olan plan dışı diğer bir durum da ameliyat öncesi robotun çalıştırılmaması veya cihazda arıza oluşumudur. Bu durum robotun kablolu bağlantısının sağlanmaması, kablolarda mekanik temas

sorunları veya robotun elektronik parça arızasından kaynaklanabilir. Kemik kesimini başlatamama ve açıklanamayan sistem kapanması beklenmedik sorunlar arasındadır.^[2] Bir diğer plan dışı durum ise robotik bileşenlere sıvı sızıntısı ve kalıntıların mekanik sorunlar yaratmasına bağlı olarak robotik kolun çalışmamasıdır.^[2,9]

Pin Problemleri

Modern robotik diz artroplastisi sistemleri, çoklu kemik pinlerinin geçici olarak cerrahi alana veya ayrı perkütan insizyonlarla yerleştirilmesini gerektirir. Uygulanan pinlere yerleştirilen aktif veya pasif izleyiciler (*navitracker*) ve bunların cerrahi sırasında bilgisayar destekli bir kızılötesi kamera tarafından takip edilmesiyle robot kemik kesimleri ve protez yerleşimini planlar. Yerleştirilen pinlerin gevşek yerleştirilmesi yanlış kayıt ve haritalama yapılmasına, uygunsuz kemik kesimleri ve yumuşak doku yaralanmaları ve dengesizliklerine yol açabilmektedir. Bu nedenle pin uygulaması femur ve tibiaya çift korteksi geçecek şekilde yapılmalı ve izleyiciler yerleştirildikten sonra stabilitesi kontrol edilmelidir.^[11] Özellikle pinler dizilim prosedürü sırasında gevşerse bu durum prosedürün doğruluğunu etkileyebilir ve implantların ekrandaki görüntülenmesini değiştirebilir.^[9,11]

Pinlerin yetersiz uygulanması kadar pinlerin tibia ve femur posteriorundaki majör damar sinir yapılarına zarar vermesi de bir diğer komplikasyondur. Pin uygulamasındaki bir diğer istenmeyen durum ise akut kırık oluşumu veya kemik hasarına bağlı ikincil kırık oluşumudur. Ameliyat sırasında pin çevresinde oluşabilecek kırıklar nadir bir komplikasyondur. Bu kırıklarda, kırık tespiti veya revizyon cerrahisi gibi ek cerrahi işlem gerekebilir ve cerrah için bir ikilem oluşturabilir.^[4] Ameliyatta karşılaşılan ayrılmamış stabil kırıklar konservatif takip edilebilirken ayrılmış veya stabil olmayan kırıklarda plak-vida tespiti gibi anatomik ve sağlam bir kırık tespit uygulanmasının ardından robotik diz artroplastisi cerrahisi sürdürülebilir. Pin yerleşimleri nedeniyle intramedüller çivi tespiti tercih edilemese de bir diğer seçenek olarak sağlam intramedüller tespit sonrası konvansiyonel diz artroplastisine geçiş yapılabilir. Kırığın ekstremitelerde tespiti yetersiz olur veya metafize yakın bir kırıkta yetersiz tespit söz konusu olursa cerrah uzun stemli protez tercihiyle stabiliteyi artırabilir.

Bir diğer pin problemi ise pinlerin kortikal kemik içinde kırılmasıdır. Yerleştirilmiş kırık bir pini çıkarmaya çalışmak kemik yapıyı zayıflatarak kemiğe zarar verebilir ve akut kırığa veya gelecekteki öngörülemez sonuçlara yol açabilir. Bu süre ayrıca cerrahi gecikmeye de neden olabilir. Kemikte yabancı cisim bırakılması robotik artroplastisi cerrahisinden sonra çok nadir görülen bir komplikasyondur.^[12,13] Lakin kırık bir pini çıkarırken oluşabilecek olumsuz sonuçlar öngörülerek kırılan pinler

veya çıkarılmakta zorlanılan metal kayıt kontrol noktası vidaları kemik içinde bırakmak cerrahin tercihindedir. Robotik destekli artroplastilerle ilişkili olumsuz olayların derlendiği bir çalışmada, RDA uygulanan 14 hastada (%0,05) kemik pin ve kontrol nokta vidası gibi yabancı cisimlerin hastada bırakıldığı raporlanmıştır. Bu hastaların dördünde bırakılan yabancı cisimler için tekrar cerrahi uygulanması gerektiği bildirilmiştir.^[12] Robotik TDA sırasında yaranın kapatılmasının tamamlanmasından önce ameliyathanede cerrahi kesici alet sayımı kayıt ve kontrollerinin eksiksiz yapılması robotik artroplastile ilişkili yabancı cisim vakası yaşama riskini sınırlandıracaktır. Pin yerleştirmede hastaya bağlı faktörler de etkili olabilir. Özellikle obez ve kısa boylu hastalarda bacak tutucu kullanımında ve pin yerleştirmede zorluklarla karşılaşılabilir.

Hatalı Anatomik Nokta Tanıtımı

Robotik cerrahide tanıtılan kontrol noktaları ve pin yerleştirme, düzgün bir şekilde yürütülmezse daha sonra sorun gidermeye yol açabilecek cerrahi adımlar oluşacaktır. Gevşek implantlar işlem sırasında yanlış veri sağlayabilirken ek kesiler yara komplikasyonları için olası riskler teşkil eder. Diz ekleminin anatomik noktalarının tanıtımı prob yardımıyla yapılırken sorunlar ortaya çıkabilir. Kemik kaybı veya ciddi kırıkta kayıpları kaydı bozabilir ve bu da yanlış cerrahi planlamaya yol açabilir.^[11] Kayıt sırasında kırıkta yumuşaklığına bağlı olarak orta basınç uygulanmalıdır. Derin penetrasyonlar veya yetersiz açılmaya bağlı ulaşılamayan noktalar anatomik doğruluğu bozabilir (Tablo 2). Görüntü tabanlı sistemler, kayıttaki hataları daha kolay tanıyarak ek güvenlik sağlayabilse de görüntü tabanlı olmayan sistemler yalnızca kendilerine verilen veriler kadar iyidir. Bu nedenle, yanlış bir kayıt, mükemmel bir planın gerçekleşmesine engel olup potansiyel başarılı sonuçları etkileyebilir.

Uygunsuz Dizilim ve Protez Yerleşimi

Robotik diz artroplastisinde ameliyat öncesi yapılan üç boyutlu bilgisayarlı tomografi (BT) temelli femoral ve tibial komponent ölçümlerinin yüksek doğruluk oranına sahip olduğu ve cerrahi planlamada güvenilir öngörüler sağladığı gösterilmiştir. Londhe ve ark. 30 TDA vakasının 30'unda (%100) femoral implantı ve 30 vakanın 29'unda (%96,67) ise tibial implantı doğru bir şekilde tahmin edebilmiştir.^[14]

Ameliyat öncesi görüntüleme kullanmayan robotik sistemlerle implant boyutu, ekstremite hizalama ve oranı hakkında raporlama sadece birkaç çalışmada mevcuttur. Sires ve ark. yaptıkları çalışmada 29 hastada ameliyat sonrası BT taramaları gerçekleştirmişlerdir. Hastaların sadece %7'sinde 0-7° arasında değişen dizilim kusuru tespit etmişlerdir.^[15] Liow ve ark., robotik TDA uyguladıkları 27 hastayı kapsayan çalışmalarında ameliyat sonrası mekanik aks ölçümlerinde istatistiksel olarak anlamlı sapma bildirmemişlerdir.^[3] Bunun yanı sıra cerrah ameliyat esnasında uygunsuz implant yerleşimi ve ekstremite hizalanması tespit etmesi hâlinde ise robotik prosedürü iptal ederek klasik konvansiyonel yöntemle geçiş yapabilir. Liow ve ark. 2017 yılında yaptıkları çalışmada RDA vakalarının %10'unu iptal ederek manuel yöntemle operasyonu sonlandırdıklarını bildirmişlerdir.^[5] Stulberg ve ark. robotik TDA ameliyatı uygulanan 115 hastayı kapsayan çalışmalarında sekiz vakada konvansiyonel tekniğe geçildiğini bildirmişlerdir (%6,95).^[6] Pagani ve ark. yaptıkları geniş hasta katılımlı meta-analizde konvansiyonel TDA'ya geçiş bildirilen 23 hastada birincil nedenin kemik kesileri yapılırken karşılaşılan robota bağlı sorunlar ve uygunsuz kemik kesileri olduğunu göstermişlerdir.^[2]

Tablo 2. Robotik diz artroplastisinde plana uymayan olaylar, bu olayların çözüm ve önlemleri

Olumsuz Durumlar	Çözümler ve Önlemler
Uzamış cerrahi süre	Yeterli eğitim, deneyim, simülasyon eğitimleri ve gözlemci/öğretici eğitimleri
Robotik sistem arızası	Düzenli sistem kontrolleri ve kalibrasyon testlerinin yapılması
Anatomik kontrol noktaların prob ile tanıtımı	Kırıkta defektlerine yumuşak dokunuşlar ile yapılmalı
Geçici pin uygulamaları	Uygun ve yeterli derinlikte pin yerleşimi ve stabilite kontrolü
Haritalama	Bacak tutucu kullanımı, yeterli açılım ve ekstra kayıt noktaları tanıtılmalı
Yumuşak doku yaralanmaları	Cerrah dikkatli olmalı ve yumuşak doku tanımda robota güvenmemeli
Hatalı kemik kesisi	Bacak tutucu kullanımı, kılavuzlar ile kemik kesi kontrolü, manuel cerrahiye geçiş için alternatif plan
Kemikte yabancı cisim bırakma	Cerrahi kesici alet sayımı ve kaydı

Uzamış Cerrahi Süre

Uzamış cerrahi süre, RDA için sıklıkla belirtilen bir dezavantajdır. Robotun kurulumu ve pozisyonlanması, robotun steril hazırlığı, kemik pinlerin ve izleyicilerin yerleştirilmesi, eklem robotu tanımlanması ve kayıt işlemleri bu ek sürenin nedenlerindendir. Robotik diz artroplastisinde ortalama gecikmesi süresi 20 dakikadır (1-120 dakika).^[2] Liow ve ark. ortalama robotik TDA cerrahi süresinin 91 dakika olduğunu göstermişlerdir.^[5]

Konvansiyonel TDA'da uzamış cerrahi süreleri artmış komplikasyon riskiyle ilişkilendirilmiştir.^[16,17] Robotik TDA'da da uzamış cerrahi süre periprostetik enfeksiyon riskinde artışın yanı sıra tromboembolizm, artmış kan kaybı ve anestezi süresinin uzamasına bağlı tıbbi sorunların artışına neden olabilir. Bunun yanı sıra uzamış cerrahi süre ameliyathane akışı açısından da sorunlar yaratabilir.^[18] Robotik TDA sırasında plana uymayan gecikme nedenleri; kemik kesimleri sırasında ortaya çıkan beklenmedik robotik kol hareketleri, kemik kaydının doğru tamamlanmasında zorluk, tutulan kayıt kontrollerindeki gecikmeler ve hatalı kemik kesilerine bağlı gecikmelerdir.^[2,14]

TARTIŞMA

Robotik diz artroplastisi dejeneratif diz eklem hastalıklarının artroplastisi tedavisinde hastaya özgü tedavi çözümleri sunan önemli teknolojik bir ilerlemedir.^[7,19] Robotik kol destekli sistemler, hastanın anatomisini algılayarak en uygun implant yerleşimini ve hizalamasını sağlayarak başarılı fonksiyonel sonuçlarla, uzamış implant ömrüyle ilişkilendirilmiştir.^[20] Robotik sistemlerin sağladığı yüksek hassasiyet ve cerrahi tekrarlanabilirlik dizilim bozuklukları ve implant malpozisyonu gibi komplikasyonları minimize ederek, uzun dönem implant stabilitesi ve fonksiyonel başarı oranlarını arttırmaktadır.^[21] Robotik kol destekli diz artroplastisi, yeni ortaya çıkmaya başlayan bir teknoloji olarak, cerrahların prosedürün gerçekleştirilmesinde öğrenme ve yetkin olma sürecine girmesini gerektirir.

Robotik cerrahinin bu avantajlarının yanı sıra RDA'da cerrahi plana uymayan bir dizi sınırlamalar ve olumsuz durumlar olabilir. Pagni ve ark. 2020-2021 yıllarında robotik destekli eklem artroplastisiyle ilişkili olumsuz olayları bildirmişlerdir. Çalışma döneminde yapılan toplam 24.000 robotik TDA olgusunda olumsuz olayların toplam sayısı %0,01'den az olarak belirtilmiştir. Olumsuz olayların %59,8'i mekanik bileşene bağlıyken %40,1'inde ise olay robotik sistem veya yazılım bileşenine bağlıdır. Robotik TDA sırasında en sık görülen olumsuz olay, kemik kesimleri sırasında, yanlış kemik kesimleri ve robotik bileşeni kirlenen sıvı/kalıntı sızıntısıdır.^[2]

Robotik artroplastisi sistemleri hâlâ yaratıcı kararlar verme yeteneğinden yoksundur veya yeni bir değişken mevcut olursa (deplase bir kırık, tam kat yaralanmış MKL gibi) ameliyat sırasında planın nasıl değiştirileceğine tek taraflı olarak karar verir.^[22] Robotik diz artroplastisinde plana uymayan durumlar cerraha özgü teknik ve cerrahi sorunlar olabilir. Bu nedenle cerrah eğitimleri; kuru kemik modelleri yardımıyla, bilgisayarda RDA ameliyat şablonu ve planlaması şeklinde ve robotik cerrahiye yoğun ve başarıyla uygulayan merkezlerde hekim ziyaretleri şeklinde yapılmalıdır.^[14] Bu nedenle ameliyat sırasında robotik TDA'daki tuzaklardan kaçınmak için yeterli deneyim ve eğitim gereklidir. Cerrahin kullandığı robotik sistemi iyi anlaması ve sınırlamalarının farkında olması tedavide önemli rol oynar.

Robotik diz artroplastisinde uzamış cerrahi süre cerrahın öğrenme eğrisine ulaşmasıyla cerrahi süre optimize edilebilmektedir. Birçok çalışmada cerrahi yeterlilik ve cerrahların güven düzeyleri açısından öğrenme eğrisinin 7-11 olgu olarak gösterilmiştir.^[7,23] Cerrahi, bu yeni teknolojinin benimsenmesindeki en önemli yıldırma noktası, artan cerrahi süre ve cerrahın verimliliğinin azalması endişesidir. Ameliyathane düzeninin oluşturulması ve yardımcı sağlık personelinin de robot kullanımında pratikleşmesi ve hazırlık süreçlerinin benimsenmesi hastanın ameliyathane de kaldığı süreyi kısaltabilir. Robotik TDA'da aktif robot süresinin; yani kemik kayıt, robotlu kemik kesimleri, gerekli yumuşak doku gevşetilmesi, pinlerin ve izleyicilerin uygulanması için alınan süreyle konvansiyonel TDA için uygulanan ortalama sürenin benzer olduğu gösterilmiştir.^[14]

Cerrahlar ayrıca, ameliyat içinde yanlış veri sağlayabilecek uygunsuz implant yerleşiminden ve diz-eklem-bağ dengesizliğinden kaçınmak için anatomik kontrol noktalarının işaretlenme ve pin yerleştirme basamaklarında dikkatli olmalıdır. Pinler perkütan olarak veya orta hat insizyonu uzatılarak yerleştirilebilir. Femurda 4 mm'lik pinler kortikal yaralanmaya yol açmadan, her iki korteksi geçecek şekilde yerleştirilip stabilite kontrolü yapılmalıdır. Tibiada olası bir kırık riskini azaltmak için 3,2 mm'lik pinler kullanılabilir.^[2,9,13]

Kayıt sırasında her ölçümün derinliğine sahip deneyim de çok önemlidir. Kırıkdaki kusurları durumunda problemler uygulanan kuvvetin uyarlanması, kayıt sırasında önem taşır. Bu işlem dejeneratif hastalık nedeniyle yumuşamış olan kırıkdağı derin penetrasyondan kaçınmak için hafif dokunuşlar ile yapılmalıdır. Haritalama sürecinde, cerrah bacak tutucusunu fleksiyon ve uzatmaya izin vermek için düzgün kullanmalı ve ayrıca bazı zor noktalara ulaşmak için diz döndürülmelidir. Bazı durumlarda, kalan kırıkdağın bazı ekstra kayıt noktalarının yeniden doğrulanmasıyla birkaç haritalama noktasının atlanabileceğine dikkat edilmelidir.

Robotik sistemler mevcut teknolojiye kemik dokusu- nu tanıyabilir ve yansıtabilir. Bu adım sırasında PT veya MKL'de herhangi bir hasar olmamasını sağlamak cerra- hın sorumluluğundadır. Ayrıca, kemik kesiminden sonra gevşekliliği değiştirebilecek yumuşak dokuların dengesini dikkate almak önemlidir. Dejeneratif diz eklemlerindeki osteofitler gevşekliliği etkileyebilir. Diz-eklem-bağ denge- sinin sağlanması ve kemik kesi planlamalarının öncesin- de doğru bir cerrahi plan yapmak için tüm osteofitlerin çıkarılması önemlidir.

SONUÇ

Robotik cerrahide, robota bağlı mekanik ve yazılımsal sorunların yanı sıra cerraha bağlı sorunlarla da karşıla- şılabilir. Robotik diz artroplastisinde ameliyat sırasın- da plana uymayan olumsuz sonuçlardan kaçınmak için robotik cerrahi için yeterli eğitim ve deneyim gereklidir. Cerrahın kullandığı robotik sistemi iyi anlaması ve sınır- lamalarının, cerrahi tuzakların farkında olması tedavinin başarısında önemli bir rol oynar. Robotik cerrahideki teknolojik gelişme ve cerrahların geri bildirimleri robotik cerrahinin gelişimine katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Sherman WF, Wu VJ. Robotic surgery in total joint arthroplas- ty: A survey of the AAHKS membership to understand the uti- lization, motivations, and perceptions of total joint surgeons. J Arthroplasty 2020;35:3474e3481.e2. [Crossref](#)
- Pagani NR, Menendez ME, Moverman MA, Puzzitiello RN, Gordon MR. Adverse events associated with robotic-assisted joint arthroplasty: An analysis of the US food and drug admin- istration MAUDE database. J Arthroplasty 2022;37(8):1526-33. [Crossref](#)
- Liow MH, Chin PL, Tay KJ, Chia SL, Lo NN, Yeo SJ. Early expe- riences with robot-assisted total knee arthroplasty using the DigiMatch™ ROBODOC® surgical system. Singapore Med J 2014;55(10):529-34. [Crossref](#)
- Smith TJ, Siddiqi A, Forte SA, Judice A, Sculco PK, Vigdorichik 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](#)
- Liow MHL, Chin PL, Pang HN, Tay DK, Yeo SJ. THINK surgical TSolution-One® (Robodoc) total knee arthroplasty. SICOT J 2017;3:63. [Crossref](#)
- Stulberg BN, Zadzilka JD, Kreuzer S, Kissin YD, Liebelt R, Long WJ, et al. Safe and effective use of active robotics for TKA: Early results of a multicenter study. J Orthop 2021;26:119-25. [Crossref](#)
- 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](#)
- Brown MJ, Matthews JR, Bayers-Thering MT, Phillips MJ, Krackow KA. Low incidence of postoperative complica- tions with navigated total knee arthroplasty. J Arthroplasty 2017;32:2120e6. [Crossref](#)
- Kamara E, Berliner ZP, Hepinstall MS, Cooper HJ. Pin site complications associated with computer-assisted navigation in hip and knee arthroplasty. J Arthroplasty 2017;32:2842e6. [Crossref](#)
- Stamiris D, Gekas NK, Asteriadis K, Stamiris S, Anagnostis P, Poultsides L, et al. Anterior femoral notching ≥ 3 mm is asso- ciated with increased risk for supracondylar periprosthetic femoral fracture after total knee arthroplasty: A systematic review and meta-analysis. Eur J Orthop Surg Traumatol 2022;32(3):383-93. [Crossref](#)
- Dretakis K, Koutserimpas C. Pitfalls with the MAKO robot- ic-arm-assisted total knee arthroplasty. Medicina (Kaunas) 2024;60(2):262. [Crossref](#)
- Van Doren BA, Odum SM, Curtin B. Hospital-reported frequen- cy & excess cost of foreign objects left in the body during total joint arthroplasty. Value Health 2015;18:A154. [Crossref](#)
- Nogalo C, Meena A, Abermann E, Fink C. Complications and downsides of the robotic total knee arthroplasty: A systematic review. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 2023;31(3):736-50. [Crossref](#)
- Londhe SB, Shetty S, Vora NL, Shah A, Nair R, Shetty V. Evaluation of the safety and efficacy of the fully automated active robotic system in robotic assisted total knee arthro- plasty. J Clin Orthop Trauma 2023;37:102106. [Crossref](#)
- 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](#)
- Belmont PJ, Goodman GP, Waterman BR, Bader JO, Schoenfeld AJ. Thirty-day postoperative complications and mortality following total knee arthroplasty: Incidence and risk factors among a national sample of 15,321 patients. J Bone Joint Surg Am 2014;96:20e6. [Crossref](#)
- Wang Q, Goswami K, Shohat N, Aalirezaie A, Manrique J, Parvizi J. Longer operative time results in a higher rate of sub- sequent periprosthetic joint infection in patients undergoing primary joint arthroplasty. J Arthroplasty 2019;34(5):947-53. [Crossref](#)
- Basques BA, Toy JO, Bohl DD, Golinvaux NS, Grauer JN. General compared with spinal anesthesia for total hip arthro- plasty. J Bone Joint Surg Am 2015;97(6):455-61. [Crossref](#)
- Prakash R, Agrawal Y. Robotic technology in total knee arthroplasty. Br J Hosp Med (Lond) 2023;84(6):1-9. [Crossref](#)

20. Price AJ, Alvand A, Troelsen A, Katz JN, Hooper G, Gray A, et al. Knee replacement. *Lancet* 2018;392(10158):1672-82. [Crossref](#)
21. 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](#)
22. Jacofsky DJ, Allen M. Robotics in arthroplasty: A comprehensive review. *J Arthroplasty* 2016;31(10):2353-63. [Crossref](#)
23. Marchand KB, Ehiorobo J, Mathew KK, Marchand RC, Mont MA. Learning curve of robotic-assisted total knee arthroplasty for a high-volume surgeon. *J Knee Surg* 2022;35(4):409-15. [Crossref](#)