



# Görüntüsüz robotik kol yardımcı total diz artroplastisi

## Image-free robotic arm assisted total knee arthroplasty

Cemil Yıldız<sup>1</sup>, Levent Çelebi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Sağlık Bilimleri Üniversitesi Gülhane Tıp Fakültesi, Ortopedi ve Travmatoloji Ana Bilim Dalı, Ankara

<sup>2</sup>Liv Hospital, Ortopedi ve Travmatoloji Bölümü, Ankara

Son 20 yılda total diz artroplastisi (TDA) sayısında çok hızlı bir artış olmuştur. Bu, beraberinde daha iyi sonuçlar alma ve hasta memnuniyetinde artış beklentisini de arttırmıştır. Akıllı ortopedi uygulamalarından biri olan robotik kol yardımcı total diz artroplastisi (rTDA) son yıllarda görüntüleme, görüntü işleme ve yapay zekâ teknolojilerinin kullanımı ile ivme kazanarak klinik kullanıma girmiştir. Robotik kol yardımcı TDA'nın en önemli argümanlarından birisi insan hatasının azaltılmasıdır. rTDA her vaka için tekrarlanabilir bir şekilde ideal ve kusursuz olarak ameliyatın yapılmasını hedefler. Cerrahın deformiteyi daha kolay anlamasına, daha iyi bir planlama yapılmasına ve sonra planını kusursuz bir hassasiyette uygulamasını sağlayan bir yardımcı asistan görevi üstlenir. Ameliyat öncesi planlamada ve ameliyat sırasında cerraha kolaylık ve doğruluk sağlanması ile ameliyat sırasında ve sonrasında komplikasyon risklerinin düşürülmesi öngörülmüştür. Değişik platformlar üzerinde farklı robotik sistemler bulunmaktadır. Görüntüsüz, semi-aktif (yarı aktif), yarı kapalı indirekt robotik cihazlar, cerrahın ameliyat sırasında belirlediği anatomik referans noktalarını temel alan yazılımlar ile dizin sanal haritasını çıkartarak cerrahın planlaması doğrultusunda robotik kol yardımıyla kesilerin hatasız olarak yapılmasında cerraha asistanlık görevi yapar. Bilgisayarlı tomografinin gerekmemesi radyasyon maruziyetini azaltır, ayrıca maliyet ve zaman avantajı sağlar.

**Anahtar sözcükler:** akıllı ortopedi; yapay zekâ; robotik total diz artroplastisi

There has been a very rapid increase in the number of Total Knee Arthroplasties (TKAs) in the last 20 years. This has increased the expectation of better results and patient satisfaction. Robotic arm assisted total knee arthroplasty (rTKA), one of the intelligent orthopedic applications, has gained momentum in recent years with the use of imaging, image processing and artificial intelligence technologies and has entered clinical use. One of the most important arguments of robotic arm assisted TKA is the reduction of human error. Robotic arm assisted total knee arthroplasty aims to perform the surgery ideally and flawlessly in a reproducible manner for each case. It acts as a surgery assistant, enabling the surgeon to understand the deformity more easily, to make a better planning, and then to implement the plan with perfect precision. It is foreseen to reduce the risks of complications during and after the operation by providing convenience and accuracy to the surgeon in preoperative planning and during the operation. There are different robotic systems on different platforms. Imageless, semi-active, semi-closed indirect robotic devices assist the surgeon in making error-free incisions with the help of the robotic arm in line with the surgeon's planning by creating a virtual map of the knee with software based on the anatomical reference points determined by the surgeon during the surgery. No need for computed tomography reduces radiation exposure and provides cost and time advantages.

**Key words:** intelligent orthopedics; artificial intelligence; robotic total knee arthroplasty

**T**eknoloji devrimi günümüzde etkisini artan hızda göstermektedir. Otomasyon her alanda yaygınlaşmaktadır. Şu anda insan tarafından yapılan aktivitelerin %50'sinden fazlası yakın zamanda otomatik hale gelecektir. Robotlar sayesinde yalnızca 5-6 insanın çalıştığı büyük fabrikalar kurulabilmektedir. Robotik, jenerik bir tanımlamadır ve farklı tasarımları ve teknolojileri içermektedir. Robotik sistemlerde yapay zekâ ve öğrenme algoritmaları ile karar verme ve makinenin çevresini anlama özelliklerinin gelme-

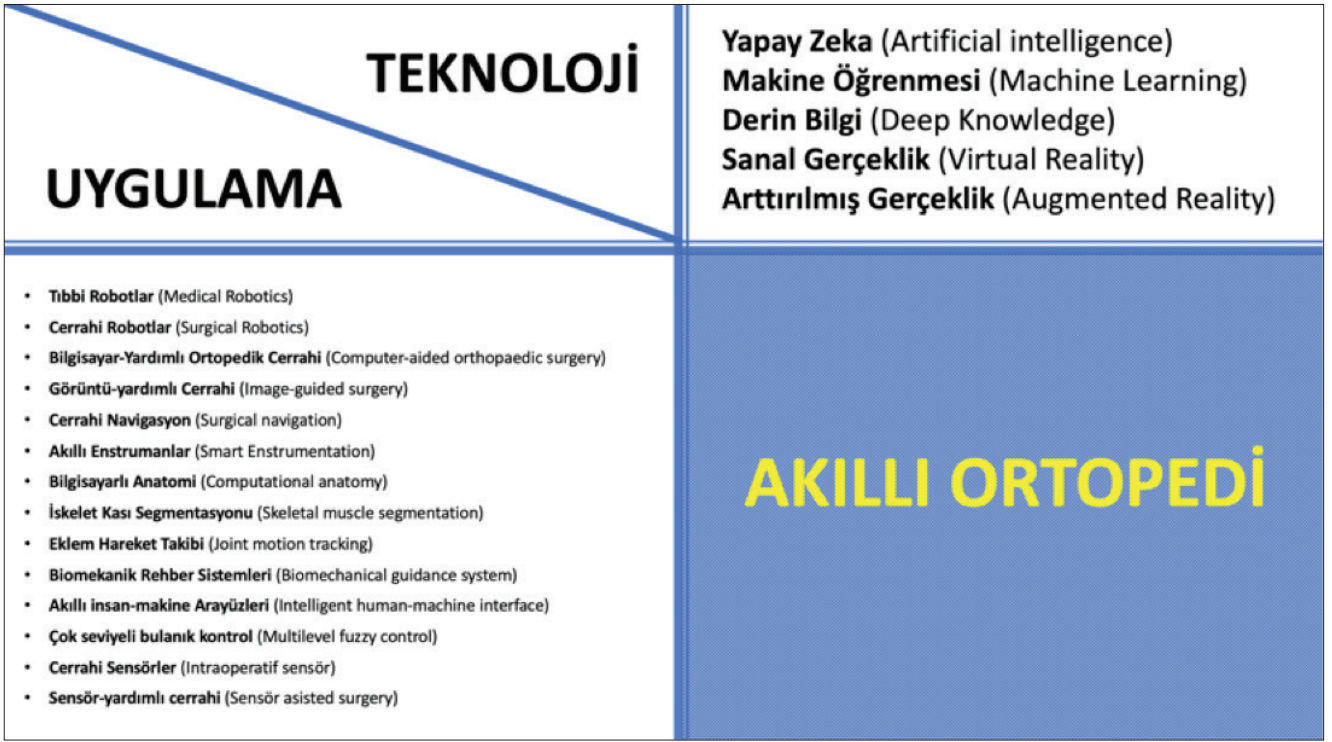
siyle son 20 yılda hızlı gelişmeler olmuştur. Örneğin; geleneksel robotların aksine 2011 yılında endüstriyel bir robot olan Baxter (*Rethink Robotics*), 15-20 dakika içinde basit görevleri kodlamaya gerek kalmadan kısa sürede kendi kendine öğrenerek yapabilmektedir.<sup>[1,2]</sup>

Kas iskelet sistemi hastalıklarının tanı ve tedavisinde, farklı alt dallarda akıllı ortopedi (*intelligent orthopedics*) uygulamaları klinik kullanıma girmiştir (Şekil 1). Geliştirilen ürünlerden ancak bir kısmı ticari ürün olarak piyasada varlığını sürdürebilmiştir.<sup>[3-12]</sup>

**İletişim / Contact:** Prof. Dr. Cemil Yıldız • E-posta / E-mail: cemilyildiz@icloud.com

**ORCID iD:** Cemil Yıldız, 0000-0001-7526-6071 • Levent Çelebi, 0000-0002-6260-5692

**Geliş / Received:** 5 Aralık 2021 • **Kabul / Accepted:** 22 Aralık 2021



**Şekil 1.** Dijital ve bilgisayar teknolojilerindeki ilerlemeler ile cerrahi alanda akıllı ortopedi ürünleri pratiğimize girmiştir.

Akıllı ortopedi uygulamalarından biri olan robotik total diz artroplastisi (rTDA) son yıllarda görüntüleme, görüntü işleme ve yapay zekâ teknolojilerinin kullanımı ile ivme kazanarak klinik kullanıma girmiştir (Şekil 2).<sup>[13,14]</sup>

### ROBOTİK KOL YARDIMLI TOTAL DİZ ARTROPLASTİSİNİN GETİRDİĞİ AVANTAJLAR

Son 20 yılda total diz artroplastisi (TDA) sayısında çok hızlı bir artış olmuştur. Bu, beraberinde daha iyi sonuçlar ve hasta memnuniyetinde artış beklentisini arttırmıştır. Robotik kol yardımcı TDA'nın en önemli argümanlarından birisi insan hatasının azaltılmasıdır. rTDA her vaka için tekrarlanabilir bir şekilde, ideal ve kusursuz olarak ameliyatın yapılmasını hedefler (Şekil 3). Cerrahin deformiteyi daha kolay anlamasına, daha iyi bir planlama yapılmasına ve sonra planını kusursuz bir hassasiyette uygulamasını sağlayan bir yardımcı asistan görevi üstlenir. Ameliyat öncesi planlamada ve ameliyat sırasında cerraha kolaylık ve doğruluk sağlanması ile ameliyat sırasında ve sonrasında komplikasyon risklerinin düşürülmesi öngörüldü. Bu sayede hasta memnuniyeti ve uzun süre takipli klinik sonuçların da daha iyi olması beklenmektedir.<sup>[15]</sup>

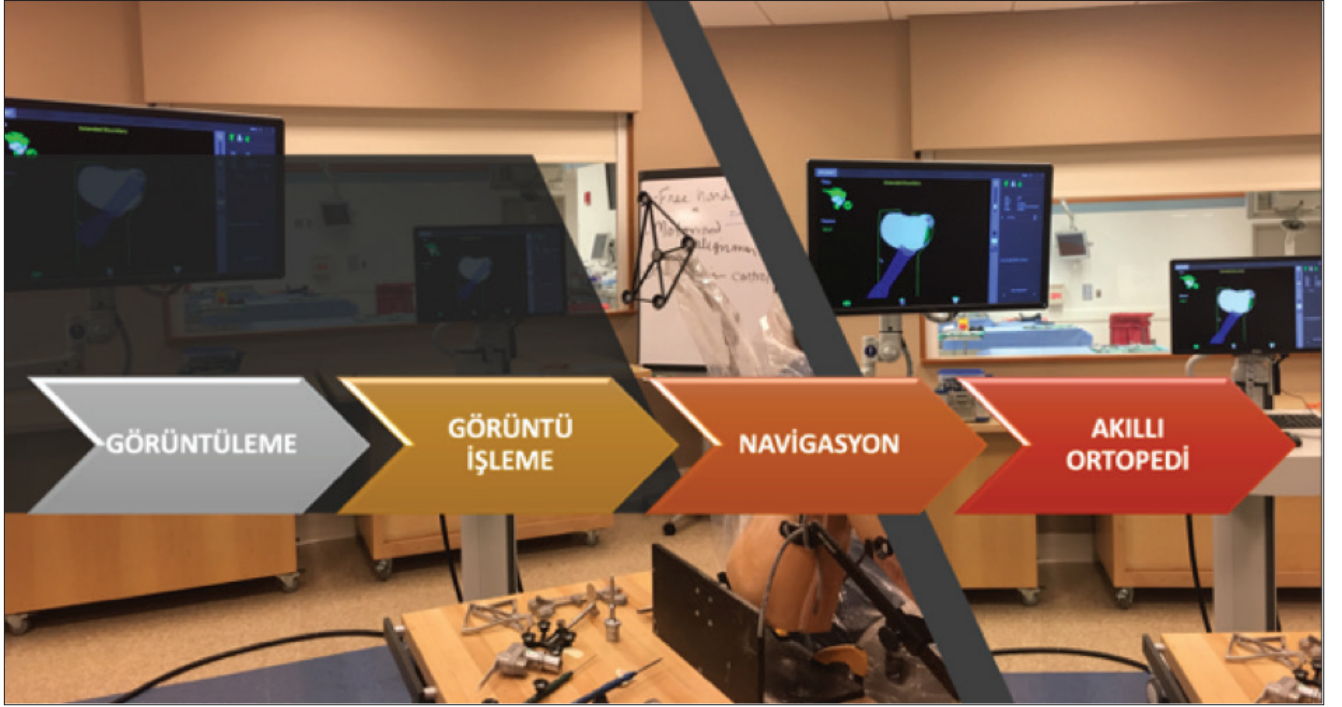
Ortalama yaşam süresinin artması ile dejeneratif eklem hastalıklarının insidansı artmakta ve daha çok protez ameliyatı yapılmaktadır. Protez cerrahisi kararı alırken hastaların en çok merak ettiği konulardan birisi "Protezimin ömrü ne kadardır?" sorusudur. Doğru ve

kusursuz bir şekilde diz protezinin uygulanması, implant sağ kalım süresinin uzamasına pozitif etki sağlayacağı yönündedir. Ayrıca günümüzde giderek daha genç yaşta ve aktif toplumda artroplasti yapılması, implant sağ kalım süresini daha önemli hale getirmiştir. Erken sonuçlar bu hedefe ulaşmada rTDA'nın avantaj sağlayacağı yönündedir.<sup>[15,16]</sup>

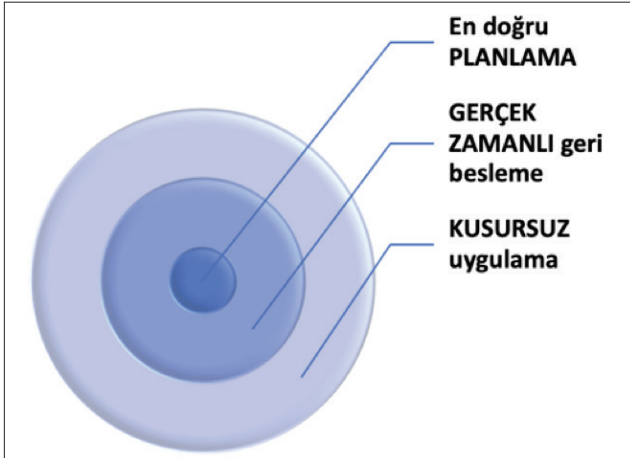
Klasik olarak ameliyat öncesi planlamada çoğu zaman günlük pratiğimizde teknik yetersizliklerden dolayı tam doğru ölçümler yapamamaktayız. Robotlar ameliyat öncesi hazırladığımız plan çerçevesinde çalışırlar. Ancak ameliyat içerisinde de her aşamada doğrulama yapma imkânı (validasyon) sağlayarak ameliyat öncesi öngöremediğimiz planlama eksikliklerini gidererek hata riskini azaltırlar.<sup>[17,18]</sup>

Dokulara saygılı ve kısıtlı açılım (*mini-invasive exposure*) son yıllarda yaygın hale gelmiştir. Robotik total diz artroplastisi bize daha kısıtlı açılım ile (suprakondiler bölgeyi ekspoz etmek gerekmeyeceğinden daha kısa bir insizyon ve daha az ekartasyon gerekir) çevre yumuşak dokularda daha az hasar oluşturarak implantı yerleştirilebilir hale getirmektedir.<sup>[16]</sup>

Diz cerrahisinde başarı ve hasta memnuniyeti için koronal plandaki varus-valgusun, sagittal plandaki eğimin (*slop*), uygun kemik kesi miktarı ve polietilen kullanılması ile yumuşak doku dengelenmesinin ve optimal balans sağlanarak fonksiyonel diz kinematiğinin restorasyonu şarttır. Ancak bu görevleri cerrah her vakada aynı has-



**Şekil 2.** Navigasyon-yapay zekâ-görüntü işleme sistemlerindeki ilerlemeler ortopedi ve travmatoloji alanında akıllı ortopedi uygulamalarından robotik cerrahinin ortopedi ve travmatolojide pratikte kullanımını geliştirmiştir.



**Şekil 3.** Robotik kol yardımlı total diz artroplastisinin başlıca hedefleri.

sasiyet ve doğrulukta tekrarlayamamaktadır. Robotik kollar tekrarlayan işleri her zaman aynı doğrulukla yapabilirler ve insana göre daha hünerli, hızlı ve ergonomiktirler. Çok daha kompleks kemik kesilerini daha hassas ve kusursuz olarak uygulayabilirler. Ayrıca bu görevleri daha az enstrümantasyon ile de yapabilirler. Örneğin; rTDA intramedüller (İM) roda ihtiyaç kalmadan distal femur kesisini yapabilmeye avantajı sağlamaktadır. Medüller kanal açılmayacağından doku hasarı azalacak ve İM rod yerleştirilirken oluşabilecek kırıklar da görülmeyecektir. Ayrıca oyma sırasında oluşabilecek yağ embolisi riski de

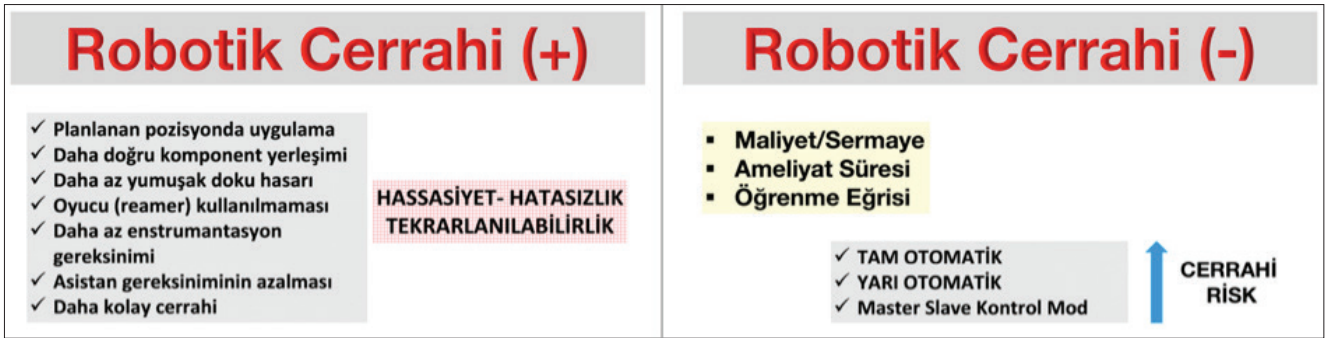
azalacaktır. Medulla açılmayacağından kanama azalacak ve enfeksiyon riski düşecektir. rTDA ile intramedüller çivi veya distal plak vida varlığında da ameliyat, bu implantların çıkarılmasına gerek kalmadan daha kolay bir şekilde yapılabilir. Anterior referansa gerek kalmadığı için suprakondiler bölgenin açılımına gerek olmaması da ek yumuşak doku açılımını azaltmaktadır. Bu aşamalar için ameliyat süresi daha kısa ve risksiz olacaktır. Bazı aletler (enstrümanlar) gerekmediğinden set maliyeti düşecektir. Daha kolay cerrahi teknik sayesinde ameliyat süresinin kısılmasıyla birlikte cerrah daha az yorulacak ve daha fazla sayıda ameliyat yapabilecektir (Şekil 4).<sup>[16-19]</sup>

Robotun diğer önemli bir avantajı ameliyat sırasında cerraha gerçek zamanlı geri besleme imkânı sağlamasıdır. Bu bize çok daha doğru bir cerrahi yapma imkânı verir. Protezi yerleştirme hatalarını derhal çözme olanağı sağlar. Bu sayede kusursuz bir implant uyumu elde edilebilir.

Göreceli bir faktör olarak maliyet/etkinlik şu an için en önemli dezavantaj olarak gözükse de zaman içinde diğer tüm teknolojik ürünlerde olduğu gibi sorun olmaktan çıkacaktır.<sup>[20,21]</sup>

## ORTOPEDİ VE TRAVMATOLOJİ ALANINDA ROBOT TEKNOLOJİSİNİN GELİŞİMİ

Robotik teknolojilerin cerrahide kullanımı ilk olarak 1985 yılında beyin cerrahisinde biyopsi amaçlı PUMA'nın



**Şekil 4.** Robotik kol yardımlı total diz artroplastisinin avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır ancak bunlar zaman içinde ve gelişen yeni sistemlere göre değişebilmektedir.

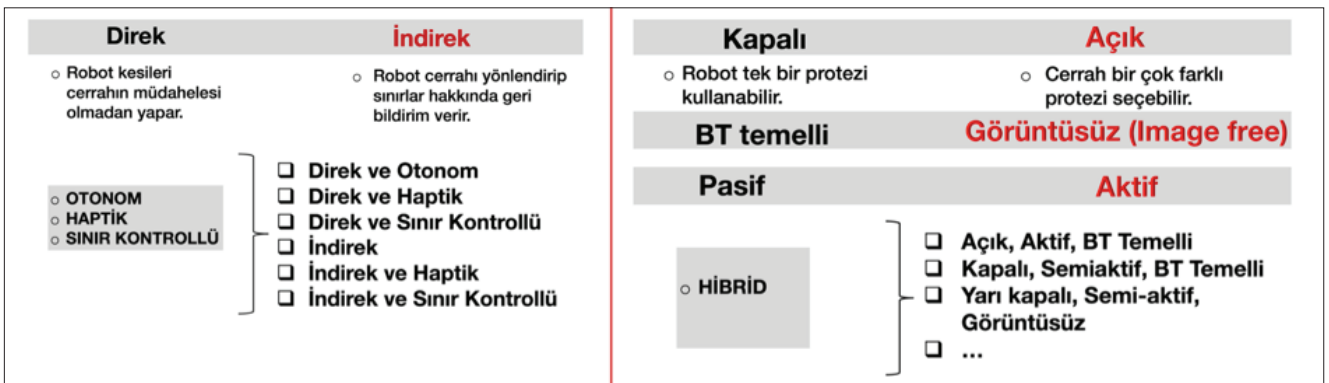
(Programmable Universal Manipulation Arm, Nokia) kullanımı ile başlamış ve son 10 yılda ivme kazanarak birçok farklı platform ortaya çıkmıştır. Bu gelişmeler 2021 yılında robotun TDA'da kullanılan en akılcı ve pragmatik cihaz olmasını sağlamıştır. Tarihsel olarak baktığımızda robotlar pasif, yarı aktif ve aktif olarak kategorize edilmiştir. Pasif cihazlar cerrahın yetisini arttıracak tarzda, direkt gözetimi altında çalışır. Cerrah robotik kolu ve enstrümanları kendi yönlendirir. Örnek olarak Apex (Omni Life science inv., MA) ve Da Vinci (Intuitive Surgical) robotu verilebilir.<sup>[2]</sup>

Aktif robotlar, daha önceden verilen parametrelere göre yazılım ve programlama ile navigasyon sistemleriyle entegre çalışarak direkt olarak, cerrahın bağımsız hassas kesiler uygulayarak ameliyatı yapar. Örnek olarak CASPAR (Computer assisted surgery planning and robotics, URS Ortho, Almanya), ROBODOC (robo+doc, ilk aktif ortopedik robot) ve TSolution One (Think Surgical) verilebilir.<sup>[21]</sup>

Günümüzde pratik olarak en yaygın hale gelen yarı aktif sistemlerde ise robotun izin verdiği ölçülerde yol göstermeler, haptik (dokunma duyarlı) geri bildirimler ve güvenli sınırlamalar ile cerrah ameliyatı yapar.

Ayrıca kesicinin hızı ve pozisyonu kısıtlanabilir. (örneğin; kollateral ligamanlara yakın yerlerde). Örnek olarak RIO (Robot arm interactive orthopedic system), MAKO (Stryker), NAVIO (Blue Belt, Smith & Nephew) ve ROSA (Robotic arm surgery assistant, Zimmer) verilebilir. Aktif ve yarı aktif cihazlarla daha iyi bir dizilim ve kinematik sağlanması, protezin hatalı yerleştirilmesinin önlenmesi hedeflenir.<sup>[14]</sup>

Robotik sistemler direkt ve indirekt olarak da ikiye ayrılabilir (Şekil 5). İndirekt sisteme örnek olarak çok yaygın olarak kullanılan Da Vinci robotunu verebiliriz. Direkt robotlar ise ilk olarak diz artroplastisinde kullanılmıştır. 1980'li yıllarda çalışmaları başlayan, ortopedi ve travmatoloji cerrahisinde öncü olan ve 1989 yılında geliştirilen ROBODOC, aktif olarak cerrahın herhangi bir müdahalesine izin vermeden, ameliyat öncesi hastanın anatomisine göre yapılan planlamaya göre kesileri yapabilmekteydi (IBM T.J. Watson Araştırma Merkezi, Kaliforniya Üniversitesi, Davis, ABD). İlk olarak 1992 yılında insan üzerinde kullanıldı. Ortho Maquet tarafından ilk olarak kalça artroplastisi için geliştirilen CASPAR ise daha sonra 1999 yılında diz artroplastisinde kullanılmıştır.<sup>[2,14]</sup>



**Şekil 5.** Ortopedi ve travmatoloji alanında kullanılan robotik cihazlar farklı sınıflandırılabilir. Yeni platformların geliştirilmesi ile hibrit sistemlerde pratiğimize girmektedir.

BT: Bilgisayarlı tomografi.

Direkt ve otonom özelliği olan robotlar hiçbir insan müdahalesi olmadan daha önceden yapılan plana göre kemik kesilerini yapmak üzere geliştirilmiştir. Direkt ve haptik (dokunma duyusuna hassas) özellikte olanlar da robot kol insan kontrolü altında belirlenen haptik sınırlarda kesiler gerçekleştirirler. Direkt ve sınır kontrollü olanlarda robotik kol insan eli tarafından kontrol edilir, ancak belirlenmiş sınırlar aşıldığında kesim işleminin, zorlansa dahi yapılmasına izin verilmez. İndirekt robotlarda ise robot kemiğe dokunmaz ancak robot kola kesim kılavuzları bağlıdır. İndirekt ve haptik robotik sistemlerde ise kesim kılavuzlarını haptik kontrol altında robotik kol taşır. İndirekt ve sınır kontrollü robotik makinelerde kesim kılavuzlarını taşıyan robot kolu belli sınırlar dışına çıkmadan bize rehberlik eder.<sup>[1,2]</sup>

Platformlar, protez seçimine göre izin veren (açık) veya vermeyen (kapalı) şeklinde ikiye ayrılmaktadır. Açık sistemler (örneğin; açık+aktif+BT (Bilgisayarlı Tomografi) temelli: ROBODOC/TCAT, *Think Surgical*) cerraha esneklik sağlasa da, kapalı sistemler (örneğin; kapalı+semiaktif+BT temelli: MAKO, Stryker) protezi daha kusursuz yerleştirme avantajı sağlar. Yarı açık sistemler (yarı açık+yarı aktif+görüntüsüz: ROSA, ZimmerBiomet) ise bir üreticinin

farklı protezine izin verebilir. Robotik teknolojiler farklı platformları kullanarak gelişmeye devam etmektedir.<sup>[21]</sup>

## ROBOTUN TEKNİK ÖZELLİKLERİ

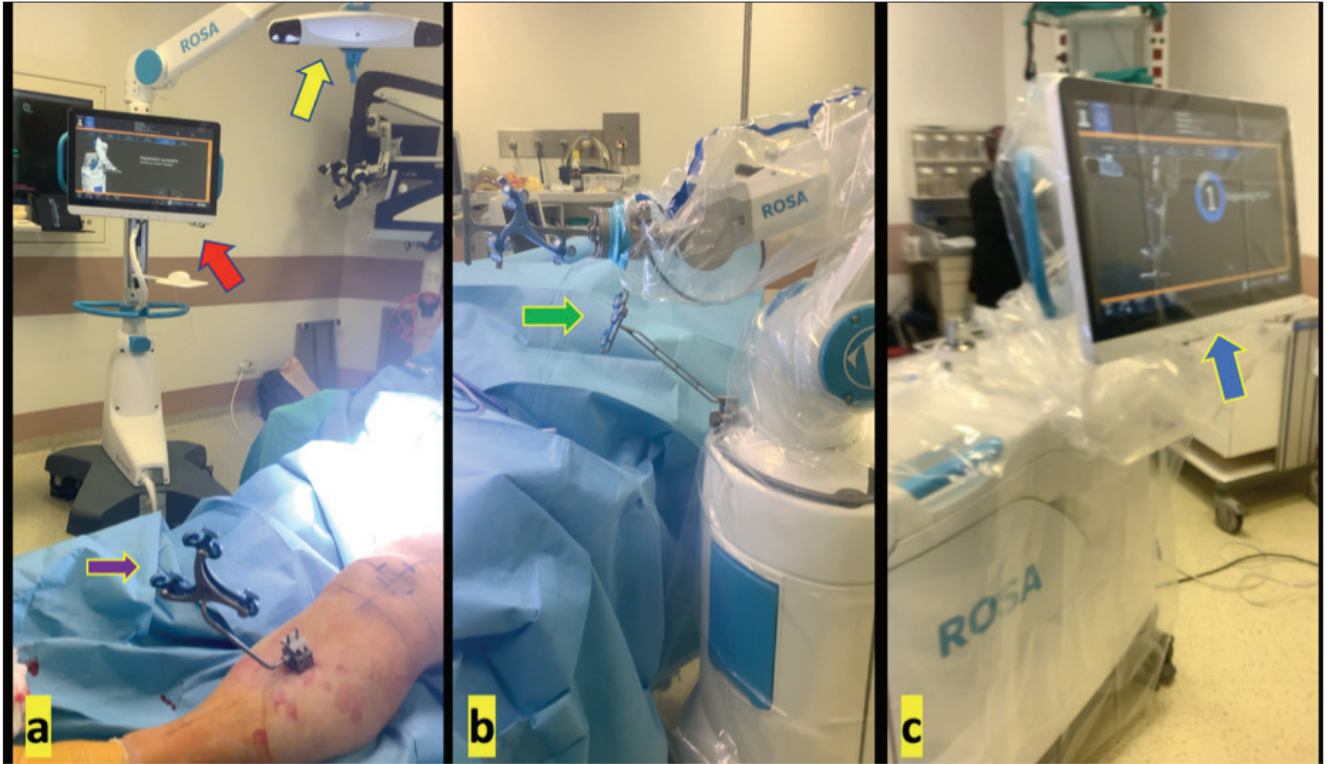
Cihaz iki ana üniteden oluşmaktadır:

**1. Robotik Ünite:** Kuvvet sensörleri ile donatılmış kompakt bir yapıda olan robotik kol ve dokunmatik ekrandan oluşmaktadır (Şekil 6). Cerrah eli ile haptik ve semiotonom çalışan bu robotik kolu istediği kesi alanına getirebilir.

**2. Optik Ünite:** Optik kamera (Klas 2 lazer içermektedir ve direkt olarak gözle bakılmamalıdır), kameranın bağlı olduğu kol ve dokunmatik ekrandan oluşmaktadır.

Ameliyat sırasında optik kamera ile izleyiciler arasındaki bağlantı her zaman korunmalıdır (Şekil 7).<sup>[22]</sup>

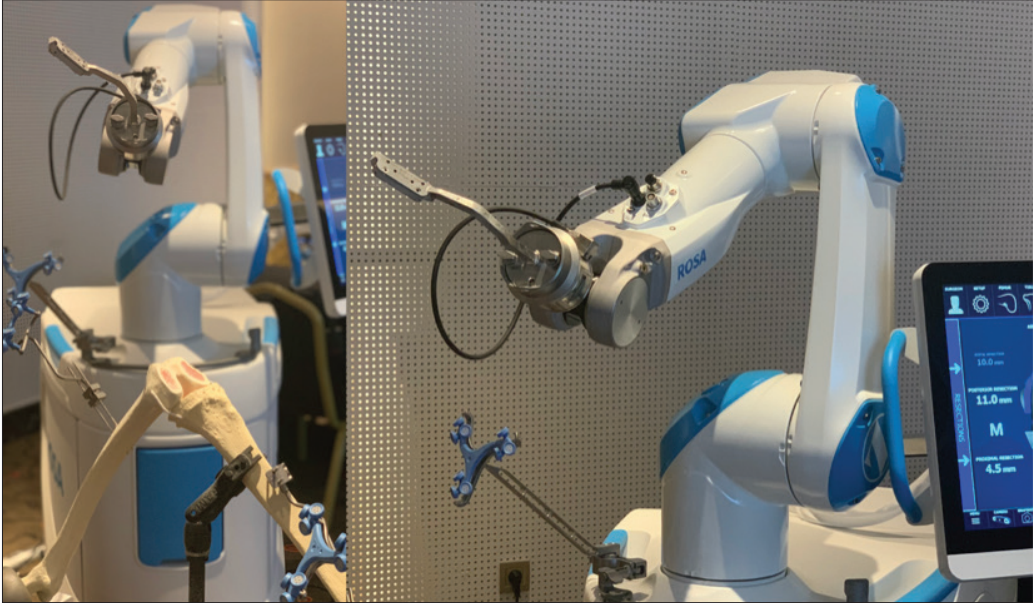
Cihaz oldukça büyük bir robotik kola sahiptir. Bu, esnemezlik ve eğilmezlik özelliği sağlamaktadır. Bu sayede toleransı oldukça azdır. Planlanan kemik rezeksiyonunun 1 mm kesi kalınlığı ve 0,4° hata payı ile yapılabildiği bildirilmektedir (Şekil 8).



**Şekil 6.a-c.** Robotun optik ünitesi kızılötesi (*infrared*) kamera (a. sarı ok) ve bilgi ekranından (a. kırmızı ok) oluşmaktadır. Optik kamera tibiya yerleştirilen izleyicileri (a. mor ok, *Navitracker*) görecek şekilde cerrahın karşısına yerleştirilmiştir. Robotik cihaz (*body*) üzerine izleyici (*ROSA base reference frame*) monte edilmiş, (b. yeşil ok ucunda) hemen üzerinde ise robotik kola monte edilmiş izleyici (*ROSA arm reference frame*) görülmektedir. Cerrahin tüm işlemleri düzenlediği panelleri içeren dokunmatik ekran steril olarak (c. mavi ok) görülmektedir.



**Şekil 7.** Yansıtıcı (*reflective*) özelliğe sahip steril ve tek kullanımlık izleyici (*tracker*) cihazlar ROSA'da 'NavitrackER' olarak adlandırılır. Optik kamera tarafından takip edilir. Üzeri mutlaka temiz olmalıdır. Ameliyat sırasında kan ve benzeri gelmemesine dikkat edilmelidir. Yardımcı asistanımızın pozisyonu izleyicilere göre belirlenmelidir.



**Şekil 8.** Yarı açık, pasif/yarı aktif görüntüsüz bir sistem olan ROSA stabil bir robotik kola sabittir. Kolun ucunda klasik kesim parçaları (*jigs*) vardır. Haptik kontrol bulunmamaktadır. Cerrah kesimi alışığı klasik şekilde yapar.

Yazılım açısından görüntüsüz sistemler cerrahın ameliyat sırasında belirlediği noktaların (anatomik mirenji-referans-*landmark* noktaları) doğruluğunu temel alır. Ameliyat içerisinde cerrahın sağladığı bilgilerden dizin modelini çıkartır. Ameliyat öncesinden çok, ameliyat içindeki planlama önemlidir. Ayrıca ekipmandaki doğrulama aracı (*validation tool*) her kesi sonrası ek bir güvenlik sağlar.<sup>[19,21,22]</sup>

### CERRAH VE ROBOTİK SİSTEM İLE BİRLİKTE AMELİYAT ÖNCESİ PLANLAMA

Ameliyat öncesi planlama klasik şablonlama (*templating*) yöntemleriyle yapılırken artık dijital ve otomatik veya üç boyutlu yöntemlerle yapılabilmektedir. Özellikle görüntüsüz (*image free*) rTDA'da biz mutlaka ameliyat içinde robottan elde ettiğimiz bilgilere güvenmeliyiz.

## CERRAHİ TEKNİK

Başlangıçta mutlaka tecrübeli bir ekip ile birlikte cerrahi yapılmalıdır. Her yeni teknikte olduğu gibi ilk vakalarda ve öğrenme eğrisinin başlangıcında cerrahi ekipte anksiyete seviyesi artmaktadır.<sup>[19]</sup>

Uygulamada klasik ameliyat tekniğimize benzer ve bu teknikten farklı yönler bulunmaktadır. Klasik ameliyat tekniği mutlaka çok iyi bilinmelidir. Çünkü robot sayesinde klasik uygulamamız dışında birçok tekniği, kullandığımız implantın enstrümantasyon setlerine bağlı kalmadan uygulayabilme seçeneklerimiz olacaktır. Bu yüzden cerrah, her vaka için mutlaka cerrahi filozofisini ve algoritmasını önceden belirlemelidir. Görüntüsüz robotik sistemlerde ameliyat öncesi BT çekilmesi ve bu bilgilerin firmaya gönderilip hastanın anatomisinin çıkarılması gerekmektedir. Bu sayede maliyet ve zaman tasarrufu olacak ve ekstra radyasyon da alınmamış olacaktır. Ayrıca istenirse X-ray'den özel yazılımla (software) 3B (3D) model temelli planlama da yapılabilmektedir. Her robotik platformun farklı cerrahi akış özellikleri ve kendi içinde de cerrahin tercihine göre şekillenebilen farklı cerrahi basamakları bulunmaktadır. Ancak genel olarak temel basamaklar, dizin yüzeyel olarak işaretlenip bir haritasının çıkartılması (registration-mapping), planımızın doğrulanması (verification), kesilerin belirlenmesi, protez parçalarının yerleşiminin değerlendirilmesi ve diz dengesinin (balance) ölçülüp kaydedildikten sonra (validation ve adjustment) robotik kol ile kesi işlemlerinin ve her aşamada doğrulama yapılarak (revalidation) protezin yerleştirilmesi ve son olarak protez ile ölçüm bilgilerinin (static ve dinamic) kaydedilmesidir.<sup>[22]</sup>

## SALON DÜZENİ

Robotik cihaz ve ekipmanlarının yerleşimi, teknik ekibin yardımıyla cerrahin planına göre düzenlenir. Ameliyathane

yerleşim planında cerrah daha önce alışık olduğu şekilde ameliyatını yapacağı dizin tarafında duracaksa robotik ünite, hastanın bel-kalça hizasında ve 45° açılı bir şekilde aynı tarafa yerleştirilir. Cerrah mutlaka robotik ünite ile aynı tarafta olmalıdır, bunun dışında istenilen ameliyat düzeni seçenekleri alınabilmektedir (Şekil 9).<sup>[23]</sup>

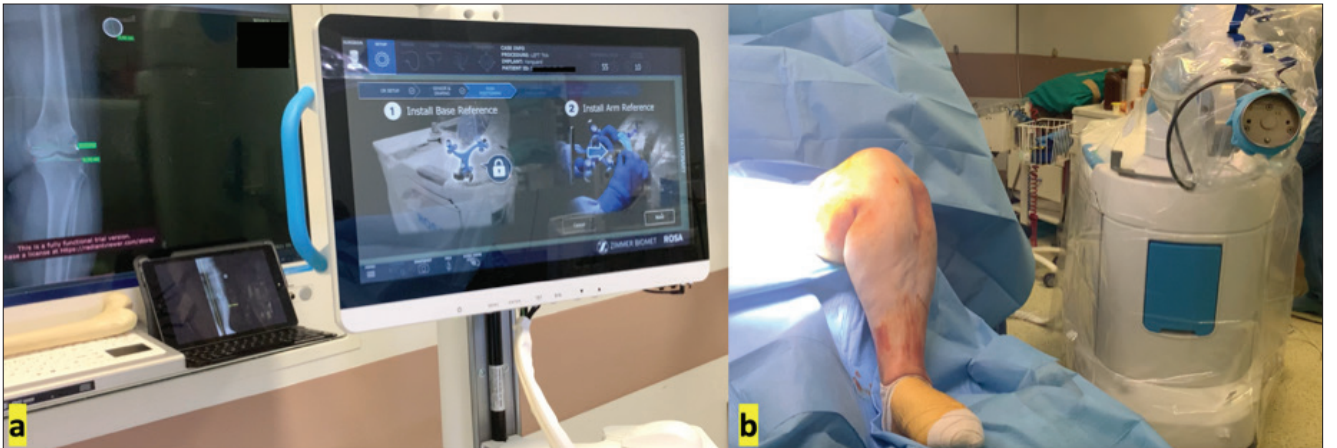
## CERRAHİ AÇILIM

Klasik şekilde ameliyat edilecek diz hazırlanır. İnsizyon (cerrahi kesi), cerrahın tercih ettiği şekilde yapılır. Ancak insizyon proksimalde daha kısa yapılır. Çünkü anterior referans için stylusun kullanılması gerekmediğinden suprakondiler bölgenin ekspoz edilmesine de gerek kalmamaktadır.

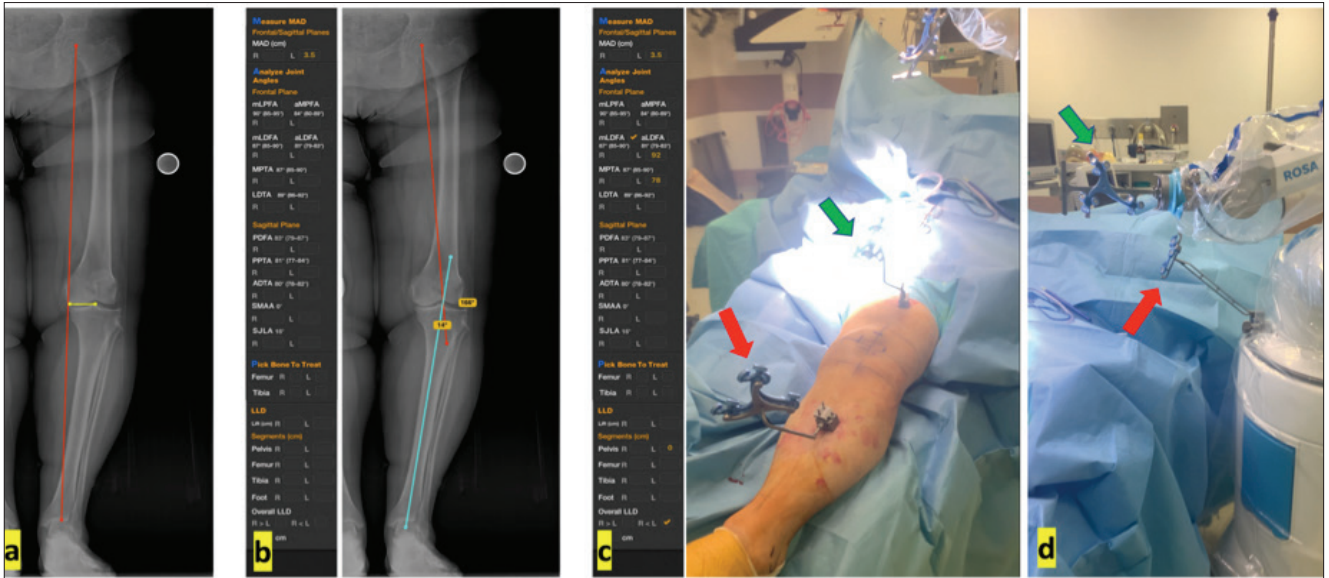
## İZLEYİCİLERİN (NAVITRACKER) YERLEŞTİRİLMESİ

Robotun dizi görmesi amacıyla iki adet optik izleyici (Navitracker) yerleştirilmektedir: femoral ve tibial (Şekil 10).

Öncelikle proksimal insizyonun yaklaşık 4-6 parmak yukarısına perkutan olarak iki adet 3,2x150 mm'lik Steinman (Steinmann) çivisi vastus medialinden geçecek şekilde kırık riski yaratmamak için aksımızı değiştirmeden ve her iki korteksten geçecek şekilde konulur ve femoral optik izleyici (array, Navitracker) bunların üzerine monte edilir.<sup>[22]</sup> Çiviler hiç oynamamalıdır. Cerrahin tercihine göre ayrı iki cilt insizyonu olmaması için proksimal insizyon içinde kalacak şekilde de çiviler yerleştirilebilir. Bu, enfeksiyon riskini azaltmakta ve hasta konforunu artırmaktadır. Ancak optik okuyucunun görememe riski olabilmektedir. Daha sonra insizyonun distal ucundan yaklaşık dört parmak altında perkutan olarak iki adet 3,2x80 mm'lik Steinman çivisi tibia diafizi medial yüzeyine ve her iki korteksi geçecek şekilde konulduktan sonra



**Şekil 9.a-b.** Ameliyata başlamadan cerrahin tercihine göre salon düzeni alınır. Sistem planlama (setup) paneli açılır (a) ve sensörlerin kalibrasyonu yapılır. Robotik ünite steril olarak örtülür. Robotik kol her zaman cerrah ile aynı tarafta olmalı ve hastanın kalçası hizasında 45° açıyla konumlandırılmalıdır (b). Optik ünite cerrahin zıt tarafında olmalı, kamera yüksekliği ve pozisyonu ayarlanmalıdır.



**Şekil 10.a-d.** Ameliyat öncesi dizilim graflerinde mekanik aks sapması (a) ve kalça-diz-ayak bileği açısı (b) değerlendirilir. Ameliyat sırasında femura (yeşil ok) ve tibiaya (kırmızı ok) yerleştirilen optik izleyiciler ile statik ve dinamik olarak yazılım ile anlık değerlendirmeler yapılabilir (c). Cerrahi alana en yakın olacak şekilde robotun üzerine yerleştirilmiş cerrahi sırasında hastanın dizine göre cihazın göreceli konumunu belirlemede kullanılacak izleyici (kırmızı ok) ve robot koldaki referans yapı (yeşil ok) görülmektedir (d).

tibial izleyici bunların üzerine monte edilir. Özellikle tibial izleyicinin yerinin optik kamera tarafından görülmesi ameliyat sırasında engellenmemelidir. Femoral izleyici daha az sorun yaratmaktadır.<sup>[22,23]</sup>

### DİZİN SANAL HARİTASININ (VIRTUAL MAPPING) ÇIKARILMASI

Her cerrah, ameliyata başlamadan önce düşüncesinde vakayı çizer ve planlamasını hayali olarak yapar. Bu işlem robotik cerrahide bir adım daha ileri giderek sanal harita (*virtual mapping*) oluşturulması şeklinde objektif veriler (*data*) alınarak yazılım tarafından yapılmaktadır. Görüntüsüz sistemde, ameliyat içinde sistemin bizi yönlendirmesi ile referans noktaları işaretlenir ve elde edilen veriler, robotun özel yazılımı sayesinde hastanın dizinin anatomisini, dizilimini (*varus/valgus/rotasyon*) ve balansını (kinematik veriler) sayısal veriler haline (*dijitalizasyon*) getirerek ve şematik olarak cihazın ekranında gösterir.

Bu işlem sistemin bizi yönlendirilmesi adım adım yapılır. Cihazın kayıt işaretleyicisi (*registration pointer* veya *prob*) kullanılarak noktalar arasında 5 mm olacak şekilde yazılımın ekrandan bizi yönlendirmesiyle dizin sanal haritası çıkartılma işlemi bir sıra dâhilinde yapılır (Tablo 1). Biraz vakit alan bu basamak, sabırla yapılmalı ve mirengi (*landmarks*) noktalarının işaretlemesinde titiz davranılmalıdır. 7 mm'lik bir hata 1°'lik sapma olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu aşama bitirildiğinde robot, statik olarak diz ile ilgili verileri almış ve dizin statik haritasını çıkartmış olur (Şekil 11).

### DİZİN DİNAMİK OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

Statik verilerden sonra panelden değerlendirme (*evaluation*) butonu (sekmesi) seçilir. Cerrah bir seri hareket yaparak optik izleyicilerin bacak hareketlerini izleyip kaydetmesini sağlar. Bu aşamada dizin kinematik verileri kaydedilmiş olur.

### Diz Hareketleri (ROM)

Cerrah, bacağı hareket ettirerek işlemi başlatır; ekrandan takip ederek dizi minimum ve maksimum fleksiyona getirmeye çalışır, bu sırada ekstremitenin dizilimi de görülüp kaydedilir.

### Laksite Testi

Diz tam ekstansiyonda ve 90° fleksiyonda ölçüm alınır, maksimum varus ve valgus zorlaması yapılarak ölçümler kaydedilir. Ayrıca 30°, 45°, 60° ve 120° seçenekleri de bulunmaktadır. Diz kollateral ligamentlerinin durumu sayısal hale getirilmiş olur (Şekil 12).

Ameliyatın üç aşamasında da bu bilgilerin kaydedilmesi dizin durumunun karşılaştırılması açısından önemlidir:

- İlk değerlendirme,
- Ameliyat içi değerlendirme,
- Son değerlendirme.



**Tablo 1.** Diz referans noktalarının işaretlenmesi (*landmarking*) kritik ve önemli aşamadır. Buradaki hata ameliyatın her aşamasını olumsuz etkilemektedir.<sup>[9]</sup>

### Femoral referans noktalarının (*landmarking*) işaretlenmesi

**Femur başı merkezi:** Kemik kesilerinin doğruluğu için çok önemlidir. Bacağın 14 statik nokta ile pozisyonu kaydedilerek femur başının sanal yeri ve kalça rotasyon merkezi belirlenir.

**Femoral kanal girişi:** Mekanik aksın belirlenmesi için önemlidir. İnterkondiler çentiginin (*notch*) en derin yeri *pointer* ile işaretlenir. Varus/valgus, fleksiyon/ekstansiyon ve rotasyon değerleri mekanik aksa göre göreceli olarak hesaplandığından dikkatli olunmalıdır.

**Posterior kondiller:** Femoral rotasyonel dizilimin (*alignment*) saptanmasında gerekli olan posterior kondiler aksın belirlenmesinde kullanılır. Her iki distal ve posterior kondiller işaretlenir. Eğer uygun işaretlenmez ise protez boyutu seçiminde hata ve hatalı dizilim (*malalignment*) olabilir.

**Anterior ve posterior troklear oluk:** Troklear olukların en derin yeri işaretlenir. Anterior ve posterior en derin noktalar arasında en az 20 mm olmalıdır. Bu sayede femurun rotasyonel diziliminde gerekli olan anteroposterior aks belirlenmiş olur.

**Medial ve lateral epikondiller:** Femoral rotasyonel dizilimi belirlemek için medial ve lateral epikondiller işaretlenir (transepikondiler aks). Ayrıca bu noktalara göre seçilecek protezin eni de (M/L büyüklüğü) hesaplanmıştır.

### Tibial referans noktalarının (*landmarking*) işaretlenmesi

**Malleoller:** Medial ve lateral malleoller üzerinde iki nokta işaretlenir ve bu sayede tibianın mekanik aksı yazılımda oluşturulacaktır.

**Tibial tüberkülün 1/3 mediali:** Kayıt işaretleyicisi (*registration pointer*) ile nokta konulur. Bu nokta medial ve lateral aksın ortasında olmalıdır. Anteroposterior yerleştirme tibia platosunun anterior kenarında orta ve 1/3 orta noktalar arasındaki bir noktadan geçmelidir.

**Tibial kanal girişi:** İntramedüller kanalın giriş noktası tibial kanal giriş noktası olarak işaretlenir. Mediolateral aksın tam ortasında olmalıdır. Anteroposterior olarak tibia platosunun ortası ile 1/3 anterioru arasında bulunmalıdır.

**Arka çapraz bağ (AÇB) yapışma noktası:** Tibia platosu üzerinde AÇB'nin yapıştığı yerin orta noktası ve tibial tüberkülün 1/3 mediali nötral rotasyonu belirler. Bu aks proksimal tibianın posterior kenarlarına dik olmalıdır. İşaretleyici ile AÇB insersiyosu işaretlenir.

**Medial ve lateral plato kesi (*resection*) referansları:** Medial ve lateral platonun en derin yerleri aralarında en az 20 mm aralık olacak şekilde işaretlenir. Bu proksimal tibiyadan yapılacak rezeksiyon seviyesinin hesaplanmasında kullanılacaktır. Kesi bu noktaların daha altından yapılacaktır.



**Şekil 11.** Ameliyat içinde görüntülessiz sistemde robotik özel yazılım (*software*) sayesinde cerrah panelde planladığı tekniği uygulama imkânı bulur.



**Şekil 12.** Diz değerlendirme panelinde cerrah bacağı hareket ettirerek ROM ve laksite değerlendirmesini kayıt altına alır.

### Aralık Ekranı (*Space display*)

Diz ekstansiyonda ve fleksiyonda medial ve lateral kompartmanlardaki maksimum aralıklar (*gap*) milimetre

olarak ekranda görülür. Bu, bize planlama panelinde implant yerleştirilmesinde rehber olacaktır.

## Planlama

Cihazın yazılımında (*software*) ekrana planlama paneli açılır ve cerrahın seçtiği implant (protez) parçaları (komponentleri) ile femur ve tibia kesileri planlanır. Robotik kol burada yapılan cerrahi planı aynen uygulayacaktır. Görüntü temelli (*image-based*) ya da görüntüsüz (*imageless*) seçeneklerdeki tüm fonksiyonlar ve görev çubukları yazılımda aynıdır. Tek önemli fark ana panelde görüntü temelli sistemlerde BT'den hazırlanan 3B kemik modeli yerine görüntüsüz sistemde ekranda gri arka plan (*background*) üzerinde çizim şeklindeki kemik modeli görülmesidir. Ayrıca aksiyel görüntü seçeneği olmayacak ve seçenekler çubuğunda implantlar, kesiler, aks ve referans noktaları görülmeyecektir. Bu, cerrah için bir oryantasyon dezavantajı oluşturmaktadır. Ancak 5-10 vakadan sonra bu durum cerrah için önemli bir dezavantaj oluşturmayacaktır.<sup>[17,19,23]</sup>

Tüm planlama tek bir seferde yapılmamalıdır. Bir basamak diğerini etkileyebileceğinden dolayı planlama işlemi aşama aşama yapılmalıdır. Konvansiyonel planımız robotik plan ile bazen uyuşmayabilir. Bunun birçok nedeni vardır. Örneğin; biz planlamayı ayakta yük vererek çektiğimiz dizilim röntgenlerindeki ölçümlerimize göre yapmaktayız. Bu ölçümler her zaman ideal *X-ray* olamamaktadır. Bu, klasik değerlendirmemizin doğruluğunu azaltmaktadır. Robotik yazılımda olumsuz görülebilecek bir sorun, değerlendirmenin ayakta yapılamamasıdır ancak kayıt sırasında aksiyel yüklenme yaparak bu sorunu çözebiliriz. Klasik planlamada sagittal plandaki deformiteler röntgenlerde gözden kaçabilmektedir. Burada robotun verilerine güvenmemiz gerekmektedir. Yine *X-ray* üzerinde yaptığımız işaretlendirme ve ölçümlerde gelen ışının açısına göre ölçümler hatalı olabilmektedir. Aynı röntgende bazı noktaları farklı hekimler farklı işaretle-

yebilmektedir. Bu da klasik planlamanın güvenilirliğini azaltmaktadır. Sonuç olarak kemik kaybı ve laksite de göz önünde bulundurulduğunda klasik değerlendirmemizden çok robota güvenmemiz daha doğru olacaktır.<sup>[18,19]</sup>

Gerek planlama gerekse uygulama aşamasında bir çok filozofiyi kullanma imkânı robot ve yazılımıyla mümkündür. Örneğin; ölçülü kesim vs. aralık dengeleme, mekanik vs. kinematik dizilim, anatomik ve konstitüsyonel (yapısal olarak doğuştan gelen) dizilim ve benzeri. Cerrah ameliyat planına başlamadan önce buna mutlaka karar vermelidir. Klasik yöntemlerde yapılamayabilecek bir çok teknik cihazın yazılımın yardımıyla yapılabilir.<sup>[24]</sup>

Planlamada implant seçimi seçeneği, yalnız görüntü temelli sistemlerde vardır ve cihaz ile uyumlu olmayan markalar seçilememektedir. Bu görüntüsüz (*imageless*) sistemin bir dezavantajıdır.

## İmplant Planlayıcı (*Manipulator*)

Bu basamakta protezimizi nasıl yerleştireceğimize karar verebilmekte ve seçenekleri anlık görebilmekteyiz. Ekranda femur ya da tibiaya dokunarak istediğimiz plandaki kemik rezeksiyon miktarlarını artırıp azaltabiliriz. Frontal planda femur ve tibia için varus ve valgus değerlendirip, ekstansiyonda distal femur kesisini, fleksiyonda posterior femur kesi miktarını ve yine frontal görüntüde proksimal tibia kesi miktarlarını değiştirebiliriz. Lateral planda ise femurun fleksiyonunu ve tibianın posterior *slopunu* değiştirebiliriz (Tablo 2). Cerrah burada farklı kesileri planlayıp etkilerini görebilir ve istediği zaman ilk planına (*by-default*) dönebilir. Bu esneklik sağlayan önemli bir özelliktir.<sup>[22]</sup>

**Tablo 2.** Femur ve tibia için ekstansiyon ve fleksiyonda değerlendirdiğimiz açılar ve kesiler<sup>[16]</sup>

	Femur		Tibia	
	Ekstansiyon	Fleksiyon	Ekstansiyon	Fleksiyon
Frontal Plan	<ul style="list-style-type: none"> <li>Varus/Valgus açısı</li> <li>Medial ve lateral distal femur kesisi</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Varus/Valgus açısı</li> <li>Medial ve lateral proksimal tibia kesisi</li> </ul>	
Lateral Plan		<ul style="list-style-type: none"> <li>Fleksiyon açısı</li> <li><i>Stylus</i> (sivri uçlu işaretleme aleti) yüksekliği</li> <li>Posterior kondiler aksa (PKA) veya transepikondiler aksa (TEA) göre implant rotasyon açısı</li> <li>Medial ve lateral posterior kondiler kesi</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>Posterior eğim (<i>slop</i>) açısı</li> <li>Medial ve lateral proksimal tibia kesisi</li> </ul>

### Balans Çubuğu

Femoral rotasyonun değerlendirilmesinden önce veya sonra fleksiyon ve ekstansiyondaki tüm bilgiler kontrol edilir. Eklem aralığı ve dengesi aralık ölçer (*spacer block*) ile ekstansiyon ve fleksiyonda ölçülür. Kemik kesi (rezeksiyon) seviyeleri ve eklem çizgisi mekanik aksa göre belirlendikten sonra ekstansiyon ve fleksiyonda bağ dengesi değerlendirilir ve laksite kontrol edilir. Konulacak protezin varus ve valgusu, fleksiyonu, rotasyon ve translasyonu, kesi kalınlığı oynanarak uygun bir balans elde edilmeye çalışılır. Artık rehberli kesi (*guided cut*) aşaması için hazırlıklar bitmiştir.

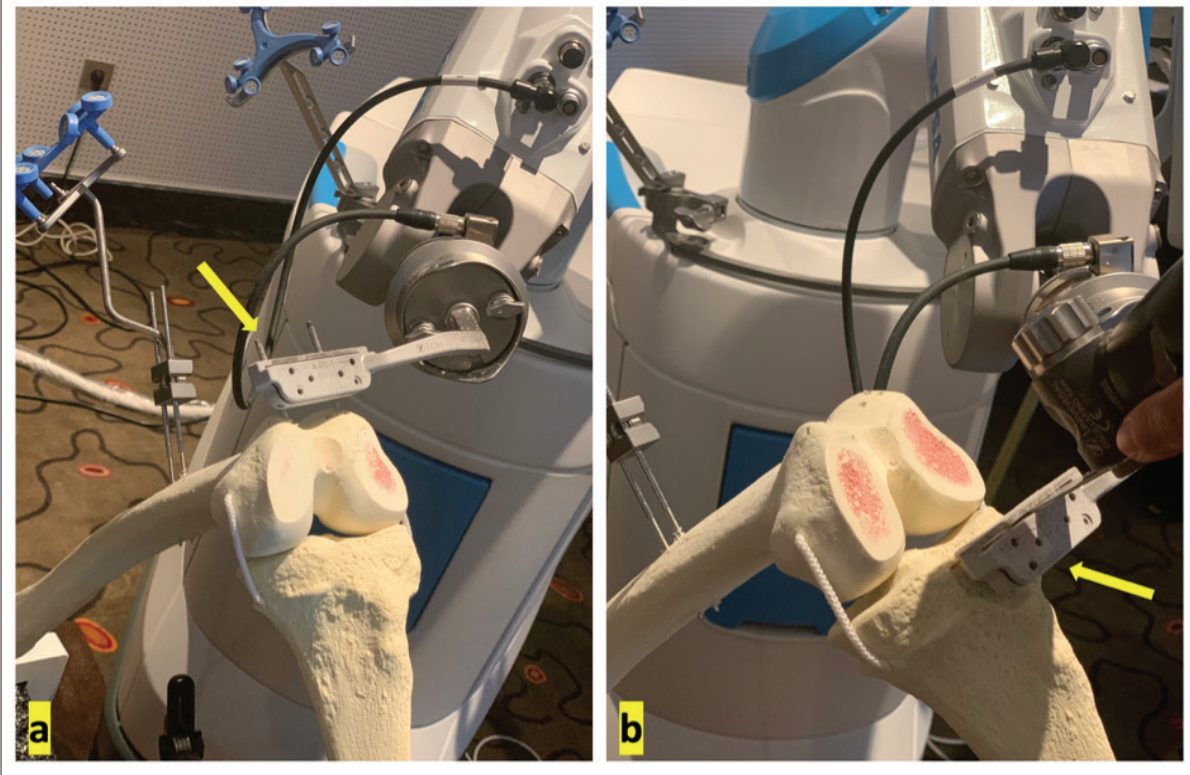
### Kesi Planlaması Paneli ve Kesilerin Robotik Kol Yardımı ile Yapılması

Ekstansiyon ve fleksiyonda kesiler, eklem aralığı ve dizilim son kez kontrol edildikten sonra seçilen implant komponentlerine göre ameliyat sırasında yapılacak kesilerin görüldüğü bir paneldir. Bu en son aşamadır. Bu aşamadan sonra kesim rehberlerine bu yaptığımız yazılım yüklenir ve kayıt işaretleyicisi (*registration pointer*) ile referans noktaları (*checkpoint*) işaretlenerek artık robotik kol sahaya getirilir.<sup>[22]</sup>

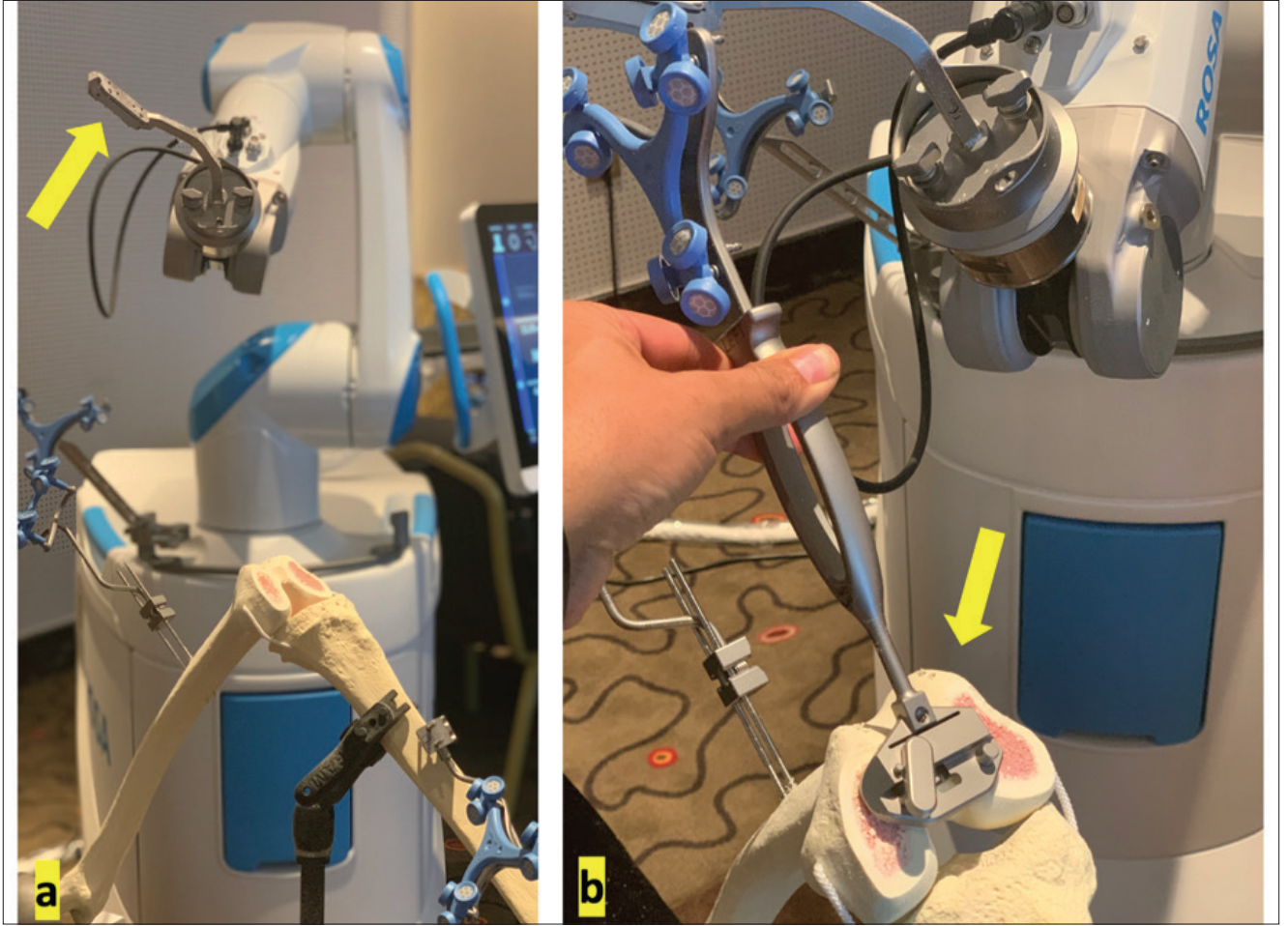
Daha sonra otomatik olarak robotik kol, femur distal kesisi için yerini alır ve kesi bloğu rehberleri (*guide*) pinler ile kemiğe sabitlenir ve kesi işlemine geçilir. Sonrasında normalde nasıl ameliyat yapılıyorsa aynı şekilde devam edilir (Şekil 13).

Doğrulama çubuğu (*validation tool*) sayesinde her aşamada yaptığımız kesilerin doğruluğunu kontrol edebiliriz (Şekil 14). Bu hatasız bir protez ameliyatı yapabilmek için önemli bir avantajdır.

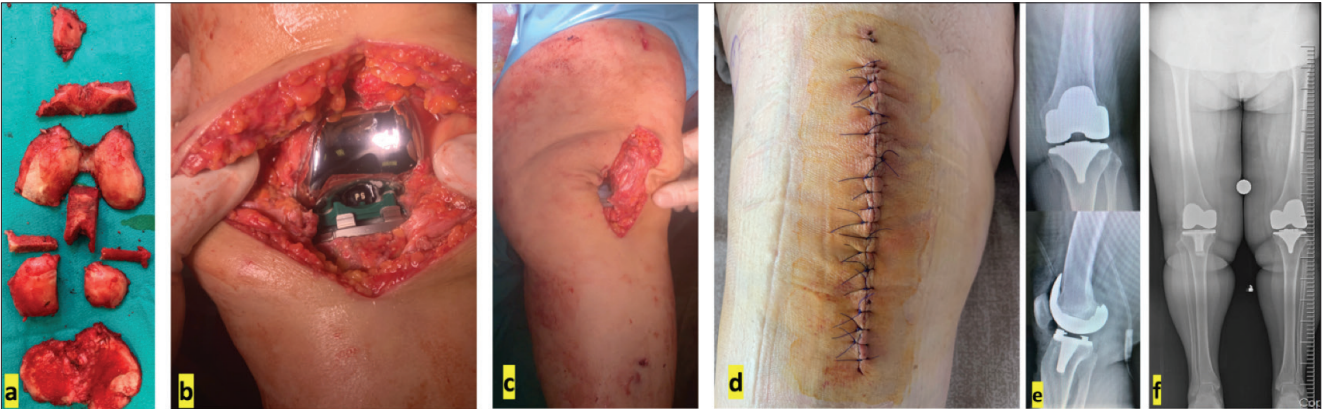
Femur distal kesisinden sonra tibia proksimal kesisi için ekrandaki panelden tibia seçilir, robotik kol planlanan kesi yerine gelir ve kesi rehberi tercihen iki adet pin ile fikse edildikten sonra cerrah tibia proksimal kesisini yapar, daha sonra kesi doğrulama düğmesine basılarak validasyon yapılır. Kesi işlemi bittikten sonra bacak 5-20 derece arasında ekstansiyona getirilerek aralık bloğu (*gap* ölçer, *spacer block*) ile ekstansiyon aralığı değerlendirilir, eş zamanlı olarak değerler ekrandan kontrol edilir. Dize varus ve valgus stresi verilerek ek kontroller yapılır. Bu aşamada istenirse femoral rotasyon değerlendirilmesi de yapılabilir. Uygun bulunduktan sonra 4-1 femoral kesi bloğu ekrandan seçilir ve robotik kol sahaya getirilerek uygun pozisyon kontrol edildikten sonra ilk pin medial kısımdan konularak sabitlenir. Kesiden önce tekrar doğrulama yapılır, anterior çen-



**Şekil 13.a-b.** Robotik sistemlerde planlama işleminden sonraki kemik kesilerinin yapılması kolaydır. Biz planı onayladıktan sonra otomatik olarak kesi rehberleri (*guide/jigs*) monte edilmiş şekilde robotik kol sahaya gelir. ROSA platformunda isteğe bağlı olarak kesim rehberleri çivilerle tercihen kemiğe sabitlenir (a. sarı ok) ya da direkt olarak (b. sarı ok) cerrah klasik şekilde normal diz protezindeki gibi kesici motor yardımıyla kesilerini basamak basamak tamamlar.



**Şekil 14.a-b.** Her kesiden sonra robotik kola bağlı kesi bloğu (a. sarı ok) uzaklaştırılır ve validasyon aleti (b. sarı ok) kesilen kemik yüzüne konulduğunda ve kontrol ekranında yeşil ışık yandığında kesinin doğruluğu onaylanmış olur.



**Şekil 15.a-f.** Planlanan şekilde robotik kol yardımlı kesiler hassas bir şekilde yapılabilir (a). Daha sonra istenirse deneme implantları ile kontrol (b) yapıldıktan sonra protez yerleştirilir (c). Cerrahin tercihine göre insizyon kapatılır (d). Ameliyat salonunda AP/L grafi kontrol röntgeni tercih çekilebilir (e). Aynı hastanın takipteki dizilim grafisi görülmektedir (f).

tikleşme (*notching*) olmadığı standart enstrümantasyon (*angle wing*) ile kontrol edilir ve kesi uygulanır. Bu aşamadan sonra deneme implantları ile son olarak protez yerleştirildikten sonra diz değerlendirmesi tekrar yapılabilir (Şekil

15). Ameliyat sonrası ameliyat sırasında ekranda yapılan tüm planlamalar ve işlemler bir rapor olarak çıktı verilir (Şekil 16). Bu cerrahın hastayı daha sonra değerlendirmesi ve kendi tekniğini geliştirmesi açısından çok önemlidir.

30Degree: Maximum varus [DEG], --	96 Maximum valgus (Extension) [DEG], 4.8 VARUS
30Degree: Maximum valgus [DEG], --	97 Maximum valgus (Extension) [DEG], 9.3 VARUS
45Degree: Maximum varus [DEG], 4.5 VARUS	98 Medial distraction distance in flexion [mm], 10.5
45Degree: Maximum valgus [DEG], 7.1 VARUS	99 Lateral distraction distance in flexion [mm], 13.0
60Degree: Maximum varus [DEG], --	100 Femur implant rotation (PCA) [DEG], 3.6 INT
60Degree: Maximum valgus [DEG], --	101 Femur implant rotation (TEA) [DEG], 3.4 EXT
Flexion: Medial laxity [mm], 7.1	102 FEMUR DISTAL VALIDATION, -----
Flexion: Lateral laxity [mm], 3.8	103 Flexion [DEG], N/A
Flexion: Maximum varus [DEG], 1.3 VALGUS	104 Varus/Valgus [DEG], N/A
Flexion: Maximum valgus [DEG], 13.5 VARUS	105 Distal medial resection [mm], -nan(ind)
120Degree:Maximum varus [DEG], --	106 Distal lateral resection [mm], -nan(ind)
120Degree:Maximum valgus [DEG], --	107 FEMUR DISTAL VALIDATION, -----
INTRAOPERATIVE KNEE STATE, -----	108 Flexion [DEG], N/A
Minimum Flexion [DEG], 0.1 EXTENSION	109 Varus/Valgus [DEG], N/A
Maximum Flexion [DEG], 141.2 FLEXION	110 Distal medial resection [mm], -nan(ind)
Extension: medial laxity [mm], 7.1	111 Distal lateral resection [mm], -nan(ind)
Extension: Lateral laxity [mm], 4.7	112 FEMUR DISTAL CUT PLANNED, -----
Extension: Maximum varus [DEG], 0.9 VARUS	113 Flexion [DEG], 3.1 FLEXION
Extension: Maximum valgus [DEG], 14.2 VARUS	114 Varus/Valgus [DEG], 1.9 VARUS
30Degree: Maximum varus [DEG], --	115 Distal medial resection [mm], 7.8
30Degree: Maximum valgus [DEG], --	116 Distal lateral resection [mm], 8.8
45Degree: Maximum varus [DEG], 4.8 VARUS	117 Implant type brand, Vanguard PS
45Degree: Maximum valgus [DEG], 7.7 VARUS	118 Implant size, 67.5
60Degree: Maximum varus [DEG], --	119 Planned HKA [DEG], 3.9 VARUS
60Degree: Maximum valgus [DEG], --	120 FEMUR DISTAL VALIDATION, -----
Flexion: Medial laxity [mm], 6.5	121 Flexion [DEG], N/A
Flexion: Lateral laxity [mm], 6.6	122 Varus/Valgus [DEG], N/A
Flexion: Maximum varus [DEG], 0.5 VARUS	123 Distal medial resection [mm], -nan(ind)
Flexion: Maximum valgus [DEG], 22.4 VARUS	124 Distal lateral resection [mm], -nan(ind)
120Degree:Maximum varus [DEG], --	125 FEMUR DISTAL VALIDATION, -----
120Degree:Maximum valgus [DEG], --	126 Flexion [DEG], 2.5 FLEXION
INTRAOPERATIVE KNEE STATE, -----	127 Varus/Valgus [DEG], 2.9 VARUS
Minimum Flexion [DEG], 1.2 FLEXION	128 Distal medial resection [mm], 8.0
Maximum Flexion [DEG], 102.8 FLEXION	129 Distal lateral resection [mm], 8.2
Extension: medial laxity [mm], 9.1	130 FEMUR DISTAL CUT PLANNED, -----
Extension: Lateral laxity [mm], 5.8	131 Flexion [DEG], 3.1 FLEXION
Extension: Maximum varus [DEG], 1.3 VALGUS	132 Varus/Valgus [DEG], 1.9 VARUS
Extension: Maximum valgus [DEG], 17.7 VARUS	133 Distal medial resection [mm], 7.8
30Degree: Maximum varus [DEG], --	134 Distal lateral resection [mm], 8.8

Şekil 16. Tüm ameliyat sırasında yapılan işlemler basamak halinde Excel formatında 'cerrah raporu' şeklinde kaydedilir.

## SONUÇ

Beş yıl sonra ne olacağını tahmininin çok zor olduğu ve teknolojik devrimin gerçekleştiği bu dönemde “akıllı ortopedik sistemler” ve “cerrahi robotlar” günlük pratiğimizde giderek daha fazla yer bulmaktadır. Her geçen gün ilerleme kaydedilen 3B ameliyat öncesi ve gerçek zamanlı ameliyat içi planlama, robotik cerrahi, navigasyon ve akıllı implantlar karşılaştığımız problemleri çözmek için umut vericidir. Otonom özelliği fazla, cerrahın rolünü azaltan, sanal (*virtual*) ve artırılmış gerçeklik (*augmented reality*) uygulamaları içeren robotik platformlar üzerinde araştırmalar sürmektedir. Görüntülü ya da görüntüsüz farklı robotik sistemler ile cerrahın filozofisine göre (dizilim planı, protez seçimi ve yerleştirilmesi) hassas bir şekilde uygulandığı ve dizin anlık sayısal olarak kaydedildiği rTDA vakalarının karşılaştırmalı uzun dönem klinik sonuçlarının ve protez sağ kalımlarının bildirildiği çalışmalar, gelecekteki yeni gelişmelere öncülük edecektir.

## KAYNAKLAR

1. Takacs A, Nagy DA, Rudas IJ, Haidegger T. Origins of surgical robotics: from space to the operating room. *Acta Polytechnica Hungarica* 2016;13(1):13-30. [Crossref](#)
2. Chen AF, Kazarian BA, Jessop GW, Makhdom AM. Robotic technology in orthopaedic surgery. *J Bone Joint Surg Am* 2018;100(22):1984-92. [Crossref](#)
3. Zheng G, Nolte LP. Computer Aided Orthopedic Surgery: State of the aArt and Future Perspective. In: Zheng G, Tian W, Zhuang Xn (eds). *Intelligent Orthopedics*. Springer, 2018; p. 1-20. [Crossref](#)
4. Hazan E J, Joskowicz L. Computer aided orthopedic surgery: incremental shift or paradigm change. In: Zheng G, Tian W, Zhuang Xn (eds). *Intelligent Orthopedics* Springer, 2018; pp. 21-30. [Crossref](#)
5. Özsezen AM. Yapay zekâ ve derin öğrenme teknolojileri ile kalça eklemi radyografilerinde femoral komponentin tanınması, Tıpta Uzmanlık Tezi (Danışman: Dr. Cemil Yıldız). Ankara, Gülhane Tıp Fakültesi 2021.
6. Özsezen AM, Yıldız C. Yapay Zekâ ve Derin Öğrenme Teknolojileri ile Kalça Eklemi Röntgenlerinde Femoral Komponentin Tanınması. *AOTT Suppl* 2021:1
7. Yıldız C, Gemalmaz H, Özsezen AM, Erdem Y. Total Kalça Protezinde Akıllı Ortopedi Uygulamaları. *Kemik Eklem Kongresi, Kemik Eklem Cerrahi Derneği*, 27-30 Nisan 2019, Bodrum.
8. Yıldız C, Ersönmez H, Şahin S, Arı M, Özsezen AM, Sanal HT. Yapay Zeka Yöntemlerinden Derin Öğrenme ile İntertrokanterik Femur Kırıklarının Tanınması. *Kemik Eklem Cerrahisi Derneği Kongresi*; 13-16 Ekim 2021, Bodrum. *Bildiri Kitabı* pp: 256-257.
9. Yıldız C, Ersönmez H, Şahin S, Arı M, Özsezen AM, Sanal HT. Automated detection of intertrochanteric femoral fractures with deep learning methods. *Abstract Book*: 18-19. *International Orthopedic Trauma Course*; 5-7 Kasım 2021, İzmir.
10. Yıldız C, Gemalmaz HC, Erdem Y, Sarıyılmaz K, Özsezen AM. Kompleks Ortopedik Problemlerin Tedavisinde 3 Boyutlu Katı Modellemenin Tedavi Sonuçlarına Katkısı. *AOTT Suppl* 2019; I: 105.
11. Yıldız C, Gemalmaz H, Özsezen AM, Erdem Y. 3D Modelleme ve Baskı Teknolojileri Rutin Pratikte Kullanılabilir mi? *AOTT Suppl* 2021:1
12. Yıldız C. Geleneksel Yöntemler ve 3 Boyutlu Yazılımlarla Kalça Protezinin Planlanması. 1. Sanal TOTBİD Kongresi, 2020.
13. Naziri Q, Burekhovich SA, Mixa PJ, Pivec R, Newman JM, Shah NV, et al. The trends in robotic-assisted knee arthroplasty: a statewide database study. *J Orthop* 2019;16(3):298-301. [Crossref](#)
14. Elliott J, Shatrov J, Fritsc B, Parker D. Robotic-assisted knee arthroplasty: an evolution in progress. A concise review of the available systems and the data supporting them. *Arch Orthop and Trauma Surg* 2021;141(12):2099-117. [Crossref](#)
15. 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* 2021. [Crossref](#)
16. Kayani B, Konan S, Ayuob A, Onochie E, Al-Jabri T, Haddad FS. Robotic technology in the total knee arthroplasty: Systematic review. *EFORT Open Reviews* 2019;4(10):611-7. [Crossref](#)
17. Khlopas A, Sodhi N, Sultan AA, Chughtai M, Molloy RM, Mont MA. Robotic arm assisted total knee arthroplasty. *J Arthroplasty* 2018;33(7):2002-6. [Crossref](#)
18. Parratte SP, Prica AJ, Jeys LM, Jackson WF, Clarke HD. Accuracy of a new robotically assisted technique for total knee arthroplasty: A cadaveric study. *J Arthroplasty* 2019;34(11):2799-803. [Crossref](#)
19. 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.
20. Tuncay İ, Erdem AC. Bilgisayar temelli ve robotik kol yardımı total diz protezi uygulamaları. *TOTBİD Derg* 2021;20(5):561-6. [Crossref](#)
21. Bagaria V, Sadigale OS, Pawar PP, Bashyal RK, Achalare A, Poduval M. Robotic-assisted knee arthroplasty (RAKA): the technique, the technology and the transition. *Indian J Orthop* 2020;54(6):745-56. [Crossref](#)
22. ROSA Knee System Surgical Technique V1.1, Zimmer Biomet, 2020.
23. Sousa PL, Sculco PK, Mayman DJ, Jerabek SA, Ast MP, Chalmers BP. Robots in the operating room during hip and knee arthroplasty. *Curr Revs Musculoskelet Med* 2020;13(3):309-7. [Crossref](#)
24. Lonner JH, Fillingham YA. Pros and cons: A balanced view of robotics in knee arthroplasty. *J Arthroplasty* 2018;33(7):2007-13. [Crossref](#)