

Robotik kalça artroplastisi

Robotic hip arthroplasty

Ömer Faruk Bilgen, Müren Mutlu

Özel Medicabil Hastanesi, Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği, Bursa

Total kalça artroplastisi (TKA) son dönem eklem hasarlarının tedavisinde etkili bir yöntemdir. Total kalça artroplastisinin uzun dönem sonuçları ve protez sağkalımı, kalça biyomekaniğinin doğru şekilde restorasyonuna bağlıdır ve bu, optimal bileşen konumlandırma yoluyla elde edilir. Optimum olmayan bileşen konumlandırması eklem instabilitesine, artan aşınmaya ve kötü fonksiyonel sonuçlara neden olmaktadır. Robotik kol destekli artroplastisi, ameliyat öncesi doğru planlama, optimal implant seçimi, minimal invaziv cerrahi, hassas osteotomi ve ideal komponent yerleşimini sağlayarak klinik sonuçları iyileştirme potansiyeline sahiptir.

Anahtar sözcükler: total kalça artroplastisi; robotik destekli; implant konumlandırma

Total hip arthroplasty (THA) is an effective method for the treatment of end-stage degenerative joint disease. Long-term results of THA and durability of the implants depend on correct restoration of hip biomechanics, which is achieved through optimal component positioning. Suboptimal component positioning leads to joint instability, increased wear, and poor functional outcomes. Robotic-assisted arthroplasty has the potential to improve clinical outcomes by providing accurate preoperative planning, optimal implant selection, minimally invasive surgery, precise osteotomy, and accurate component placement.

Key words: total hip arthroplasty; robotic-assisted; implant positioning

Primier total kalça artroplastisinin (TKA) temel amacı ağrıyı gidermek ve sonunda normal kalça fonksiyonunu geri kazandırmaktır.^[1] İmplant seçimi ve konumlandırması, intraoperatif zorlukları en aza indirmek ve iyi bir fonksiyonel sonuç sağlamak için çok önemlidir.^[2,3] Total kalça artroplastisine yönelik modern yaklaşım hem tanı hem de tedavi için gelişmiş görüntüleme yöntemlerinin kullanımına dayanan daha hedefli bir tedaviyi içerir. Üç boyutlu planlama, elektif cerrahi için önemli bir adımdır. Teknik hedefleri arasında optimum implant boyutlandırma ve konumlandırmanın yanı sıra femoral ofsetlerin, bacak uzunluğunun ve rotasyon merkezinin restorasyonu yer alır.^[2-4] Ayrıca robotik destekli cerrahiler, navigasyon teknikleri ve hasta özelinde enstrümantasyon ve implantların kullanımı gibi diğer bilgisayar destekli tekniklerin kullanılmasını da sağlar.^[5-8]

ROBOTİK ARTROPLASTİ CERRAHİSİNİN ÜSTÜNLÜKLERİ

Konvansiyonel yöntemle hatasız, tekrarlanabilir doğru implantasyonun çok tecrübeli ellerde bile yapıl-

ması zordur. Özellikle gelişimsel kalça displazisi, ankilozan spondilit, travma sonrası gelişen artrit vs. gibi anatomik bozulduğu ve kemik stokunun yeterli olmadığı hastalarda komponentin Lewinnek'in tarif ettiği güvenli bölgeler (5-25° anteverسیون, 30-50° inklinasyon) içinde yerleştirmek daha da zorlaşır.^[9,10] Komponent malpozisyonu revizyonların yaklaşık %40'ını oluşturmaktadır.^[10] Robotik cerrahi teknoloji cerrahin yerini alamaz fakat daha güvenli, belirlenmiş, planlanmış cerrahi prosedür uygulama imkânı sunar.

Konvansiyonel TKA'da implant pozisyonunu planlamak için radyografik şablonlama, cerrahi hizalama kılavuzları ve transvers asetabular ligaman, asetabular çentik, anterior superior iliyak çıkıntı vs. gibi intraoperatif belirteçler kullanılır. Bununla birlikte, asetabular bileşenlerin yalnızca %38-47'si, bu manuel el teknikleri kullanılarak istenen güvenli anteverسیون ve inklinasyon aralıkları içindedir.^[11-13] Kalça osteoartriti ve/veya omurga deformitesi olan hastalarda sıklıkla anormal spinopelvik dizilim ve sagittal dengesizlikler bulunur, bu da pelvis, femur ve omurganın günlük yaşamın fonksiyonel

aktiviteleriyle ilişkisinde hastaya özgü değişikliklere yol açar.^[14] Bu nedenle, hasta ayakta dururken pelvisin gele-neksel ameliyat öncesi iki boyutlu şablonlanması, implant konumlandırma için hastaya özel güvenli bölgeleri hesaba katamayabilir. Total kalça artroplastisinde optimal olmayan implant konumlandırması, kalça instabilitesi riskinin artmasına ve uzun vadede implantın sağkalım süresinin azalmasına neden olur.^[15]

Total kalça artroplastisi zaten etkili bir ameliyat olmasına rağmen artık hasta memnuniyetinin ve fonksiyonel sonuçların daha da iyileştirilmesi amaçlanmaktadır. Cerrahi doğruluğu arttırmak için farklı türde yeni teknolojiler geliştirildi. Hastaya özel enstrümantasyonlar, navigasyon, akıllı araçlar, bilgisayar veya robot destekli cerrahi gibi teknolojiler, cerrahi planlamanın doğruluğunu arttırmak için ameliyatı bireyselleştirmeyi ve her hastanın anatomisini hesaba katmayı amaçlamaktadır.

ROBOTİK SİSTEMLER

Bilgisayarla yönlendirilen TKA, ameliyatı yapan cerraha ameliyat sırasında hasta anatomisi ve implant konumu hakkında bilgi sağlayan bilgisayar sistemlerinin kullanımını ifade eder.^[16] Bu anatomik bilgi, ameliyat öncesi bilgisayarlı tomografi (BT) taramaları (görüntü bazlı navigasyon) veya kemik anatomik yer işaretlerinin genel bir pelvis modeli üzerinde intraoperatif haritalanması (görüntü bazlı olmayan navigasyon) kullanılarak elde edilebilir. Bilgisayar navigasyonu, kemik rezeksiyonu ve optimal implant konumlandırma önerileriyle birlikte hastaya özel anatomik veriler sağlar ancak bilgisayar sistemi, ameliyatı yapan cerrahın fonksiyonunu aktif olarak kontrol etmez veya kısıtlamaz. Robotik kol yardımcı TKA, anatomik bilgiyi, ameliyatı yapan cerrahın optimal implant konumlandırmasını hesaplamak ve planlamak için kullandığı, pelvisin sanal, hastaya özel üç boyutlu rekonstrüksiyonuna dönüştürmek için bilgisayar yazılımını kullanır. İntraoperatif bir robotik cihaz, bu ameliyat öncesi hastaya özel planın yüksek düzeyde doğrulukla yürütülmesine yardımcı olur. Robotik cihazın ameliyatı yapan cerraha sağladığı kontrol derecesine bağlı olarak robotik sistemler, tam aktif veya yarı aktif olarak sınıflandırılır.^[17-19]

Tamamen aktif robotik sistemler, TKA sırasında planlanan kemik rezeksiyonu ve implant pozisyonunu gerçekleştirmek için otonom olarak çalışır. Cerrah, cerrahi prosedürü denetler ve gerekirse acil kapatma anahtarını etkinleştirebilir.^[19]

Yarı aktif robotik sistemler, cerrahın kemik rezeksiyonu ve implant konumlandırma üzerinde genel kontrolü sürdürmesine olanak tanır ancak ameliyat öncesi cerrahi plandan sapmayı sınırlamak için canlı intraoperatif geri bildirim sağlar.^[20] Robotik kol, ameliyat öncesi planı

yüksek düzeyde doğrulukla yürütmek için cerrahın aseptabular oymanın kuvvetini ve yönünü kontrol etmesine yardımcı olan dokunsal, işitsel ve görsel geri bildirimle sahiptir. Kesin implant seçimi ve konumlandırmasından önce kemik kapsama alanı, implant konumu, ofset ve bacak uzunluğundaki canlı ekran değişiklikleri kontrol edilir.^[20,21]

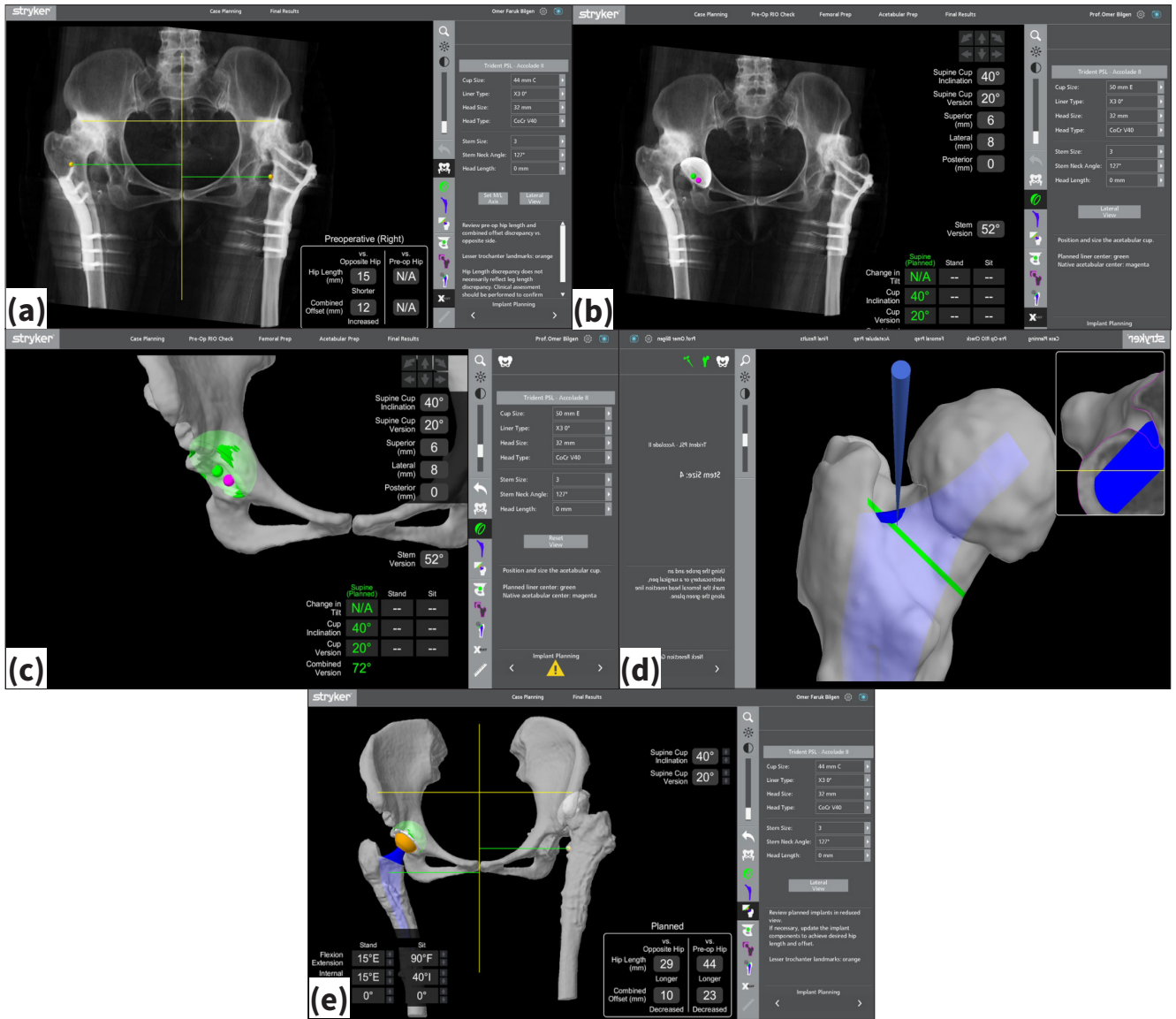
Robotik TKA'da, hastaya özel cerrahi planın doğru şekilde uygulanması için dört farklı aşama kullanılır. Birincisi, ilgili hasta anatomisinin anlaşılması ve hastaya en uygun implantın ve göreceli konumunun seçilmesini sağlamak için yeterli görüntülemeyi içerir. Aksiyel, sagittal ve koronal düzlemlerde kesitsel bilgi sağlamak için pelvis ve tam uzunluktaki femurun BT taraması alınır. Bu veriler hastaya özel üç boyutlu kemik modelini bilgisayarda oluşturmak ve daha sonra implant boyutu, türü ve konumu için ameliyat öncesi bir planlama yapmak için kullanılır.^[21] İkincisi, cerrah bu sanal üç boyutlu rekonstrüksiyonu kullanarak kalça biyomekaniğinin restorasyonunu, komponent versiyonunu, açısını ve istenilen bacak uzunluğunu elde etmek için en uygun implant konumlarını ve boyutlarını şablon hâline getirir. Bilgisayar yazılımı, bu cerrahi planın doğru şekilde uygulanması için asetabular kemik rezeksiyonunun derinliğini ve genişliğini, femoral osteotomi bölgesini ve açısını ve bileşen konumlandırmasını hesaplar. Üçüncüsü, cerrah intraoperatif olarak kemik geometrisini oluşturmak ve kemik rezeksiyonu öncesinde pelvik pozisyonu doğrulamak için asetabulum ve proksimal femurun kemik anatomisini haritalandırır. Dördüncüsü, planlanan kemik rezeksiyonunu gerçekleştirmek ve ameliyat boyunca görüntülenen kemik kapsamı, implant eğimi, implant versiyonu, ofset ve bacak uzunluğu düzeltilmesindeki canlı ekran değişiklikleriyle nihai implant konumlandırmasını yönlendirmek için robot kullanılır.^[22]

ROBOTİK TOTAL KALÇA ARTROPLASTİSİNİN AŞAMALARI

Ameliyat Öncesi Planlama

Total kalça artroplastisinde ameliyat öncesi planlama, ilgili hasta anatomisinin anlaşılması ve hastaya en uygun implantın ve göreceli konumunun seçilmesini sağlamak için yeterli görüntülemeyi içerir. Aksiyel, sagittal ve koronal düzlemlerde kesitsel bilgi sağlamak için pelvis ve tam uzunluktaki femurun BT taraması alınır. Bu veriler hastaya özel üç boyutlu kemik modelini bilgisayarda oluşturmak ve daha sonra implant boyutu, türü ve konumu için ameliyat öncesi bir planlama yapmak için kullanılır (Şekil 1).^[21]

Total kalça artroplastisi cerrahisinin başarısı için spinopelvik mobilitenin önemi kabul edilmiş ve çağdaş ameliyat öncesi planlama sistemlerine dâhil edilmiştir. Spinopelvik hareketlilik omurga, pelvis ve kalça arasındaki karmaşık ilişkiyi içerir. İlerlemiş artritli hastalarda oturma ve ayakta



Şekil 1.a-e. İki taraflı yüksek kalça çıkığına bağlı koksartroz olan hastanın ameliyat öncesi planlamada bacak uzunluk farkının hesaplanması (a), üç boyutlu kemik model üzerinde yerleştirilecek asetabular komponent yerinin belirlenmesi (b), asetabular komponent anteversiyon ve inklasyon açılarının belirlenmesi (c), planlanan femoral boyun kesisi seviyesi (d), planlanan asetabular ve femoral komponent yerleştirilmesi (e).

durma arasındaki fleksiyon arkı boyunca anormal spinopelvik dizilim veya sagittal dengesizlikler olabilir. Sonuç olarak, bu grupta asetabular bileşenin malpozisyonuna bağlı olarak özellikle biyolojik veya cerrahi spinal füzyonu olanlarda daha yüksek dislokasyon oranları vardır.^[23-25] Konvansiyonel bir TKA'da spinopelvik ilişkiyi kavramsal-laştırmak zordur. Spinopelvik parametrelerin entegrasyonu ancak robot teknolojisi kullanılarak doğal pelvik kinematiklerin restorasyonuna rehberlik edebilir.^[25]

Cerrahi Yaklaşım ve Hazırlık

Ameliyat planı bilgisayarda görüntülenir ve cerrahın önüne yerleştirilir. Cerrahi yaklaşımın seçimi cerraha

bağlıdır ve kullanılan robotik sisteme uygulanabilir olmalıdır (Şekil 2).

Asetabulum ve Proksimal Femurun Kemik Anatomisini Haritalandırmak

Robot tarafından, hazırlanacak her kemik yapısının kaydedilmesi gerekir. Cerrahi insizyona başlamadan önce ameliyat olacak kalçanın iliak kemiğine navigasyon pinleri yerleştirilir ve bunların sistem tarafından görünmesi sağlanır. Kalça disloke edilmeden önce ve sonrasında proksimal femura iki vida daha yerleştirilebilir. Biri kızılötesi kamera dizisini tutmak için diğeri ise kemik kaydının doğruluğu için bir kontrol noktası olarak



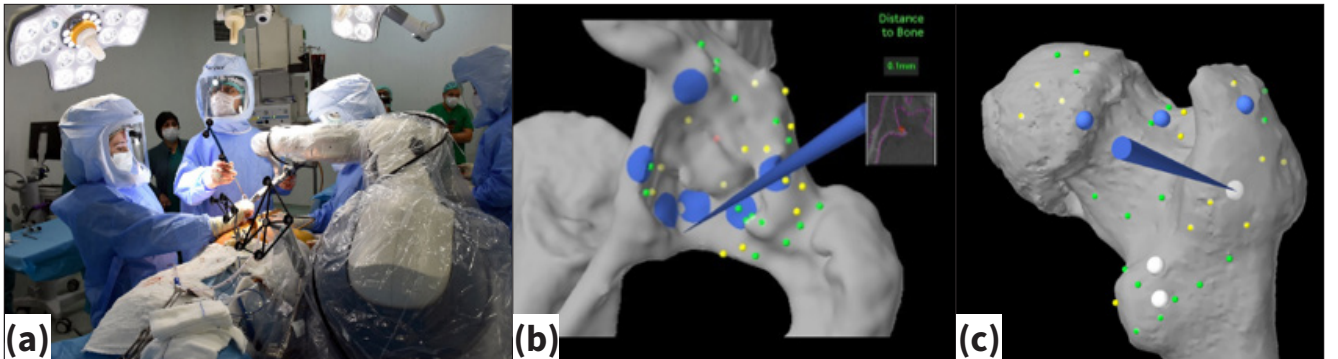
Şekil 2. Cerrahi yaklaşım seçimi ve yerleştirilen navigasyon pinlerinin sistem tarafından görünmesi.

kullanılır.^[26] Pelviste iliyak kanata yerleştirilen pinlerin spesifik pozisyonları kullanılan cerrahi yaklaşıma göre belirlenir.^[27] Önceden yerleştirilen navigasyon pinlerini kılavuz olarak kullanarak, robotun hastanın anatomisini ameliyat öncesi BT taramasıyla eşleştirmesine olanak sağlamak için 32 spesifik kemik noktası bir proba kaydedilir. Aynı işlem, asetabulum kenarının posterosuperior kısmına bir pelvik kontrol noktası vidası yerleştirilerek asetabulum için tekrarlanır ve 32 nokta yeniden kaydedilir.^[25] Bu vidalar gevşerse değerler hatalı olur ve kayıt işleminin tekrarlanması gerekir.^[28] Femur robotun navigasyon yardımını kullanabilirken, uygulama manueldir, dolayısıyla TKA'ların çoğunluğu yalnızca pelvik pinlerle gerçekleştirilir ve femoral versiyon görsel olarak belirlenip robotik olarak doğrulanır (Şekil 3).

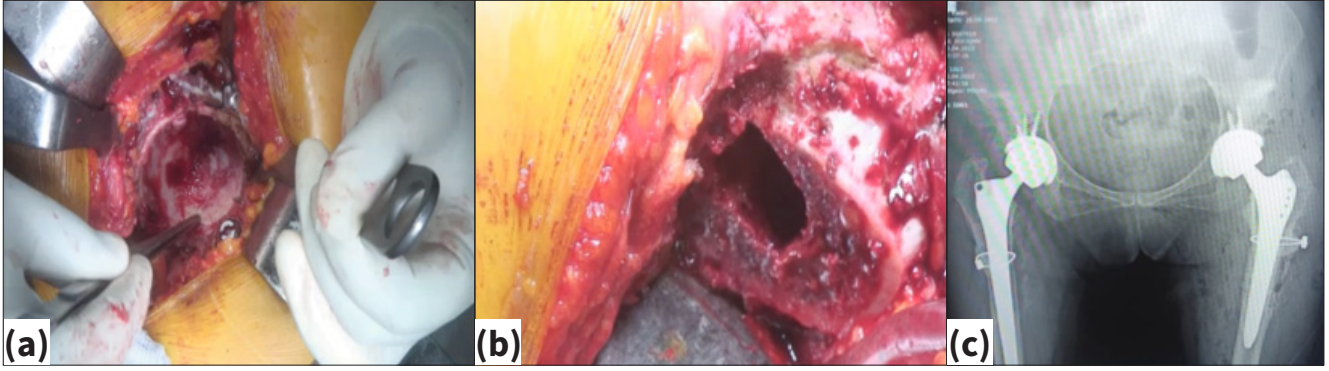
Kemik Rezeksiyonu ve İmplant Yerleştirilmesi

Kayıt işlemi tamamlandıktan sonra, boyun osteotomisinin seviyesi, probun kemiğe tekrar değiştirilmesiyle belirlenir. Bu çizgi, proksimal femur üzerinde elektrokoater veya cerrahi işaretleyiciyle işaretlenir, kesi yapılır ve femur başı rezeke edilir. Cerrah nihai istenen asetabular

komponent pozisyonuna karar verdikten sonra robotik sistem asetabular bileşenin planlanan pozisyonunu alır ve oyuncunun içinde hareket edebileceği dokunsal bir bölge belirler. Bu, ameliyat öncesi planın doğruluğunu sağlamak için işitsel, dokunsal ve ekran üstü geri bildirim sağlar. Tek bir oyuncu kullanılır ve robotik kol, asetabular komponentin doğru implantasyonunu sağlamak için pelvis içindeki önceden belirlenmiş alanı oymak üzere bölge içinde manevra yapar.^[29] Bileşen, robotik kol tarafından planlanan eğim ve versiyona göre 3°'lik bir aralıkta tutulurken, cerrah asetabular komponenti yerleştirir ve işlem sırasında optik izleme ile derinliği izler.^[30] Asetabular komponent yerleşimini takiben seçilen implant için cerrahi tekniğe uygun olarak femoral kanalı hazırlamak için sıralı raspalar kullanılır ve son raspadan sonra anteverسیونu ölçülür. Femoral yansıtıcı femoral vidanın üzerine yerleştirilir ve bilgisayar bacak uzunluğunu ve ofset değerlerini hareket yoluyla değerlendirir. Stabilitiyi değerlendirmek için kalça aralık boyunca hareket ettirilir ve daha kısa veya daha uzun bacak uzunluğunda herhangi bir ayarlama yapılabilir. Herhangi bir sapma olması durumunda yazılım güncellenmelidir (Şekil 4).



Şekil 3.a-c. Robot tarafından, hazırlanacak her kemik yapının kayıt edilmesi (a), asetabular kayıt (b), femoral kayıt (c).



Şekil 4.a-c. Asetabulumun hazırlanması (a), femoral kesi ve raspa sonrası femurun hazırlanması (b), ameliyat sonrası pelvis ön-arka grafisi (c).

TARTIŞMA

Total kalça artroplastisinde ameliyattan sonraki ilk yıl içinde instabilite önde gelen komplikasyonlardan biridir. Instabilite riskini ve buna bağlı sorunları en aza indirmek için birçok cerrah, TKA sırasında asetabular komponent konumlandırmasını yönlendirmek için Lewinnek ve ark.'nın tanımladığı güvenli bölgeleri (5-25° anteversiyon, 30-50° eğim) kullanır.^[12] Bununla birlikte, intraoperatif pelvik eğim, bozulmuş anatomik işaretler ve hizalama kılavuzlarının sınırlı doğruluğu ve tekrarlanabilirliği nedeniyle implantın bu güvenli bölgeler dâhilinde konumlandırılmasını sağlamak zordur.^[12,13] Bu güvenli aralıkların dışına çıkan asetabular komponent açılır; çıkık, sıkışma, kenar yüklenmesi ve aşınma riskinin artmasına neden olabilir. Bu önceden tanımlanmış güvenli bölgeler dâhilinde komponentin konumlandırılmasını etkileyebilecek çeşitli faktörler vardır. Callanan ve ark. 1.823 TKA'daki sonuçları gözden geçirmişler ve hem eğim hem de versiyon açısından yalnızca 917'sinin (%50) Lewinnek'in güvenli aralıklarında olduğunu bulmuşlardır.^[30] Yanlış konumlandırılmış asetabular komponentle ilişkili faktörler arasında minimal invazif cerrahi yaklaşım, düşük cerrah hacmi ve obezite (vücut kitle indeksi > 30 kg/m²) belirtilmiştir. Fonksiyonel aktiviteler sırasında kişiselleştirilmiş pelvik kinematiki değerlendirmek için ameliyat öncesi spinopelvik radyografiler veya BT taramaları, implant konumlandırma için hastaya özel güvenli bölgelerin belirlenmesine yardımcı olabilir. Robotik teknoloji, hastaya özel bu güvenli bölgelere implant konumlandırmasının yüksek düzeyde doğrulukla gerçekleştirilmesi için bir yol sunmaktadır.

Robotik TKA, kalça anatomisini doğrulamak ve pelvik eğimi oluşturmak için sabit femoral ve asetabular kayıtlarıyla kemik yer işaretlerinin intraoperatif haritalanmasını kullanır; bu, planlanan implant konumlandırmasının gerçekleştirilmesinde manuel subjektif hataların azaltılmasına yardımcı olur. Illgen ve ark. 200 ardışık konvansiyonel TKA'nın ardından 100 ardışık robotik TKA'nın sonuçlarını gözden geçirmişler ve robotik TKA'nın, kulla-

nının ilk yılında konvansiyonel TKA ile karşılaştırıldığında asetabular implant konumlandırma doğruluğunda %71 oranında ek bir iyileşmeyle ilişkili olduğunu bulmuşlardır.^[21] Lewinnek'in güvenli bölgeleri içindeki asetabular implant konumlandırması, ardışık ilk 100 konvansiyonel TKA'nın %30'unda, ardışık son 100 konvansiyonel TKA'nın %45'inde ve ardışık ilk 100 robotik kol destekli TKA'nın %77'sinde elde edilmiştir.^[21]

Robotik TKA, cerrahi planın doğru bir şekilde uygulanması için optimal femoral ve asetabular kemik rezeksiyon seviyelerini hesaplamak amacıyla ameliyat öncesi BT taramasını ve sanal üç boyutlu rekonstrüksiyonu kullanır. Yarı aktif robotik cihazlar, femoral osteotomi öncesinde femoral rezeksiyon bölgesinin manuel bir testere bıçağıyla işaretlenmesine olanak tanırken tam aktif robotik cihazlar, planlanan femoral osteotomi seviyesinde otonom olarak rezeksiyon yapar. Asetabular oyma, kalça ofsetinin ve rotasyon merkezinin doğru bir şekilde restorasyonu için istenen derinliğe ulaşılmasını sağlamak üzere robotik cihaz tarafından kontrol edilir.^[31,32] Kalça rotasyon merkezinin mediale 5 mm'den fazla veya yukarıya 3 mm'den fazla kaydırıldığı TKA'da olumsuz sonuçlar rapor edilmiştir.^[11]

Total kalça artroplastisi sonrası değişen derecelerde bacak uzunluk farkı yaygındır ve ortopedik cerrahlara karşı yasal işlem yapılmasının önde gelen nedenlerinden biridir. 10 mm'den fazla kısalık veya 6 mm'den fazla uzunluk farkı hastanın bu tutarsızlığın farkında olmasına neden olmaktadır.^[33] Kalça uzunluğu ile ekstremiteler uzunluğu aynı şey değildir. Total kalça artroplastisinde amacımız bacak boyu eşitliğini sağlamakla beraber yumuşak doku dengesi iyi olan stabil bir kalça eklemi elde etmektir. Kumar ve ark.'nın dokuz çalışmayı inceleyen metaanalizlerinde, robotik TKA grubunda bacak uzunluk farkında istatistiksel olarak anlamlı bir azalma göstermiştir.^[34] Emara ve ark. metaanalizlerinde robotik TKA'nın dokuz çalışmada önemli ölçüde daha düşük bacak uzunluk farkına sahip olduğunu bulmuşlardır.^[35]

Robotik TKA uygulaması pahalıdır ve yazılım uygulamalarının kurulmasını gerektirir. Ameliyat öncesi BT, işlemin maliyetini ve radyasyon maruziyetini artırır. Özellikle öğrenme aşamasında ameliyat süresinde de artış olur. Ayrıca cerrahi ekibin sürekli eğitimine ve yazılım güncellemelerine ihtiyaç vardır. Ameliyat öncesi planlama için ek süre gereklidir ve robotik işlemi kolaylaştırmak için genellikle ameliyathanede bir teknik mühendise ihtiyaç duyulur. Çözülmemiş herhangi bir zorluk meydana gelirse, ameliyat sırasında geleneksel TKA'ya geçiş yapılması gerekebilir.^[32]

KAYNAKLAR

- Classen T, Zaps D, Landgraeber S, Li X, Jäger M. Assessment and management of chronic pain in patients with stable total hip arthroplasty. *Int Orthop* 2013;37:1-7. [Crossref](#)
- Knafo Y, Houfani F, Zaharia B, Egrise F, Clerc-Urmès I, Mainard D. Value of 3D preoperative planning for primary total hip arthroplasty based on biplanar weightbearing radiographs. *Biomed Res Int* 2019;2019:1932191. [Crossref](#)
- Mainard D, Barbier O, Knafo Y, Belleville R, Mainard-Simard L, Gross J-B. Accuracy and reproducibility of preoperative three-dimensional planning for total hip arthroplasty using biplanar low-dose radiographs: A pilot study. *Orthop Traumatol Surg Res* 2017;103:531-6. [Crossref](#)
- Sarieli E, Mauprivez R, Khiami F, Pascal-Moussellard H, Catonné Y. Accuracy of the preoperative planning for cementless total hip arthroplasty: A randomised comparison between three-dimensional computerised planning and conventional templating. *Orthop Traumatol Surg Res* 2012;98:151-8. [Crossref](#)
- Ogawa T, Takao M, Sakai T, Sugano N. Factors related to disagreement in implant size between preoperative CT-based planning and the actual implants used intraoperatively for total hip arthroplasty. *Int J Comput Assist Radiol Surg* 2018;13:551-62. [Crossref](#)
- Small T, Krebs V, Molloy R, Bryan J, Klika AK, Barsoum WK. Comparison of acetabular shell position using patient specific instruments vs. standard surgical instruments: A randomized clinical trial. *J Arthroplasty* 2014;29:1030-7. [Crossref](#)
- Savov P, Budde S, Tsamassiotis S, Windhagen H, Klintschar M, Ettinger M. Three-dimensional templating in hip arthroplasty: the basis for template-directed instrumentation? *Arch Orthop Trauma Surg* 2020;140:827-33. [Crossref](#)
- Abdelaal O, Darwish S, El-Hofy H, Saito Y. Patient-specific design process and evaluation of a hip prosthesis femoral stem. *Int J Artif Organs* 2019;42:271-90. [Crossref](#)
- Yang Y, Zuo J, Liu T, Xiao J, Liu S, Gao Z. Morphological analysis of true acetabulum in hip dysplasia (Crowe classes I-IV) via 3-D implantation simulation. *J Bone Joint Surg Am* 2017;99:e92. [Crossref](#)
- Dabir S, Ramanath S, Shah H, Rudramurthy M, Patil SS. Surgical technique and outcome of uncemented THR using HA coated stems in fused and deformed hips due to ankylosing spondylitis. *Hip Int* 2015;25:142-5. [Crossref](#)
- Meermans G, Doorn JV, Kats JJ. Restoration of the centre of rotation in primary total hip arthroplasty: The influence of acetabular floor depth and reaming technique. *Bone Joint J* 2016;98-B:1597-603. [Crossref](#)
- Lewinnek GE, Lewis JL, Tarr R, Compere CL, Zimmerman JR. Dislocations after total hip-replacement arthroplasties. *J Bone Joint Surg Am* 1978;60-A:217-20. [Crossref](#)
- Archbold HA, Mockford B, Molloy D, McConway J, Ogonda L, Beverland D. The transverse acetabular ligament: An aid to orientation of the acetabular component during primary total hip replacement: A preliminary study of 1000 cases investigating postoperative stability. *J Bone Joint Surg Br* 2006;88:883-6. [Crossref](#)
- Rivière C, Lazic S, Dagneaux L, Van Der Straeten C, Cobb J, Muirhead-Allwood S. Spine-hip relations in patients with hip osteoarthritis. *EFORT Open Rev* 2018;3:39-44. [Crossref](#)
- Rösler J, Perka C. The effect of anatomical positional relationships on kinetic parameters after total hip replacement. *Int Orthop* 2000;24:23-7. [Crossref](#)
- Parratte S, Argenson JN, Flecher X, Aubaniac JM. Computer-assisted surgery for acetabular cup positioning in total hip arthroplasty: Comparative prospective randomized study. *Rev Chir Orthop Reparat Appar Mot* 2007;93:238-46.
- El Bitar YF, Jackson TJ, Lindner D, Botser IB, Stake CE, Domb BG. Predictive value of robotic-assisted total hip arthroplasty. *Orthopedics* 2015;38:e31-e37. [Crossref](#)
- Nawabi DH, Conditt MA, Ranawat AS, et al. Haptically guided robotic technology in total hip arthroplasty: A cadaveric investigation. *Proc Inst Mech Eng H* 2013;227:302-9. [Crossref](#)
- Sugano N. Computer-assisted orthopaedic surgery and robotic surgery in total hip arthroplasty. *Clin Orthop Surg* 2013;5:1-9. [Crossref](#)
- Tsai TY, Dimitriou D, Li JS, Kwon YM. Does haptic robot-assisted total hip arthroplasty better restore native acetabular and femoral anatomy? *Int J Med Robot* 2016;12:288-95. [Crossref](#)
- Illgen RL Nd, Bukowski BR, Abiola R, Anderson P, Chughtai M, Khlopas A, et al. Robotic-assisted total hip arthroplasty: Outcomes at minimum two-year follow-up. *Surg Technol Int* 2017;30:365-72.
- Kayani, B. Konan, S. The current role of robotics in total hip arthroplasty. *EFORT Open Rev* 2019;4:618-25. [Crossref](#)
- Haffer H, Adl Amini D, Perka C, Pumberger M. The Impact of spinopelvic mobility on arthroplasty: Implications for hip and spine surgeons. *J Clin Med* 2020;9(8):2569. [Crossref](#)
- Steffl M, Lundergan W, Heckmann N, McKnight B, Ike H, Murgai R, et al. Spinopelvic mobility and acetabular component position for total hip arthroplasty. *Bone Joint J* 2017;99-B(1 Supple A):37-45. [Crossref](#)
- Tarwala R, Dorr LD. Robotic assisted total hip arthroplasty using the MAKO platform. *Curr Rev Musculoskelet Med* 2011;4(3):151-6. [Crossref](#)
- Sicat CS, Buchalter DB, Luthringer TA, Schwarzkopf R, Vigdorchik JM. Intraoperative technology use improves accuracy of functional safe zone targeting in total hip arthroplasty. *J Arthroplasty* 2022;37(7S):S540-S545. [Crossref](#)

27. Kouyoumdjian P, Mansour J, Assi C, Caton J, Lustig S, Coulomb R. Current concepts in robotic total hip arthroplasty. *SICOT J* 2020;6:45. [Crossref](#)
28. Perazzini P, Trevisan M, Sembenini P, Alberton F, Laterza M, Marangon A, et al. The Mako™ robotic arm-assisted total hip arthroplasty using direct anterior approach: Surgical technique, skills and pitfalls. *Acta Biomed* 2020;91(4-S):21-30.
29. Subramanian P, Wainwright TW, Bahadori S, Middleton RG. A review of the evolution of robotic-assisted total hip arthroplasty. *Hip Int* 2019;29(3):232-8. [Crossref](#)
30. Callanan MC, Jarrett B, Bragdon CR, Zurakowski D, Rubash HE, Freiberg AA, et al. The John Charnley award: Risk factors for cup malpositioning: Quality improvement through a joint registry at a tertiary hospital. *Clin Orthop Relat Res* 2011;469(2):319-29. [Crossref](#)
31. Nodzo SR, Chang CC, Carroll KM, Barlow BT, Banks SA, Padgett DE, et al. Intraoperative placement of total hip arthroplasty components with robotic-arm assisted technology correlates with postoperative implant position: A CT-based study. *Bone Joint J* 2018;100-B(10):1303-9. [Crossref](#)
32. Redmond JM, Gupta A, Hammarstedt JE, Petrakos A, Stake CE, Domb BG. Accuracy of component placement in robotic-assisted total hip arthroplasty. *Orthopedics* 2016;39:193-99. [Crossref](#)
33. Sarangi PP, Bannister GC. Leg length discrepancy after total hip replacement. *HIP Int* 1997;3:121-4. [Crossref](#)
34. Kumar V, Patel S, Baburaj V, Rajnish RK, Aggarwal S. Does robotic-assisted surgery improve outcomes of total hip arthroplasty compared to manual technique? A systematic review and meta-analysis. *Postgrad Med J* 2021. [Crossref](#)
35. Emara AK, Samuel LT, Acuña AJ, Kuo A, Khlopas A, Kamath AF. Robotic-arm assisted versus manual total hip arthroplasty: Systematic review and meta-analysis of radiographic accuracy. *Int J Med Robot* 2021;17(6):e2332. [Crossref](#)